



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales

Estructura y composición de la herpetofauna asociada a
humedales en un paisaje urbano-agrícola del Eje Neovolcánico.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Recursos Bióticos).

Presenta

Gustavo Jiménez Velázquez

Santiago de Querétaro, Abril 2013



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Recursos Bióticos

**ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA HERPETOFAUNA ASOCIADA A
HUMEDALES EN UN PAISAJE URBANO-AGRÍCOLA DEL EJE
NEOVOLCÁNICO.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias
(Recursos Bióticos).

Presenta:

Gustavo Jiménez Velázquez

Dirigido por:

Dr. Rubén Pineda López

SINODALES

Dr. Rubén Pineda López
Presidente


Dra. Ileri Suazo Ortuño
Secretaria

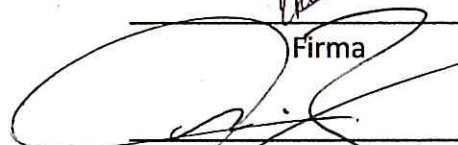
Dr. Humberto Suzán Azpiri
Vocal


Dr. Oscar Ricardo García Rubio
Suplente

Dr. Carlos Alberto López González
Suplente

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Directora de la Facultad



Firma

Firma


Firma

Oscar R. García

Firma

Rúbrica

Firma



Dr. Iníneo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo de 2013
México

Resumen

Los humedales son componentes esenciales para la conservación de anfibios y reptiles semi-acuáticos debido a que gran parte de sus historias de vida ocurren en estos sitios. La comprensión de la distribución de herpetofauna en sistemas de humedales en paisajes agrícolas y urbanos y la identificación de los principales factores ambientales que influyen en la ecología de estos organismos es vital para proponer estrategias de conservación. En este trabajo se describe la riqueza, abundancia y diversidad de anfibios y de reptiles en un paisaje agrícola y urbano al sur del estado de Querétaro y estados adyacentes. Se analizó la influencia del área del humedal sobre los atributos de las comunidades mediante la comparación de tres categorías de tamaño chicos (<10 ha), medianos (10-37 ha) y grandes (>37 ha). Se investigaron los factores ambientales locales y regionales que influyen en la diversidad alfa (riqueza de especies de anfibios o reptiles por humedal) y se describe la diversidad beta en tres niveles: transecto, humedal y categorías de humedales. Se registraron 1,014 individuos pertenecientes a 24 especies, de las cuales 7 fueron de anfibios y 17 de reptiles. Doce especies están en alguna categoría de protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y 14 son endémicas a México. Los patrones de la diversidad alfa fueron similares para anfibios y para reptiles, encontrándose que los humedales chicos pueden albergar incluso más especies que los humedales de mayor tamaño. Los reptiles fueron más abundantes en los humedales grandes, y los anfibios en los humedales chicos. La composición de especies de las comunidades de humedales medianos y grandes es más parecida entre sí en comparación con los humedales chicos tanto en anfibios como en reptiles. La diversidad beta aportó aproximadamente el 80% de la diversidad gamma, los mayores valores de diversidad beta se observaron en el nivel de humedal y en menor medida entre transectos o categorías de humedales. Para la riqueza de anfibios las variables ambientales más importantes fueron la presencia de vegetación ribereña y de parches de vegetación nativa hasta en 250 m de distancia. Las variables ambientales relacionadas positivamente con la riqueza de reptiles son la vegetación, la presencia de cuerpos de agua y los parches de vegetación nativa hasta 2000 m, mientras que las variables relacionadas negativamente fueron el pH alto y las plantaciones de eucaliptos hasta 250 m. Este trabajo muestra que los cuerpos de agua chicos son de vital importancia para la conservación de anfibios y reptiles en estos paisajes, además de que se deben considerar sistemas de humedales promoviendo buena calidad de hábitat, principalmente promoviendo la presencia de vegetación nativa a escala local y de paisaje.

Palabras clave: (anfibios, reptiles, humedales paisaje agrícola y urbano, conservación).

Summary

Wetlands are essential components for the conservation of amphibians and semi-aquatic reptiles because much of their life cycles occur at these sites. Understanding the distribution patterns of herpetofauna in wetland systems in agricultural and urban landscapes and the identification environmental factors that influence the ecology of these organisms is vital to developing conservation strategies. This paper describes the richness, abundance and diversity (of amphibians and reptiles in agricultural and urban landscape of the southern portion of the state of Querétaro and surrounding regions. The influence of wetland area on ecological attributes of communities was compared for three size categories: small, <10 ha; medium, 10-37 ha; and large, > 37 ha. We investigated the local and regional environmental factors influencing alpha diversity (species richness of amphibians and reptiles by wetland) and describe the beta diversity at different spatial levels. We registered 1014 individuals belonging to 24 species, 7 amphibians and 17 reptiles. Twelve of these have some level of protection within the NOM-059-SEMARNAT-2010 and 14 are endemic to Mexico. Richness patterns were similar for amphibians and reptiles, in small wetlands can often hold more species than larger wetlands. Higher abundances were observed for reptiles in large wetlands and for amphibians in small wetlands. Medium and large wetlands were more similar in composition than when compared to small wetlands. Beta diversity contributed approximately 80% of gamma diversity with greatest beta diversity occurring in between wetlands sites and in lesser degree between transect and wetlands categories. For amphibians, the most important environmental variables were the presence of riparian vegetation and the presence of patches of native vegetation up to 250 m away. Environmental variables that related positively with the richness of reptiles were: presence riparian vegetation, the presence of water bodies and native vegetation patches up to a distance of 2000 m. Variables negatively related to the richness of reptiles were high pH and eucalyptus plantations up to a distance of 250 m. This work shows that small water bodies are of vital importance to the conservation of amphibians and reptiles in these landscapes, and programs to promote high quality wetland systems should also promote the presence of local and landscape level native vegetation.

Key words: (amphibians, reptiles, wetlands, agricultural an urban landscape, conservation).

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi mamá, papá y hermana.

Agradecimientos

Institucionales:

A Conayt por la beca otorgada, al programa Promep por los recursos y beca otorgadas del proyecto UAQ-EXB-077, a ERMEX porque nos facilitó las imágenes satelitales del área de estudio. A la UAQ y a FCN y a la Maestría en Recursos Bióticos por haberme aceptado como estudiante.

Personales:

A mis asesores, Rubén Pineda, Ileri Suazo, Humberto Suzan, Oscar García y Carlos López, porque fueron y siguen siendo los mejores maestros y asesores, por su paciencia, esmero y compromiso con este trabajo y conmigo.

A Hugo Luna, por su apoyo en SIG, a Mónica Figueroa por su apoyo en estadística, me salvaron la vida chavos...

A mis amigos, amigas, maestros y maestras que de alguna manera compartieron conmigo durante la maestría: Indra, Alejandro Zuñiga, Perla, Diana, Mercy, Tepos, Arturo, Katy, Alejandro Malagamba, Chiquis, Wendy, Gracia, Robert Jones, y los demás que en este momento de confusión y cansancio olvido, pero no por eso dejan de ser importantes en mi vida.

A Miguel Ángel Ortiz por su apoyo y amistad, porque gracias a tu ayuda pude terminar la tesis y titularme

A Sonia por el apoyo incondicional y porque me impulsaste a cerrar esta etapa de mi vida.

Índice

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice v	
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	x
Introducción.....	1
Antecedentes	3
Estado de la conservación de anfibios y reptiles	3
Estudios herpetológicos en el área de estudio y zonas de influencia.	4
Estudios recientes diversidad de anfibios y reptiles en México y de lugares cercanos al área de estudio.	7
Estudios de herpetofauna en humedales y su relación con variables ambientales.....	14
Objetivos	17
Área de estudio	18
Metodología.....	21
Selección de los humedales	21
Muestreo de anfibios y reptiles	21
Caracterización ambiental.....	22
Análisis de datos	24
Inventario de especies.....	24
Descripción de la diversidad beta	26
Correlación de la riqueza de especies con las variables ambientales.	28
Resultados	30
Inventario de especies de anfibios y reptiles.....	30
Descripción de la riqueza, abundancia y diversidad de anfibios.	33
Descripción de los patrones de diversidad β de las comunidades de anfibios...	36
Relación de la riqueza de especies de anfibios con atributos ambientales a distintas escalas espaciales.....	38
Descripción de la riqueza, abundancia y diversidad de los reptiles	41

Descripción de los patrones de diversidad β de las comunidades de reptiles. ...	45
Relación de la riqueza de especies de reptiles con atributos ambientales a distintas escalas espaciales.	47
Discusión.....	51
Sobre el inventario de especies	51
Sobre los patrones de riqueza, abundancia y diversidad.....	52
Sobre los patrones de diversidad beta.....	53
Sobre el efecto de las variables ambientales a distintas escalas espaciales sobre la riqueza de especies de anfibios y de reptiles.	54
Consideraciones finales.	56
Literatura citada.....	58

Índice de tablas

TABLA 1. Humedales considerados en el estudio.	20
TABLA 2. Relación de variables ambientales, metodología de medición o aparato con las cuáles se obtuvieron, unidades en las que se expresa la variable y escala espacial de cada variable.	23
TABLA 3. Modelos generales utilizados para cada nivel espacial.....	28
TABLA 4. Inventario de especies de anfibios y reptiles asociados a humedales en un paisaje urbano-agrícola en el Eje Neovolcánico. Según la NOM-059-SEMARNAT-2010 Pr=Protección especial, A= Amenazada.....	30
TABLA 4 continuación. Inventario de especies de anfibios y reptiles asociados a humedales en un paisaje urbano-agrícola en el Eje Neovolcánico. Según la NOM-059-SEMARNAT-2010 Pr=Protección especial, A= Amenazada.	31
TABLA 5. Relación de la riqueza observada y la riqueza estimada, así como la completitud lograda por el muestreo y los valores de la prueba de Chi ²	32
TABLA 6. Abundancia y abundancia relativa que presentaron las especies de anfibios y reptiles.	32
TABLA 7. Relación de la riqueza observada y la riqueza estimada de anfibios, así como la completitud lograda por el muestreo y los valores de la prueba de Chi ² , las letras corresponden a los humedales (ver Tabla 1).....	34
TABLA 8. Abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de anfibios.	34
TABLA 9. Análisis de varianza de la riqueza, abundancia y diversidad de los anfibios entre categorías de tamaño, en todos los casos se tienen 2 grados de libertad. W hace referencia a la prueba de Shapiro-Wilks para determinar si los datos son normales.	36
TABLA 10. Partición de diversidad β de las comunidades de anfibios entre los transectos, humedales y categorías de humedales. * Valor de $p < 0.05$	38
TABLA 11. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de transecto. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente	

promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=136.	39
TABLA 12. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de humedal. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=17.	39
TABLA 13. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de paisaje 250 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR) N=17.....	40
TABLA 14. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de paisaje 2000 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=17.....	40
TABLA 15. Relación de la riqueza observada y la riqueza estimada de reptiles, así como la completitud lograda por el muestreo y los valores de la prueba de Chi ²	42
TABLA 16. Abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de reptiles.	42
TABLA17. Análisis de varianza de la riqueza, abundancia y diversidad de los reptiles entre categorías de tamaño, en todos los casos se tienen 2 grados de libertad. W hace referencia a la prueba de Shapiro-Wilks para determinar si los datos son normales.	44
TABLA 18. Partición de diversidad β de las comunidades de reptiles entre los transectos, humedales y categorías de humedales. *Valor de $p > 0.05$	47

TABLA 19. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de transecto. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=124.	48
TABLA 20. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de humedal. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=18.	48
TABLA 21. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de paisaje 250 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=18.	49
TABLA 22. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de paisaje 2000 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), <i>Odd ratio</i> (OR), N=18.	50

Índice de figuras

FIGURA 1. Ubicación del área de estudio con respecto al Eje Neovolcánico y a México.	19
FIGURA 2. Composición del paisaje del área de estudio.....	20
FIGURA 3. Gráficas de barras con error estándar de la abundancia, riqueza y diversidad de orden uno y dos de las comunidades de anfibios.....	35
FIGURA 4. Análisis de rarefacción de la riqueza de anfibios entre categorías de tamaño, las líneas punteadas hacen referencia a los intervalos de confianza a 95%.....	36
FIGURA 5. Análisis de conglomerados de las comunidades de anfibios de las categorías de humedales utilizando el índice de Jaccard.....	37
FIGURA 6. Análisis de conglomerados de las comunidades de anfibios de los humedales de utilizando el índice de Jaccard.	37
FIGURA 7. Gráficas de barras con error estándar de la abundancia, riqueza y diversidad de orden uno y dos de las comunidades de reptiles.....	43
FIGURA 8. Análisis de rarefacción de la riqueza de reptiles entre categorías de tamaño, las líneas punteadas hacen referencia a los intervalos de confianza a 95%.....	44
FIGURA 9. Análisis de conglomerados reptiles de las categorías de humedales utilizando el índice de similitud de Jaccard.	46
FIGURA 10. Análisis de conglomerados reptiles de los humedales utilizando el índice de similitud de Jaccard.....	46

Introducción

México es considerado un país megadiverso (Wilson, 1988) debido al gran número de especies que ocurren dentro de sus límites geográficos, lamentablemente una gran parte del territorio nacional tiene una fuerte degradación ambiental debida principalmente al uso no sustentable de los recursos naturales (Sarukhán *et al.*, 2009).

Una de las regiones con mayor impacto ambiental en el país es el Eje Neovolcánico ya que es en esta región donde se concentra el mayor porcentaje de los habitantes en México y que ha sido históricamente la región con más población (Luna-Isolda *et al.*, 2007).

Contrastantemente el Eje Neovolcánico es una de las regiones biogeográficas con más especies y endemismos de todo el país, por ejemplo: Es la región más importante en cuanto a endemismos de anfibios y reptiles y la segunda más importante en número de especies (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007). La gran diversidad del Eje Neovolcánico ha sido explicada por eventos geológicos complejos y por una gran heterogeneidad de climas, suelos, tipos de vegetación y por ser la zona donde confluyen la región Neártica y Neotropical (Luna-Isolda, *et al.*, 2007).

Los humedales en esta región, que incluyen desde grandes lagos como Chapala y Cuitzeo hasta pequeñas charcas son hábitat de muchas especies, sin embargo, los cuerpos de agua presentan una fuerte degradación ambiental por muchos motivos, pero principalmente se puede explicar porque el agua es un recurso primordial para muchas actividades humanas como la producción agropecuaria, la industria y para permitir asentamientos humanos (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

No obstante el alto nivel de degradación de los humedales en paisajes modificados como son los del Eje Neovolcánico, los humedales son componentes muy importantes para la conservación de muchas especies asociadas a ellos (Gibbs, 2000), por lo que es vital conocer los patrones ecológicos de las especies

en sistemas de cuerpos de agua y conocer cuáles son los factores ambientales que determinan estos patrones ecológicos, para poder proponer estrategias de conservación de la biodiversidad en este tipo de paisajes (Rodrigues-Da Silva *et al.*, 2012).

Por esta razón en este trabajo se describen los patrones de distribución de los anfibios y reptiles asociados a humedales en un paisaje agrícola y urbano en el eje Neovolcánico y se investigan los factores ambientales a distintas escalas que pueden influir en la riqueza de especies de las comunidades herpetofaunísticas de los humedales.

Antecedentes

Estado de la conservación de anfibios y reptiles

Como muchos grupos de seres vivos, los anfibios y reptiles están seriamente amenazados (Collen *et al.*, 2009; Stuart *et al.*, 2010; Bhöm *et al.*, 2012). En particular los anfibios son el grupo más amenazado de los vertebrados y la declinación de sus poblaciones ocurre más rápidamente que en otros grupos como mamíferos o aves (Gibbons *et al.*, 2000; Stuart *et al.*, 2010). Es ampliamente aceptado que las declinaciones actuales de anfibios y reptiles, así como de muchos otros grupos de seres vivos, están relacionadas con factores de origen antrópico y se diferencian de las fluctuaciones ecológicas naturales (Gibbons *et al.*, 2000; Stuart *et al.*, 2010).

Algunos factores que están relacionados con las declinaciones de anfibios y reptiles son: la destrucción del hábitat, las enfermedades emergentes, la contaminación, el cambio climático y la introducción de especies invasoras. Sin embargo, también existen las llamadas declinaciones enigmáticas, en las que no se tiene una idea clara de qué factor o factores amenazan a alguna población, lo que hace más difícil implementar estrategias de conservación (Gibbons *et al.*, 2000; Stuart *et al.*, 2010).

En el caso de los anfibios, de las 5,743 especies evaluadas por la *Global Amphibian Assessment*, 34 se encuentran extintas, 134 probablemente extintas, una extinta en estado silvestre, 1,856 se encuentran globalmente amenazadas, y 1,290 especies tienen información suficiente para conocer su estado de conservación (Stuart *et al.*, 2010). Los tres grupos de anfibios presentan patrones heterogéneos en cuanto a estado de conservación: las salamandras son el grupo más amenazado y las cecilias están menos amenazadas que los anuros (Stuart *et al.*, 2010).

Desafortunadamente, no se comprenden muchos de los factores que más rápidamente impactan a los anfibios; sin embargo, es incuestionable que la pérdida y degradación del hábitat, y la contaminación son sus principales

amenazas. Las enfermedades son una amenaza menos global, pero pueden causar declives muy rápidos. También es importante mencionar que la degradación de ambientes lénticos y lóticos impacta de manera notable a este grupo de vertebrados, principalmente por su historia de vida bifásica (Stuart *et al.* 2010).

En el caso de los reptiles se considera que una quinta parte de las especies está amenazada y otra quinta parte no cuenta con información suficiente para conocer su estado de conservación (Böhm *et al.*, 2013). Las regiones donde existen el mayor número de especies amenazadas y el mayor número de especies con información deficiente son Centroamérica y partes de Sudamérica, específicamente en Brasil, las regiones tropicales del oeste y sur de África, Sri Lanka, India meridional y en todo el sudeste de Asia desde el este de la India hasta Indonesia y Filipinas. Los hábitats en donde se observó que hay un gran número de reptiles amenazados son los cuerpos de agua dulce, regiones tropicales e islas (Böhm *et al.*, 2012). Los principales factores que amenazan a los reptiles son la modificación de los ecosistemas con actividades como la agricultura, el incremento del desarrollo urbano, entre otras (Böhm *et al.*, 2012).

A nivel mundial México es un país muy importante en cuanto a la conservación de anfibios y reptiles ya que es uno de los países con mayor número de especies y endemismos pero también con el mayor número de especies en peligro de extinción (Collen *et al.*, 2009; Stuart *et al.*, 2010; Wilson *et al.*, 2010).

Estudios herpetológicos en el área de estudio y zonas de influencia.

Los registros e información científica sobre la herpetofauna del Eje Neovolcánico Transversal, datan de los años 1570 – 1577 del naturalista español Francisco Hernández, (Flores-Villela *et al.*, 2004; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007), aproximadamente 200 años después, en los años de 1788 – 1803 se realizó la “Real Expedición Botánica de la Nueva España”, esta expedición también conocida como de Sessé y Mociño no solo generó información botánica, también documentaron especies animales, entre ellos anfibios y reptiles,

mucho del material herpetológico se perdió, sin embargo aún se conservan algunas acuarelas depositadas en el Hunt Institute for Botanical Documentation (Flores-Villela *et al.*, 2004; Flores-Villela y Canseco Márquez, 2007). Posteriormente en una tercera expedición española, llamada “Expedición Malaspina” desarrollada entre los años 1789 – 1794 se hicieron colectas zoológicas y herpetofaunísticas en gran parte del territorio nacional y muy probablemente se colectaron y registraron anfibios y reptiles en la zona del Eje Neovolcánico Transversal de los estados de Guanajuato, Querétaro e Hidalgo (Casas-Andrew, 2005; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007). Estas tres expediciones científicas pueden considerarse como pertenecientes a la era prelinneana (Flores-Villela *et al.*, 2004).

Probablemente las primeras colectas científicas de anfibios y reptiles de la era postlinneana en la región central de México fueron las de Ferdinand Deppe y Wilhelm Schide, en los años de 1825 y 1826 (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007), estas colectas fueron adquiridas por el Museo Zoológico de Berlín y constituyeron la base para que Wiegmann publicara el primer trabajo postlinneano de los anfibios y reptiles de México (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007). A finales del siglo XVIII y principios del XIX otros naturalistas (principalmente extranjeros) visitaron y colectaron anfibios y reptiles en el Eje Neovolcánico Transversal, destacan Frederick M. Liebmann, Francis Sumicharst. Herbert H. Smith, Frederick D. Godman, Alfredo Dugès, Alfonso Luis Herrera, Manuel M. Villada, entre otros. Gran parte del material herpetológico colectado en esta época fue enviado a museos y colecciones de Europa y Estados Unidos (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007).

A principios del siglo XX hubo varios recolectores que visitaron el Eje Neovolcánico Transversal, por ejemplo Hans Gadow; sin embargo los recorridos de Gadow estuvieron más orientados hacia el sur del país y no fue hasta la época de la herpetología moderna (>1930), que se desarrollaron trabajos y publicaron documentos científicos sobre la herpetofauna México y del Eje Neovolcánico Transversal (Flores-Villela *et al.*, 2004; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007), por ejemplo los trabajos de: Martín del Campo, 1935; Smith y Taylor 1950. En

1972 se publicó el primer trabajo especializado en la herpetofauna del estado de Querétaro (Dixon *et al.*, 1972).

En épocas más recientes se han publicado notas sobre presencia y distribución geográfica de algunas especies en el estado de Querétaro (Padilla-García y Mendoza-Quijano, 1996; Padilla-García 1966a; Padilla-García 1966b; Padilla *et al.*, 1996; López-González, *et al.*, 2006; Domínguez-Lazo *et al.*, 2007) y tres estudios herpetofaunísticos que son información base para el presente estudio que a continuación se mencionan.

El trabajo de Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos (1999) en el cual colectaron durante 14 prospecciones alrededor de 1000 ejemplares de anfibios y reptiles en el estado de Querétaro y construyeron una base de datos de 6198 registros utilizando adicionalmente información de colecciones científicas mexicanas y extranjeras. Generaron fichas sobre aspectos ecológicos y de la distribución geográfica de las especies en el estado. En este trabajo se registran para Querétaro 133 taxa de anfibios y reptiles pertenecientes a 71 géneros y 26 familias (Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999). En este documento los autores registran en los municipios en los que se desarrolló el presente trabajo 31 especies 10 de anfibios y 21 de reptiles (Anexo 1).

En el 2007 Flores-Villela y Canseco-Márquez, publicaron un capítulo sobre herpetofauna de la Faja Volcánica Transmexicana en el libro “Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana” (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007), este trabajo tiene como base registros de colecciones nacionales y extranjeras. En este estudio presentan un listado de los anfibios y reptiles presentes en la región de la FVT por estado, para Querétaro registran 28 especies 6 anfibios y 22 reptiles (Anexo 1).

Finalmente en el año 2010 Dixon y Lemos-Espinal publicaron el documento Anfibios y Reptiles del estado de Querétaro, México. El trabajo de campo con el cual se generó este documento al parecer se realizó en los años de 1968-1983. En este documento reportan para el estado de Querétaro 29 especies de anfibios pertenecientes a 9 familias y 88 especies de reptiles pertenecientes a

17 familias, un total de 117 especies de herpetozoos (Dixon y Lemos-Espinal, 2010). Contiene claves para la identificación taxonómica de las especies, notas sobre historia de vida y ecología, e información sobre la distribución de las especies en el estado. En este trabajo reportan 35 especies de herpetofauna que fueron registrados en los municipios en los que se llevó a cabo la presente investigación, 9 especies de anfibios y 26 especies de reptiles (Anexo 1).

Estudios recientes diversidad de anfibios y reptiles en México y de lugares cercanos al área de estudio.

En los últimos años se han publicado varios trabajos sobre diversidad de anfibios y reptiles en México con objetivos y características muy variables, desde estudios de los patrones de diversidad y endemismos de la herpetofauna de México (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006), estudios de diversidad a escala estatal (Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2012), de escala municipal (Medina-Aguilar *et al.*, 2011) y de regiones definidas por características bióticas o biogeográficas (Fernández-Badillo y Goyenechea-Mayer, 2010), tipos de vegetación (Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012), y de áreas naturales protegidas (Camarillo y Casas-Andreu, 2001; Vite-Silva *et al.*, 2010), debido a que las metodologías y resultados de estos trabajos son antecedentes muy importantes para esta investigación a continuación se describen algunos de estos trabajos.

Áreas de diversidad y endemismos de la herpetofauna mexicana (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela, 2006).

Este trabajo está compuesto por dos capítulos, 1) Análisis de la riqueza de la herpetofauna mexicana y 2) Análisis de las áreas de endemismo de la herpetofauna mexicana, para fines de la presente investigación sólo se cita la información del primer capítulo. Las fuentes de información fueron bases de datos de colecciones nacionales y extranjeras de anfibios y reptiles de todo el país, en este trabajo, se analizó la riqueza y ocurrencia de herpetofauna por cuadros de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ y por estados.

Utilizaron los estimadores no paramétricos Chao 1 e ICE que son estimadores basados en incidencia y también calcularon la curva de Coleman, para valorar la eficiencia del muestreo y para determinar si el tamaño de celda usado en los diferentes análisis era el apropiado para el tipo de datos obtenidos de las bases de museos. Para elegir las áreas prioritarias para preservar utilizaron el un método de complementariedad y posteriormente realizaron un análisis de discrepancias con las áreas naturales protegidas y regiones terrestres prioritarias para la conservación.

Obtuvieron 168,746 registros de anfibios y reptiles de 1014 especies, de las cuales 690 son endémicas al país, solo un 7% de las especies tienen más de 500 registros y más del 50% tienen menos de 100 registros, de los anfibios la familia Hylidae y Bufonidae fueron los mejores representados mientras que de los reptiles son la familia Phrynosomatidae y la familia Colubridae.

Los estados con mayor número de registros y de especies son Veracruz, Oaxaca y Chiapas y observaron que la riqueza de especies estaba correlacionada con el número de registros, ($p < 0,05$) no encontraron correlación de la riqueza de especies con el área de los estados ni con su densidad poblacional, la mayoría de las especies son de distribución restringida o se han colectado en pocos lugares.

El promedio de riqueza por cuadros es de 61,7 y 31,3 especies para los cuadros de $1^\circ \times 1^\circ$ y de $0,5^\circ \times 0,05^\circ$ respectivamente, pero no presentan diferencias significativas. Con base en los resultados de los estimadores llegaron a la conclusión de que en general el grupo de estudio estaba bien recolectado y que las dos escalas de cuadros eran adecuadas para hacer los análisis.

Mediante el análisis de complementariedad se obtuvieron 126 cuadros complementarios de medio grado y 81 de un grado, no obstante el área proporcionada por el conjunto de cuadros chicos es tres veces menor al área que se presenta mediante la suma de cuadros grandes, lo que hace que sea más viable preservar el área generada por los cuadros de medio grado, en su mayor

parte estos cuadros se encuentran en Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Puebla.

Diversidad de las comunidades de anfibios en cuatro tipos de vegetación del estado de Hidalgo (Hernández-Salinas y Ramírez-Bautista, 2012).

En este trabajo se analizó la diversidad alfa y beta de cuatro tipos de vegetación en el estado de Hidalgo, bosques de niebla, bosques de pino-encino, matorral xerico y bosque tropical perenifolio. El estudio se llevó a cabo durante los años 2007 y 2008 mediante 16 prospecciones de tres días cada una.

Utilizaron los estimadores no paramétricos Chao 1 y Chao 2 para estimar la eficiencia del muestreo, analizaron la abundancia y la similitud utilizando graficando curvas de rango-abundancia y utilizaron el índice de complementariedad y de Jaccard para describir los patrones de diversidad beta.

Registraron un total de 31 especies correspondientes a 9 familias y 20 géneros, siendo las familias Hylidae, Pletodontide y Bufonidae las más diversas con 13, 6 y 4 especies respectivamente. En el bosque de niebla encontraron 19 especies, de las cuales cinco únicamente se presentaron en este tipo de vegetación, en el bosque tropical perenifolio se observaron 14 especies de las cuales cuatro únicamente se presentaron en ese tipo de vegetación. En el bosque de pino-encino se registraron 13 especies y fue el tipo de vegetación con mayor número de especies exclusivas, con 7 especies. El matorral xerico fue el tipo de vegetación con menor número de especies, presentado solamente seis y fue el único tipo de vegetación que no presento especies exclusivas.

Según los estimadores no paramétricos en general se presenta un alto nivel de completitud, de la riqueza de especies en el bosque de niebla, bosque de pino-encino y matorral xerico, el menor valor de completitud (72-89%) se observó en el bosque tropical perenifolio.

La especie *Lithobates berlandieri* fue la especie más representada, presentándose en los cuatro tipos de vegetación. Las especies raras se

presentaron principalmente en el bosque de niebla, bosque de pino-encino y en el bosque tropical perenifolio. *Craugastor rhodopsis* es dominante en el bosque de niebla y muy poco abundante en el bosque de pino encino e infrecuente en el bosque tropical perenifolio. En el bosque de pino-encino, *Ambystoma velaci*, *Hyla plicata* e *H. eximia* fueron las especies más abundantes, en contraste *Chiropetrotriton dimidiatus*, *C. mutidentatus*, *Pseudoeurycea belli* y *Spea multiplicata* fueron poco abundantes. En el matorral xerico, *Spea multiplicata* fue la especie más abundante, mientras que la especie *Hyla arenicolor* presento menor frecuencia. En el bosque tropical perenifolio las especies más abundantes fueron *Cranopsis valliceptis*, *Lithobates berlandieri*, *Chanus marinus*, *Plectrohyla charadricola*.

Los análisis de complementariedad y de similitud muestran que los bosques de niebla y tropical perenifolio son los más parecidos entre sí, sin embargo existe un gran recambio de especies entre los diferentes tipos de vegetación.

Herpetofauna de Tacámbaro, Michoacán, México (Medina-Aguilar *et al.*, 2011).

En este trabajo se realizó un inventario de los anfibios y reptiles en seis tipos de vegetación en el municipio de Tacámbaro, Mich. (selva baja caducifolia, bosque espinoso, bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de oyamel).

Evaluaron la eficiencia del muestreo mediante el uso de los estimadores no paramétricos Chao 1, ICE y bootstrap y determinaron si existían diferencias significativas entre los valores de riqueza observada y esperada utilizando el estadístico de Chi cuadrada con la técnica de corrección de Yates.

Registraron 406 individuos pertenecientes a 21 especies de anfibios correspondientes a 9 familias y 15 géneros y 58 de reptiles, correspondientes en 15 familias y 40 géneros. Los anfibios registraron una completitud del 85 al 91%, para las lagartijas del 77-85% y las serpientes del 41-78%, solo en el caso de las

serpientes observaron diferencias significativas entre la riqueza observada y la riqueza estimada ($p < 0.05$).

De los anfibios la familia Hylidae, Leptodactylidae y Bufonidae con ocho, tres y tres especies respectivamente, en cuanto a los reptiles, las familias con mayor número de especies fueron Colubridae y Phrynosomatidae, con 26 y 10 especies respectivamente.

De las 79 especies de herpetofauna registradas en este estudio 33 se encuentran incluidas en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2001 y 48 son endémicas al país, tres de ellas endémicas al Eje Volcánico Transmexicano.

El tipo de vegetación en donde se registraron más especies de anfibios y reptiles fue la selva baja caducifolia con 43 especies, en el bosque espinoso se presentaron 29, en el bosque de pino-encino 17, 13 en el bosque de encino, 12 en el bosque de pino y 7 en el bosque de oyamel.

Anfibios y Reptiles del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. (Fernández-Badillo y Goyenechea-Mayer, 2010).

Registraron la riqueza y abundancia relativa y microhábitats de los anfibios y reptiles de nueve tipos de vegetación del Valle de Mezquital (Bosque de galería, Bosque de Juniperus, Bosque de pino-encino, Matorral espinoso deciduo, Matorral de *Myrtillocactus geometrizans* y *Opuntia* sp, Matorral espinoso de *Prosopis laevigata* y matorral crasicaule de *Myrtillocactus geometrizans*, Agricultura de temporal zona templada, Agricultura de temporal zona árida, Agricultura de riego) en 12 salidas mensuales durante un año (un total de 108 días de muestreo). Para evaluar la eficiencia del muestreo utilizaron los estimadores Jack 1 y Bootstraps.

Registraron un total de 37 especies de las cuales siete son anfibios pertenecientes a cinco familias y seis géneros y 30 especies de reptiles que pertenecen a ocho familias y 24 géneros. Según los estimadores registraron el

80% de las especies previstas. La mayor riqueza de especies (14 especies) se presentó en los cultivos de la zona templada, seguidos de los cultivos de la zona de riego (13 especies), en el bosque de encino se observaron 10 especies, siete en el matorral espinoso decíduo, seis en el matorral espinoso de *Prosopis laevigata* y *Myrtillocactus geometrizans*, en los tipos de vegetación restantes se observaron 4 especies. Se definieron 27 tipos de microhábitats distintos siendo “bajo roca” y el más utilizado tanto por anfibios como por reptiles, en segundo lugar “sobre suelo” utilizado por reptiles. Se identificaron 3 microhábitats en donde se registró solamente a una especie. Del total de las especies encontradas 57% especies se consideran raras, el 16% son consideradas moderadamente abundantes y 27% se consideran abundantes.

Diversidad de reptiles en tres tipos de vegetación del estado de Hidalgo, México (Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012).

En este trabajo se estudiaron los reptiles del bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino y bosque de pino de la zona sureste del estado de Hidalgo, mediante 12 salidas mensuales en los años en 2008 y 2009.

Utilizaron los estimadores no paramétricos ACE y Chao 1 para evaluar la eficiencia del muestreo, para describir la diversidad y abundancia de las comunidades utilizaron números efectivos de especies 1D para describir la diversidad y graficaron curvas de rango-abundancia. Para describir la diversidad beta utilizaron el índice de Sorensen.

Registraron 25 especies de reptiles, 12 especies de lagartijas pertenecientes a 5 familias y 8 géneros y 13 especies de serpientes pertenecientes a 4 familias y 9 géneros, registraron por primera vez para el estado de Hidalgo al colubrido *Thamnophis scaliger*. La completitud del inventario varía según los estimadores entre 77 y 83 %, el tipo de vegetación en donde se observó una mayor riqueza fue el bosque mesófilo de montaña seguido del bosque de pino y el bosque de encino con 15, 13 y 12 especies respectivamente, la mayor diversidad se observó en el bosque mesófilo de montaña seguido por el bosque de

pino-encino y finalmente el bosque de encino con valores $1D=11,59$, $1D=9,12$ y $1D=8,04$ especies equivalentes respectivamente. El mayor recambio de especies se observó en el bosque mesófilo de montaña con los bosques de pino-encino y los bosques de pino y en menor medida el bosque de pino-encino con el bosque de pino.

Diversidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México (Vite-Silva *et al.*, 2010).

En este trabajo analizaron la riqueza, diversidad y abundancia de la herpetofauna en cuatro tipos de vegetación (bosque de pino-encino, bosque tropical caducifolio, matorral submontano, matorral xerófilo) de la Reserva de la Biosfera Barranca del Metztitlán en las temporadas de lluvias y de secas de los años 2006 y 2007. Para determinar la eficiencia del muestreo utilizaron el estimador no paramétrico Chao 2 y los algoritmos *uniques* y *duplicates*. Para describir la riqueza, diversidad y equidad de las comunidades utilizaron el índice de Shannon-Wiener, el índice de Pielou y graficaron curvas de rango-abundancia. Para describir la similitud de la riqueza de especies entre tipos de vegetación elaboraron un dendrograma empleando el índice de Jaccard.

Registraron un total de 26 especies, cinco anfibios y 21 reptiles, sin embargo agregaron 12 especies más utilizando registros bibliográficos, en total presentan una lista compuesta por 38 especies, siete anfibios pertenecientes a cinco familias y siete géneros y 22 especies de reptiles, pertenecientes a nueve familias y 22 géneros. Únicamente tomando en cuenta los datos de campo observaron que la riqueza de especies entre temporadas varió por seis especies, registrando 16 herpetozoos en la temporada de secas y 22 en la temporada de lluvias. La completitud según su estimador indica que registraron el 76% de las especies, el tipo de vegetación en donde registraron la mayor riqueza fue el bosque tropical caducifolio con 14 especies, seguido del bosque de pino-encino, el matorral xerófilo y el matorral submontano con diez, nueve y seis especies respectivamente.

El bosque tropical caducifolio presento el valor más alto de diversidad ($H'=2,3$), mientras que el matorral submontano presento el valor de diversidad más bajo ($H'=1,7$), según el índice de Pielou el grado de equidad en la distribución de la abundancia de las especies entre los tipos de vegetación fue muy poco homogénea, el valor más alto en este caso fue para el bosque de pino-encino ($J'=0,92$) y el más bajo para matorral xerófilo ($J'=0,80$).

Observaron un mayor número de especies raras en comparación con las especies dominantes y solo *Lithobates berlandieri* y *Sceloporus variabilis* estuvieron presentes en los cuatro tipos de vegetación, sin embargo en ningún entre los tipos de vegetación no se presentaron como especies dominantes o raras. Los tipos de vegetación con mayor similitud fueron el matorral xerófilo y el matorral submontano con un porcentaje de 38% mientras que los más disímiles fueron el matorral xerófilo y el bosque de pino-encino con un 14%.

Estudios de herpetofauna en humedales y su relación con variables ambientales.

Los estudios ecológicos sobre herpetofauna en humedales y cuerpos de agua en paisajes agrícolas y/o urbanos se han desarrollado principalmente en el extranjero, la diversidad de estos estudios comprenden desde la relación de variables ambientales a nivel local (<500m) y a nivel de paisaje(hasta 2500m) con atributos ecológicos como la presencia, abundancia de poblaciones y la riqueza de especies (Ritcher y Azous, 1995; Peltzer *et al.*, 2006;), también se han estudiado las áreas de influencia alrededor de los cuerpos de agua (Gibbons, 2003) y el valor ecológico de los cuerpos de agua artificiales (Babitt *et al.*, 2000; De Lathouder *et al.*, 2009; Shulse *et al.*, 2010) y de los cuerpos de agua efímeros o temporales (Babbit *et al.*, 2000) cabe mencionar que en la gran mayoría de trabajos únicamente se han enfocado en anfibios, con algunas excepciones como los trabajos de Marchand y Litbaitis (2008) y Atumm *et al.* (2008).

La presencia, abundancia y riqueza de especies de anfibios y reptiles a una escala local se ha relacionado positivamente con aspectos de la vegetación ribereña y disponibilidad de sustratos (Marchand y Litvaitis, 2004; Pearl *et al.*, 2005, Peltezer *et al.*, 2006; Mac Nally *et al.*, 2010; Rodriguez-Da Silva *et al.*, 2012), también con factores relacionados con el hidroperiodo y la temporalidad, profundidad, permanencia y edad del cuerpo de agua (Marchand y Litvaitis, 2004 Silva *et al.*, 2011; Rodriguez-Da Silva *et al.*, 2012).

Los factores locales relacionados negativamente con la riqueza de especies que se observaron en otras investigaciones fueron la presencia y abundancia de peces predadores (Pearl *et al.*, 2005), el aumento de nutrientes y eutrofización relacionados con actividades agrícolas (Burgett *et al.*, 2007; Jhonson *et al.*, 2007; Sacerdote y King, 2009), las quemas o incendios (Brodman, 2010) y grandes distancias entre el cuerpo de agua y la vegetación ribereña (Birx-Raybuck *et al.*, 2009)

A nivel de paisaje los factores principales relacionados con los atributos ecológicos de la herpetofauna de manera positiva son la cobertura forestal o de vegetación nativa (Findlai y Houlahan, 1997; Simon *et al.*, 2009), la densidad de cuerpos de agua en el paisaje o matriz (Ficetola y De Bernardi, 2004; Shulse *et al.*, 2010; Tanadini *et al.*, 2011).

Los caminos y carreteras también fueron factores que se relacionaron negativamente con riqueza de especies a escala de paisaje, sin embargo algunos autores como por ejemplo Marchand y Liavitis, (2004) y Tanadini *et al.* (2011) observaron que los caminos pueden estar relacionados positivamente con la abundancia y riqueza de algunas especies, en este caso los autores comentan que aunque aparentemente no hay un impacto inmediato a la herpetofauna por los caminos es muy factible que a largo plazo las poblaciones y comunidades tengan problemas severos de declinación y que este tipo de fenómenos impacta de mayor forma a las especies raras o especialistas (Findlay y Bourdages, 2000; Marchand y Liavitis, 2004; Tanadini *et al.*, 2011).

En muchos trabajos los autores mencionan que las variables ambientales tienen una influencia e impacto, diferente entre las especies y las historias de vida (Ritcher y Azous, 1995; Ficetola y De Bernadi, 2004; Pearl *et al.*, 2005; Shulse *et al.*, 2010; Auttum *et al.*, 2008; Brix-Raybuck, 2009) y que tomando en cuenta que los cuerpos de agua en paisajes urbanos y agrícolas tienen características muy variables es muy difícil proponer estrategias generales para la promover la conservación en este tipo de componentes del paisaje (Ficetola *et al.*, 2008)

Objetivos

El objetivo general es estudiar la diversidad anfibios y reptiles asociados a humedales en un paisaje agrícola y urbano del eje Neovolcánico, así como los principales factores ambientales que afectan la riqueza de especies

Los objetivos específicos son:

Hacer un inventario de especies de la herpetofauna asociada a humedales del área de estudio.

Analizar la riqueza, abundancia y diversidad de anfibios y reptiles por cada humedal (diversidad alfa) y por conjuntos de humedales diferenciados por tamaño.

Analizar las diferencias en composición de las especies (diversidad beta) a diferentes escalas espaciales.

Identificar los principales factores ambientales a diferentes escalas espaciales que tienen influencia en la riqueza de especies de anfibios y reptiles en el sistema de estudio.

Área de estudio

Los humedales donde se estudió la diversidad de anfibios y reptiles (Figura 1), se encuentran entre los 20°0′-20°30′ de latitud norte y los 100°30′-99°30′ de longitud oeste, pertenecen a los municipios de Corregidora, Amealco de Bonfil y Huimilpan en el estado de Querétaro; Coroneo y Jerécuaro en el estado de Guanajuato; Epitacio Huerta en el estado de Michoacán; Polotitlán en el Estado de México y Nopala de Villagrán en el estado de Hidalgo (Tabla 1), es un paisaje urbano-agrícola inmerso en el Eje Neovolcánico.

El Eje Neovolcánico o Faja Volcánica Transmexicana (FVT) es un arco magmático de 1000 km de ancho que se extiende desde la costa del Pacífico hasta el Golfo de México, la FVT es una provincia volcánica originada en el Mioceno, cuya actividad continua hasta el presente, con más de 800 estructuras volcánicas que incluyen estratovolcanes, calderas, domos y campos de conos monogenéticos (Castellano-de Rosas, 2007). La FVT es una de las regiones más ricas del país y cuenta con un elevado número de endemismos, situación que se ha explicado por su heterogeneidad ambiental (Espinosa y Ocegueda, 2007), sin embargo la FVT también ha sido una de las regiones más impactadas del país debido al establecimiento de poblaciones humanas (Cantellano-de Rosas, 2007).

Según la clasificación de paisajes publicada por Castellano de Rosas (2007), el área de estudio se encuentra en las “Planicies y Laderas Semiáridas y Templadas” de la región Oriental, este es un paisaje con climas semiárido (BS_1kw) y templado sub-húmedo $C(w_0)$, $C(w_1)$ y $C(w_2)$ con escasa cobertura vegetal. Es un paisaje fuertemente alterado donde destaca la mayor superficie de desarrollo urbano y la presencia de agricultura ha sustituido a matorrales de distintos tipos, sin embargo aún existen manchones pequeños de bosques de pinos y encino (Cantellano-de Rosas, 2007).

Específicamente la zona presenta rocas volcánicas del terciario y cuaternario y presenta un relieve con cerros y lomeríos que van de los 2000 a los 3000 msnm. El área se caracteriza por tener climas templados y sub-húmedos.

Las lluvias son favorecidas por la altitud y por la presencia de algunas serranías, en verano llueve abundantemente y en invierno presentan granizadas y heladas frecuentes (INEGI, 1988).

El área es un paisaje altamente modificado en el que se desarrollan actividades económicas como agricultura, ganadería y desarrollo urbano e industrial; por lo que la vegetación nativa (bosques de encinos, matorrales crasicaules y selvas bajas) se ha reducido a parches discretos distribuidos heterogéneamente en el paisaje (INEGI, 2012) (Figura 2).

Figura 1. Ubicación del área de estudio con respecto al Eje Neovolcánico y a México.

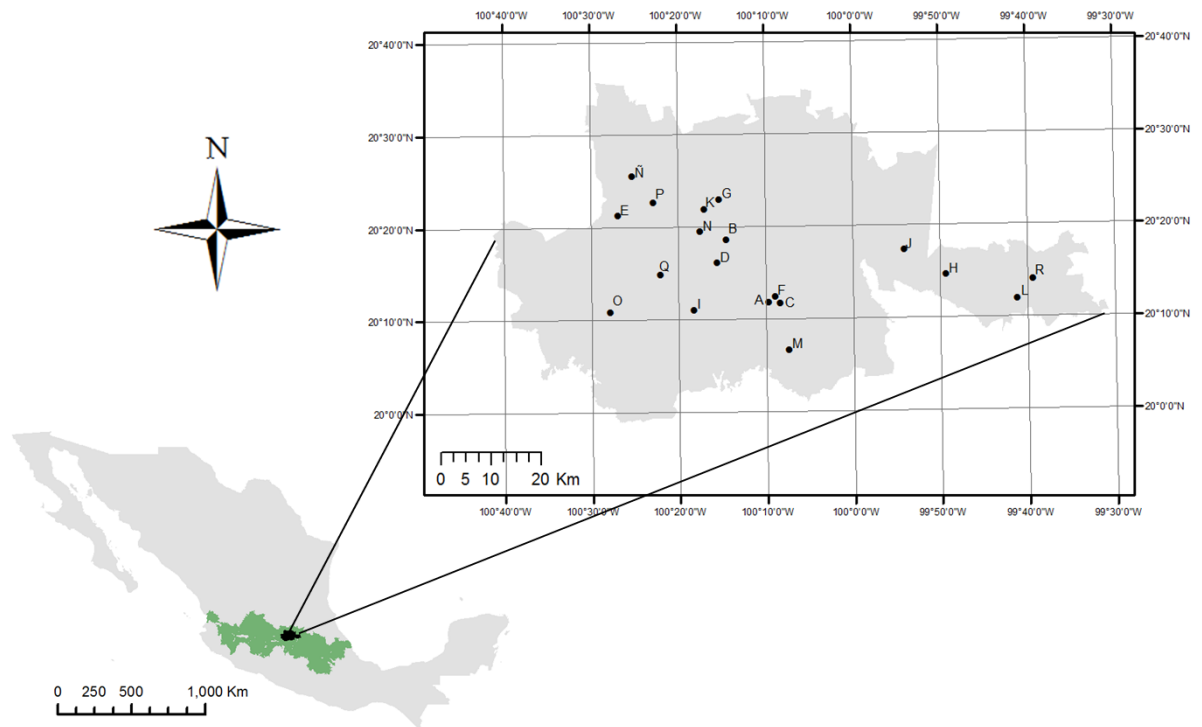


Figura 2. Composición del paisaje del área de estudio.

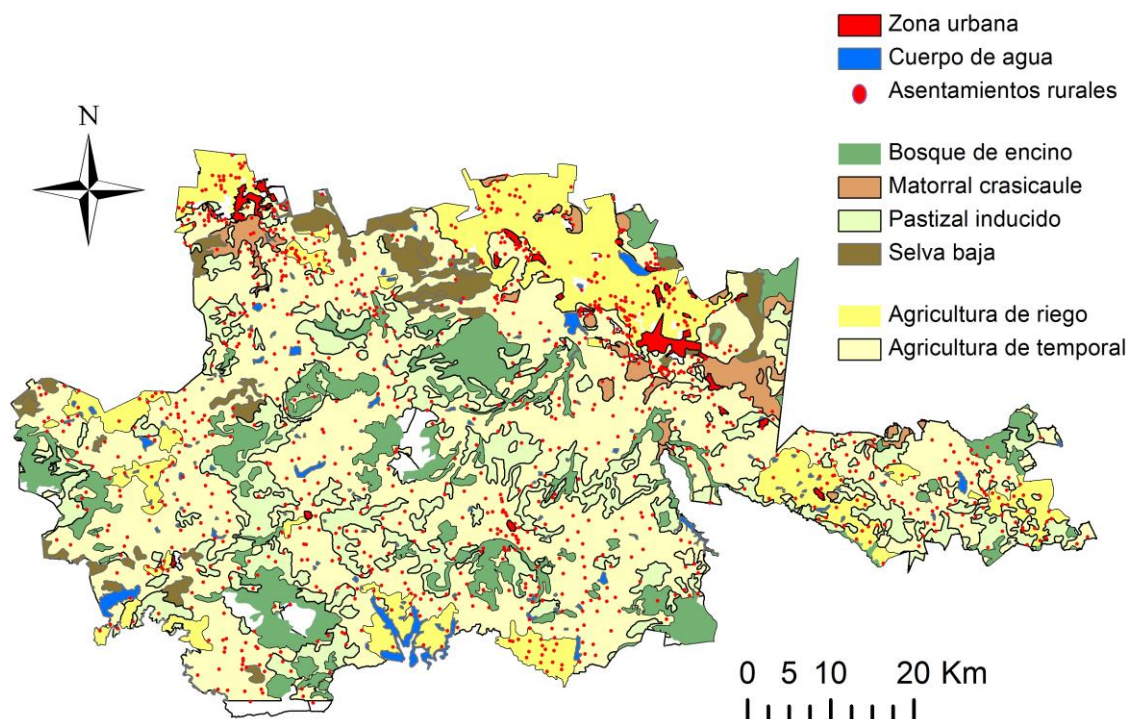


Tabla 1. Humedales considerados en el estudio.

Nombre	Símbolo	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Área (ha)	Categoría
Amealco	A	Amealco de Bonfil	20°11'45.58"	100° 9'42.71"	2598	0.356	
La beata	B	Amealco de Bonfil	20°18'33.08"	100°14'28.95"	2410	1.348	
La barda	C	Amealco de Bonfil	20°11'41.47"	100° 08'26.03"	2600	1.795	
Laguna de Servin	D	Amealco de Bonfil	20°16'06.89"	100°15'34.29"	2749	2.454	Chicos
Sabanilla	E	Jerecuaro	20°21'17.00"	100°26'51.54"	2144	2.724	
La isla	F	Amealco de Bonfil	20°12'23.01"	100° 08'57.19"	2565	4.945	
Huimilpan ganadero	G	Huimilpan	20°21'52.45"	100°16'59.40"	2310	7.108	
Polotitlan	H	Polotitlan	20°14'35.13"	99°49'20.20"	2276	11.465	
Seco de Michoacan	I	Epitacio Huerta	20°10'59.92"	100°18'17.24"	2480	12.199	
San Gabriel	J	San Juan del Rio	20°17'19.85"	99°54'6.02"	2230	15.806	Medianos
Huimilpan	K	Huimilpan	20°19'27.76"	100°17'31.43"	2375	32.28	
Daño	L	Nopala de Villagrán	20°11'55.93"	99°41'16.31"	2419	34.176	
San Miguel Tlaxcaltepec	M	Amealco de Bonfil	20° 06'38.56"	100° 07'25.90"	2428	37.206	
San Pedro	N	Huimilpan	20°22'57.66"	100°15'17.78"	2276	52.864	
Presa de Bravo	Ñ	Corregidora	20°25'32.63"	100°25'13.56"	2109	75.076	
Fray Angel Juarez	O	Jerecuaro	20°10'48.17"	100°27'51.82"	2020	81.012	Grandes
Ceja de Bravo	P	Huimilpan	20°22'41.17"	100°22'48.21"	2193	95.776	
Cebolletas	Q	Coroneo	20°14'51.50"	100°22'05.90"	2452	109.041	
Nopala	R	Nopala de Villagrán	20°14'03.46"	99°39'25.81"	2380	186.108	

Metodología

Selección de los humedales

Para seleccionar los humedales a estudiar, primero se hizo un inventario de cuerpos de agua en el área de estudio con la ayuda de imágenes de Google Earth y mediante recorridos, de esta manera se le asignó un número a cada cuerpo de agua y se anotaron observaciones sobre su distancia a la ciudad de Querétaro, su ubicación y la facilidad de su acceso. En total se contabilizaron 75 cuerpos de agua de tamaños y características muy variables. De manera aleatoria se eligieron 19 humedales (Tabla 1); 7 humedales chicos (<10 ha), 5 humedales medianos (10-37 ha) y 7 humedales grandes (>37 ha). Se categorizaron por su tamaño para poder hacer el esfuerzo de muestreo proporcional al tamaño del humedal y homogéneo en cada categoría. Se utilizó esta categorización debido a que ha mostrado ser importante para otros grupos de fauna en humedales (Pineda-López 2008).

La unidad básica de muestreo fueron transectos con dimensiones de 10 X 250 m paralelos al cuerpo de agua, se muestrearon a los anfibios y reptiles invirtiéndole a cada transecto un esfuerzo de muestreo de una hora de búsqueda (transecto/hora-persona). Para el caso de los humedales chicos se muestreó la herpetofauna con 4 transectos, 8 en los medianos y 16 en los grandes.

El trabajo de campo se llevó a cabo mediante 4 prospecciones: una en el periodo de estiaje y las siguientes 3 durante el periodo de lluvias durante los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 2011. El esfuerzo de muestreo total fue de 180 transectos/horas-persona.

Muestreo de anfibios y reptiles

La técnica de muestreo de los anfibios y reptiles fue mediante captura y observación directa en búsquedas diurnas de 9 a 17 horas, para la captura de organismos se utilizaron redes, ganchos y cañas herpetológicas. Se registró la siguiente información: categoría del humedal, humedal, muestreo o número de expedición, transecto, número de organismo y especie de cada organismo

registrado. Para la identificación de especies se utilizaron las claves taxonómicas de Ramírez-Bautista *et al.* (2009) y Dixon y Lemos-Espinal (2010).

Caracterización ambiental

Se realizó una caracterización ambiental a diversas escalas espaciales: nivel transecto, nivel humedal y nivel paisaje circundante al humedal. Los factores ambientales que se midieron se eligieron con base a que en investigaciones similares resultaron relevantes para la riqueza y abundancia de anfibios y reptiles (Meets *et al.* 2001; Ficetola y De Bernardi 2004; Marchand y Litvaitis 2004; Pearl *et al.* 2005; Suazo-Ortuño *et al.* 2011). A nivel transecto se registró la altura y cobertura de la vegetación arbórea, herbácea y arbustiva, el número de sustratos en el transecto y la temperatura y humedad ambiental (Tabla 2). Las variables a nivel transecto se registraron en las últimas tres expediciones (periodo de lluvias) todas las variables ambientales a este nivel se midieron cinco veces en cada transecto en puntos dispuestos al azar.

A nivel de humedal se obtuvieron parámetros físico-químicos en el agua (Tabla 2), con dos instrumentos multiparamétricos el HANNA HI9828, el cual permite tomar las lecturas directamente del cuerpo de agua, el otro multiparámetro que se utilizó fue el HANNA C-206, este aparato se empleó para determinar en el laboratorio el contenido de nitratos, nitritos y fósforo total en muestras de 100 ml de agua colectadas durante el muestreo y preservadas en frío y condiciones de oscuridad.

Mediante observación directa se registró la presencia o ausencia de peces exóticos (carpas y tilapias), para obtener esta información se utilizaron redes de mano y/o red de arrastre (chinchorro). Se registró la estacionalidad del cuerpo de agua, presencia o ausencia de afluentes, área del humedal y número de hábitats circundantes al cuerpo de agua, para este último punto se reconocieron los siguientes hábitats: cultivo, matorral, pastizal inducido, bosque de encino y plantación de eucalipto (Tabla 2).

A nivel paisaje se registró: porcentaje en 250 m y 2000 m a la redonda de parches vegetación nativa (bosque de encino, selva baja y matorral crasicaule) agricultura de temporal y de riego, plantaciones de eucalipto y zonas urbanas, longitud de caminos de terracería y pavimentados de 4, 2 y un carril (Tabla 2). Para generar este grupo de información se utilizaron imágenes del satélite SPOT 5, con resolución de 5 y 10 m por pixel, pancromáticas y multiespectrales, cercanas a un ángulo de inclinación vertical, con una nubosidad menor a 10% y ortorrectificadas. Para describir el paisaje se utilizó una técnica de interpretación visual de las imágenes y verificación en campo. La información de las carreteras se obtuvo de datos vectoriales de INEGI escala 1:5000 de la zona de estudio. Para procesar la información se utilizó el programa ArcMAP 10.

Tabla 2. Relación de variables ambientales, metodología de medición o aparato con las cuáles se obtuvieron, unidades en las que se expresa la variable y escala espacial de cada variable.

Nivel espacial	Variable ambiental	Código	Metodología de medición	Unidades
TRANSECTO	Altura de la vegetación arborea	Altarbo	Medición con un clinómetro	cm
	Altura de la vegetación arbustiva	Altarbu	Medición con cinta métrica	cm
	Altura de la vegetación herbácea	Altherb	Medición con cinta métrica	cm
	Covertura de la vegetación arborea	Covarbo	Estimación con un densiometro	%
	Covertura de la vegetación arbustiva	Covarbu	Estimación visual	%
	Covertura de la vegetación herbácea	Covherb	Estimación visual	%
	Temperatura ambiental	Tempam	Medición con termohigrómetro	°C
	Humedad ambiental	Humedad	Medición con termohigrómetro	%
	Número de sustratos	Sustratos	Observación directa	No.
HUMEDAL	pH	pH	Medición con HANNA HI9828	UpH
	Temperatura del agua	Tempag	Medición con HANNA HI9828	°C
	Salinidad	Salinidad	Medición con HANNA HI9828	UPS
	Nitratos	Nitratos	Medición con HANNA C 206	mg/L
	Nitritos	Nitritos	Medición con HANNA C 206	mg/L
	Fósforo	Fósforo	Medición con HANNA C 206	mg/L
	Presencia/ausencia exóticos	Exóticos	Observación directa	0/1
	No. de hábitats	Hábitats	Observación directa	No.
	Presencia/ausencia de afluentes	Afluentes	Observación directa	0/1
	Estacional/Permanente	Esatcionalidad	Observación directa	0/1
	Área	Ha	Estimación con SIG	Ha
PAISAJE A 250 y 2000 m	Agricultura de riego	Riego	Estimación con SIG	%
	Agricultura de temporal	Temporal	Estimación con SIG	%
	Bosque de encino	Encino	Estimación con SIG	%
	Cuerpo de agua	Agua	Estimación con SIG	%
	Pastizal inducido	Pastizali	Estimación con SIG	%
	Zona urbana	Urbana	Estimación con SIG	%
	Matorral crasicaule	Matorralc	Estimación con SIG	%
	Selva baja	Selwab	Estimación con SIG	%
	Plantación de eucalipto	Peucalipto	Estimación con SIG	%
	Carretera pavimentada de 4 carriles	P4	Estimación con SIG	m
	Carretera pavimentada de 2 carriles	P2	Estimación con SIG	m
	Carretera pavimentada de 1 carril	P1	Estimación con SIG	m
	Terracería de 2 carriles	T2	Estimación con SIG	m
Terracería de 1 carril	T1	Estimación con SIG	m	

Análisis de datos

Inventario de especies

Para conocer la completitud del inventario de especies (en porcentaje) o la eficiencia del muestreo se calculó la riqueza de especies de anfibios y reptiles con los estimadores no paramétricos ACE y Chao 1 que son estimadores basados en la abundancia de las especies y los estimadores ICE y Chao 2 que son estimadores basados en la incidencia de especies (Colwell, 2006, Magurran y McGill, 2011). Se eligieron estos estimadores por que se han utilizado en estudios herpetofaunísticos recientes (Medina-Aguilar et al., 2011; Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012; Hernandez-Salinas y Ramírez-Bautista, 2012) y porque se basan en datos de distinta naturaleza, de incidencia y de abundancia. Para calcular los estimadores no paramétricos se utilizó el programa Estimates 8.2 (Colwell, 2006). Se realizaron pruebas de Chi² para determinar si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la riqueza observada y la riqueza estimada (Medina-Aguilar *et al.*, 2011), para este método se utilizó el programa Past 2.15 (Hammer *et al.*, 2001).

Adicionalmente se describe para cada especie si está en alguna categoría de protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010, si es endémica a México, si las especies son de hábitos acuáticos o terrestres y su abundancia relativa; para este punto se utilizó el criterio que empleó Fernández-Badillo y Goyenechea-Mayer (2010), donde una especie se considera rara si presenta una abundancia de uno o dos individuos, moderadamente abundante, si presenta una abundancia de hasta cinco individuos y abundante si presenta una abundancia de más de cinco individuos.

Descripción de la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios y reptiles entre humedales y categorías de humedales.

Se registró por humedal el número de especies de anfibios y reptiles (riqueza), el número de individuos (abundancia) y diversidad.

Para conocer la eficiencia del muestreo por cada humedal se emplearon los estimadores no paramétricos ACE, Chao 2, ICE y Chao, utilizando el programa

Estimates 8.2 (Colwell, 2006) y se determinó si se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la riqueza observada y estimada mediante pruebas de χ^2 para esto se empleó el programa Past 2.15 (Hammer, 2001).

La diversidad se midió con números efectivos de especies (Jost 2006), que se obtuvieron como el exponencial del índice de entropía de Shannon (1D), y el inverso del índice de Simpson (2D), estos cálculos se realizaron con ayuda del programa Past 2.15 (Hammer, 2001).

Se eligieron los números efectivos de especies ya que son una medida sencilla e intuitiva de describir la diversidad de los sistemas, además las propiedades matemáticas de este índice hace posible que los resultados sean directamente comprobables (Jost, 2006; Moreno *et al.*, 2011). Con los números efectivos de especies se puede expresar la riqueza (0D), la diversidad de especies considerando la abundancia sin aportar ningún peso extra a las especies dominantes (1D) y la diversidad de especies favoreciendo a las especies dominantes (2D) (Jost, 2006; Moreno *et al.*, 2011).

Se hicieron gráficos de barras con su respectivo error estándar, de la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios y reptiles por categorías. Para determinar si la abundancia, riqueza y diversidad son estadísticamente diferentes entre las categorías de humedales se hicieron análisis de varianza (ANOVA). Para comparar por grupos por pares se empleó el estadístico de Tukey. Para determinar si la distribución de los datos era normal se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilks (W) y su correspondiente valor de p. En el caso de los datos que no presentaron distribuciones normales se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis y el estadístico de Mann-Whithney para comparar grupos por pares, los gráficos de barras y los análisis de varianza se hicieron utilizando el programa Past 2.15 (Hammer, 2001).

Para comparar la riqueza acumulada entre categorías de humedales se hicieron análisis de rarefacción por muestras dimensionado en individuos, este procedimiento es útil para comparar la riqueza de sitios con distintos esfuerzos de

muestreo, este método se llevó a cabo utilizando las columnas Mau Tao de los resultados de la corridas de los análisis de diversidad para cada categoría con el programa Estimates 8.2 (Colwell, 2006).

Descripción de la diversidad beta

Se analizó similitud de la composición de especies de las comunidades por categorías de tamaño y por humedales, para esto se generaron dendrogramas utilizando el índice de similitud de Jaccard y la técnica de ligamiento simple. El índice de Jaccard se calcula mediante la siguiente formula:

$$I_j = c / a+b-c$$

Dónde: I_j es el Índice de similitud de Jaccard, a es el número de especies presentes en el sitio A, b es el número de especies presentes en el sitio B, c es el número de especies presentes en ambos sitios

Se eligió el índice de similitud de Jaccard porque es un índice que utiliza información de la incidencia de especies y expresa de manera sencilla la similitud de la composición de las comunidades de especies (Magurran, 2004) Para generar los dendrogramas se utilizó el programa Past 2.15 (Hammer, 2001).

Adicionalmente se hizo un análisis de partición de la diversidad beta, en el que se utilizaron los modelos aditivo y multiplicativo de la diversidad, para este análisis se utilizó el programa Partition 3.0 (Veech y Crist, 2009).

El modelo aditivo de diversidad en la partición de diversidad expresa el valor de la riqueza promedio y la diversidad beta de los transectos, humedales y categorías de humedales, por lo que permite hacer una comparación directa de la aportación de diversidad beta en cada componente de la diversidad gamma o nivel en términos de porcentaje y está dado por la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta$$

Dónde: Y es la diversidad gamma, α es la riqueza promedio, β es la diversidad beta

$$Y = \beta(\text{transectos}) + \beta(\text{humedales}) + \beta(\text{categorías})$$

El modelo multiplicativo de diversidad se puede expresar en la siguiente fórmula:

$$Y = \alpha \times \beta$$

Dónde: Y es la diversidad gamma, α es la riqueza promedio, β es la diversidad beta.

En este modelo la diversidad beta es el número de veces en que α cabe en Y , y se puede interpretar como el número de comunidades presentes. La partición de beta en este caso se expresa como:

$$Y = \alpha \text{ transectos} \times (\beta \text{ transectos} \times \beta \text{ humedales} \times \beta \text{ categorías})$$

A diferencia del modelo aditivo de diversidad, con el enfoque multiplicativo de diversidad no se puede hacer una comparación de la diversidad beta entre los distintos componentes de la diversidad gamma.

Para éstos análisis se utilizó el programa Partition 3.0 (Veech y Crist, 2009) que calcula valores nulos de los componentes de la diversidad basándose en el grupo de datos con se alimenta el programa e indica si el valor de diversidad observado es estadísticamente diferente a lo esperado según los modelos nulos. En este caso, dado que se utiliza como una prueba de dos colas, los valores de p que indican diferencia estadística ya sea mayor o menor lo observado respecto de lo esperado, son $p < 0.025$ y $p > 0.975$. La información se puede interpretar de la siguiente forma, cuando p tiene valores muy bajos (< 0.025) la diversidad observada es estadísticamente alta, en contraste cuando los valores de p son grandes (> 0.975) la diversidad observada es estadísticamente baja en comparación con el valor de diversidad esperada (Veech y Crist, 2009).

Correlación de la riqueza de especies con las variables ambientales.

Como primer paso se obtuvo la matriz de correlación entre las variables a los distintos niveles espaciales para descartar multicolinealidad entre las variables ambientales, se tomó la decisión de llevar a cabo la remoción de alguna variable de los modelos si esta correlacionaba con otra con un coeficiente mayor a 0.6 (Tanadini *et al.*, 2012).

Con el fin de identificar las variables ambientales más importantes que pueden influenciar la riqueza de especies de anfibios y reptiles a los diferentes niveles espaciales utilizados se hicieron modelos lineales generalizados por pasos (MLG) utilizando la familia de ligamiento de Poisson. Esta familia de ligamiento es adecuada ya que la variable respuesta es un conteo (Hardin y Hilbe, 2007). Posteriormente se realizó una inferencia multi-modelo, mediante la siguiente metodología:

Se conformaron modelos lineales generalizados para cada nivel espacial transectos, humedales y paisaje de los humedales a 250 m y 2000 m (Tabla 3) para generar posteriormente MLG por pasos, este procedimiento permitió descartar variables que tenían poca influencia sobre la variable respuesta (riqueza de especies) utilizando el criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc).

Tabla 3. Modelos generales utilizados para cada nivel espacial.

Modelo general para el nivel de transecto	Riqueza=Altherb + Cobarbo + Cobarbu + Cobherb + Sustratos +Tempamb + Humedad
Modelo general para el nivel de humedal	Riqueza = pH + Salinidad + Nitritos + Fósforo + Exóticos + Hábitats + Afluentes + Estacionaliad + Ha
Modelo general para el nivel de paisaje a 250 y 2000	Riqueza = Riego + Temporal + Encino + Agua + Pastizali + Matorralc + Selvab + Peucalipto + P2 + T2 + T1

La inferencia multi-modelo se hizo utilizando únicamente los dos mejores modelos definidos por tener el AICc más bajo, para esto se calculó el valor de Likelihood (L) y el peso ponderado de AICc (W_i) de la siguiente manera:

$$L = \text{Exp}(-0.05 \cdot \text{AICc}) \quad W_i = L / \sum L$$

Dónde: AICc es el valor del criterio de información de AIC corregido para muestras pequeñas, W_i es el peso ponderado de AICc, L es el valor de Likelihood de cada modelo.

Posteriormente el coeficiente de cada variable de los modelos se multiplica por el peso ponderado de AIC (W_i), para poder calcular los coeficientes de regresión de las variables (Coef), su error estándar (EE), la razón de Momios u *Odd Ratios* (OR) y sus intervalos de confianza a 95%.

Se consideró que las variables que excluyen al 1 en los intervalos de confianza del OR como las que presentan un mayor sustento estadístico de un efecto significativo sobre la riqueza de especies (Chapa-Vargas y Robinson, 2006).

Finalmente se construyó un modelo final con las variables seleccionadas en la inferencia multi-modelo y se calcularon los valores de pseudo R cuadrada de MacFadden y de Cragg y Uhler, las cuales nos indican la variación explicada por el modelo y su ajuste respectivamente (Hardin y Hilbe, 2007).

Para correr los modelos lineales generalizados por pasos y calcular los valores de pseudo R cuadrada se utilizó el programa R versión 2.14.2 (R Development Core Team, 2012) y el paquete pscl (Jackman, 2012).

Resultados

Inventario de especies de anfibios y reptiles

Se registraron 1414 individuos de 24 especies anfibios y reptiles. Siete especies son anfibios, de las cuales sólo una pertenece al orden Caudata y seis al orden Anura; 17 especies son reptiles, de las cuales 2 pertenecen al orden Testudinia, 15 a Squamata (9 al suborden Sauria y 6 al suborden Ophidia). Catorce especies se consideran acuáticas y 10 especies terrestres. Doce de las 24 especies están en alguna categoría de protección según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010) y 14 especies son endémicas a México (Ramírez-Bautista *et al.*, 2009; Dixon y Lemos-Espinal, 2010) (Tabla 4).

Tabla 4. Inventario de especies de anfibios y reptiles asociados a humedales en un paisaje urbano-agrícola en el Eje Neovolcánico. Según la NOM-059-SEMARNAT-2010 Pr=Protección especial, A= Amenazada.

CLASE AMPHIBIA

ORDEN CAUDATA

Familia AMBYSTOMATIDAE

Ambystoma velaci (Pr, Endémica, Acuática)

ORDEN ANURA

Familia BUFONIDAE

Anaxyrus compactilis (Acuática)

Familia HYLIDAE

Hyla arenicolor (Acuática)

Hyla eximia (Acuática)

Familia RANIDAE

Lithobates berlandieri (Pr, Acuática)

Lithobates montezumae (Pr, Endémica, Acuática)

Familia SCAPHIOPODIADAE

Spea multiplicata (Acuática)

Tabla 4 continuación. Inventario de especies de anfibios y reptiles asociados a humedales en un paisaje urbano-agrícola en el Eje Neovolcánico. Según la NOM-059-SEMARNAT-2010 Pr=Protección especial, A= Amenazada.

CLASE REPTILIA

ORDEN TESTUDINES

Familia KINOSTERNIDAE

Kinosternon hirtipes (Pr, Acuática)

Kinosternon integrum (Pr, Endémica, Acuática)

ORDEN SQUAMATA

SUBORDEN LACERTILIA

Familia ANGUIDAE

Barisia imbricata (Pr, Endémica, Terrestre)

Familia PHRYNOSOMATIDAE

Sceloporus aeneus (Endémica, Terrestre)

Sceloporus dugesii (Endémica, Terrestre)

Sceloporus grammicus (Pr, Endémica, Terrestre)

Sceloporus mucronatus (Endémica, Terrestre)

Sceloporus spinosus (Endémica, Terrestre)

Sceloporus scalaris (Endémica, Terrestre)

Sceloporus torquatus (Endémica, Terrestre)

SUBORDEN OPHIDIA

Familia COLUBRIDAE

Diadophis punctatus (Terrestre)

Thamnophis cyrtopsis (A, Acuática)

Thamnophis eques (A, Acuática)

Thamnophis melanogaster (A, Endémica, Acuática)

Thamnophis scaliger (A, Endémica, Terrestre)

Familia VIPERIDAE

Crotalus aquilus (Pr, Endémica, Terrestre)

El inventario de especies de anfibios alcanza una completitud de un 74–93% mientras que el de los reptiles logra una completitud del 76-89% en ambos casos no existen diferencias significativas ($p>0.05$) entre la riqueza esperada y la riqueza observada (Tabla 5).

Tabla 5. Relación de la riqueza observada y la riqueza estimada, así como la completitud lograda por el muestreo y los valores de la prueba de Chi².

	Riqueza observada	Estimador	Riqueza estimada	Completitud (%)	Chi ²	Valor de p
Anfibios	7	ACE	8	87.50	1.256	0.740
		ICE	9.49	73.76		
		Chao1	7.5	93.33		
		Chao2	9	77.78		
Reptiles	17	ACE	22.37	75.99	2.95	0.40
		ICE	21.56	78.85		
		Chao1	19	89.47		
		Chao2	20.13	84.45		

De los anfibios dos especies son consideradas raras, y las otras cinco especies aparecieron en este estudio como abundantes (Tabla 6). En cuanto a los reptiles ocho especies son consideradas raras, solo una especie como moderadamente abundante y ocho como abundantes (Tabla 6).

Tabla 6. Abundancia y abundancia relativa que presentaron las especies de anfibios y reptiles.

Orden	Especie	Abundancia	Abundancia relativa
Anfibios	Ambystoma velaci	1	Raras
	Anaxyrus compactilis	2	
	Hyla arenicolor	65	Abundantes
	Lithobates montezumae	73	
	Spea multiplicata	185	
	Hyla eximia	272	
Lithobates berlandieri	273		
Reptiles	Diadophis punctatus	1	Raras
	Sceloporus scalaris	1	
	Thamnophis scaliger	1	
	Thamnophis cyrtopsis	1	
	Aspidocellis gularis	2	
	Crotalus aquilus	2	
	Sceloporus aeneus	2	
	Sceloporus mucronatus	2	
	Barisia imbricata	3	Moderadamente abundante
	Sceloporus spinosus	8	Abundantes
	Thamnophis eques	19	
	Kinosternon integrum	26	
	Sceloporus grammicus	26	
	Thamnophis melanogaster	27	
Kinosternon hirtipes	29		
Sceloporus dugesi	126		
Sceloporus torquatus	267		

Descripción de la riqueza, abundancia y diversidad de anfibios.

La riqueza observada de anfibios en cada humedal no presenta diferencias significativas en comparación con la riqueza estimada ($p > 0.05$), los intervalos de completitud para este orden van del 40 al 100%.

En los humedales medianos Polotitlán y San Gabriel no se encontró ningún anfibio (Tabla 7). En la tabla 8 se muestran los valores de abundancia, riqueza y diversidad de anfibios, se puede observar que nueve humedales la riqueza más alta; tres especies, cinco solo dos especies y tres una especie, la mayor abundancia se presentó en los humedales chicos Sabanillas (D) y Laguna de Servín (E) y la mayor diversidad se observó en los humedales grandes. En la Figura 3 se pueden observar los gráficos de barras dichos atributos.

No existen diferencias significativas ($p > 0.05$) en la riqueza de especies y la abundancia entre las categorías de tamaño, sin embargo si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en la diversidad de anfibios de orden uno y dos (Tabla 9).

En cuanto a la comparación de la riqueza acumulada de especies entre las categorías de tamaño no se observaron diferencias significativas ya que los intervalos de confianza a 95% se sobreponen en el punto de menor esfuerzo de muestreo (Figura 4).

Tabla 7. Relación de la riqueza observada y la riqueza estimada de anfibios, así como la completitud lograda por el muestreo y los valores de la prueba de Chi², las letras corresponden a los humedales (ver Tabla 1).

Símbolo	Riqueza	Completitud %	ACE	ICE	CHAO 1	CHAO 2	Chi ²	valor de P
A	2	62 - 100	2	3.3	2	2	0.48	0.92
B	3	100	3	3	3	3	0.00	1.00
C	1	100	1	1	1	1	0.00	1.00
D	2	100	2	2	2	2	0.00	1.00
E	2	100	2	2	2	2	0.00	1.00
F	2	60 - 100	2	3.3	2	2	0.53	0.91
G	3	80 - 100	3	3.8	3	3	0.15	0.99
H	0							
I	1	100	1	1	1	1	0.00	1.00
J	0							
K	3	78 - 100	3	3.8	3	3	0.18	0.98
L	3	77 - 100	3	3.9	3	3	0.20	0.98
M	3	83 - 100	3	3.6	3	3	0.11	0.99
N	3	80 - 100	3	3.8	3	3	0.15	0.99
Ñ	2	67 - 100	3	2.9	2	2.94	0.93	0.82
O	3	82 - 100	3	3.6	3	3	0.11	0.99
P	3	100	3	3	3	3	0.00	1.00
Q	3	40 - 100	3	7.5	3	3.94	2.92	0.40
R	1	100	1	1	1	1	0.00	1.00

Tabla 8. Abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de anfibios.

Categoría	Símbolo	Abundancia	Riqueza	Diversidad ¹ D	Diversidad ² D
Chicos	A	23	2	1.20	1.09
	B	15	3	2.37	1.99
	C	1	1	1.00	1.00
	D	261	2	1.74	1.58
	E	353	2	2.00	2.00
	F	5	2	1.96	1.92
	G	9	3	2.89	2.79
Medianos	H	-	-	-	-
	I	1	1	1.00	1.00
	J	-	-	-	-
	K	25	3	1.73	1.39
	L	75	3	1.83	1.59
Grandes	M	37	3	2.23	1.85
	N	10	3	2.59	2.27
	Ñ	3	2	1.89	1.80
	O	29	3	2.97	2.95
	P	10	3	2.80	2.63
	Q	13	3	2.68	2.45
	R	1	1	1.00	1.00

Figura 3. Gráficas de barras con error estándar de la abundancia, riqueza y diversidad de orden uno y dos de las comunidades de anfibios.

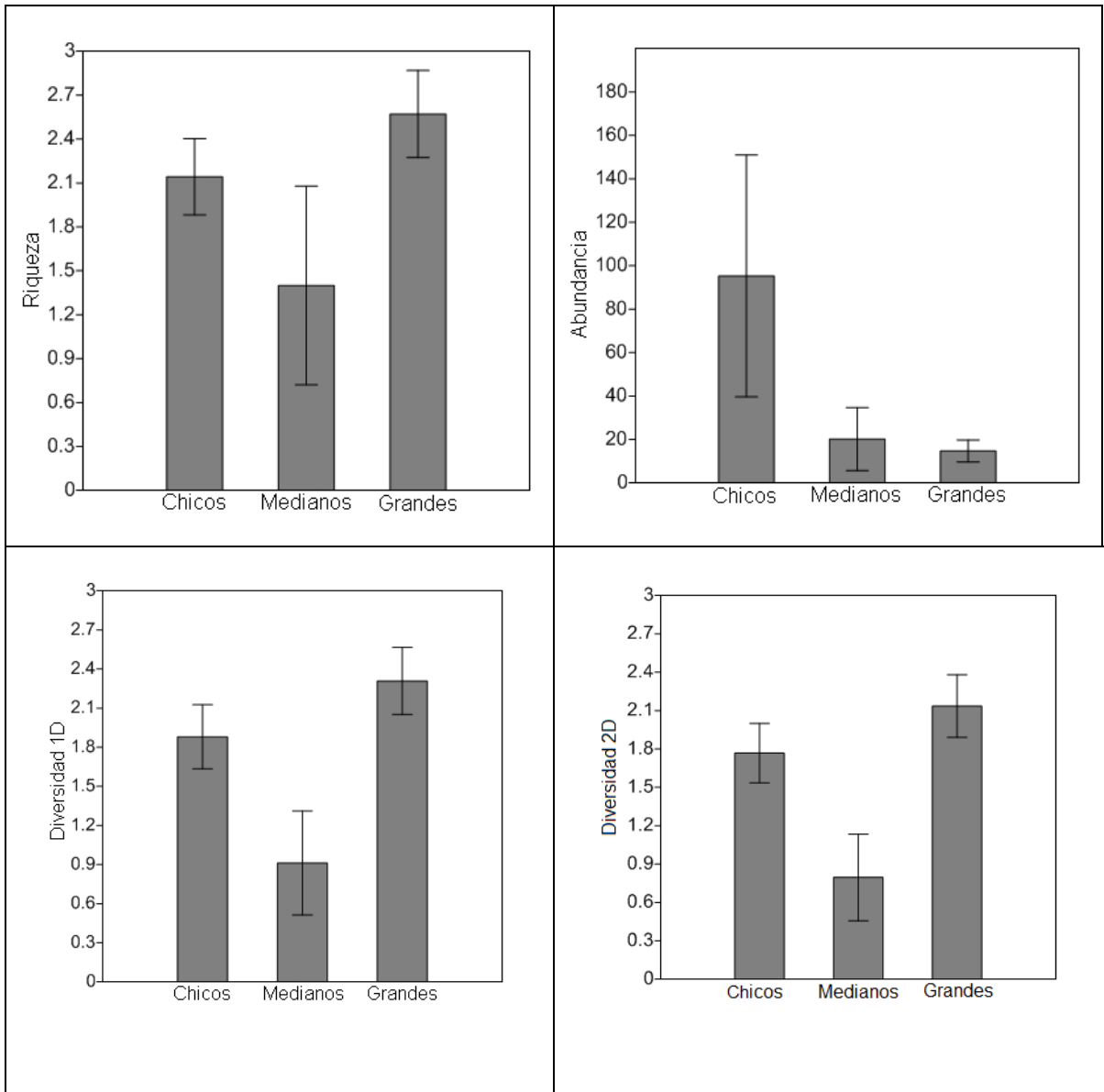
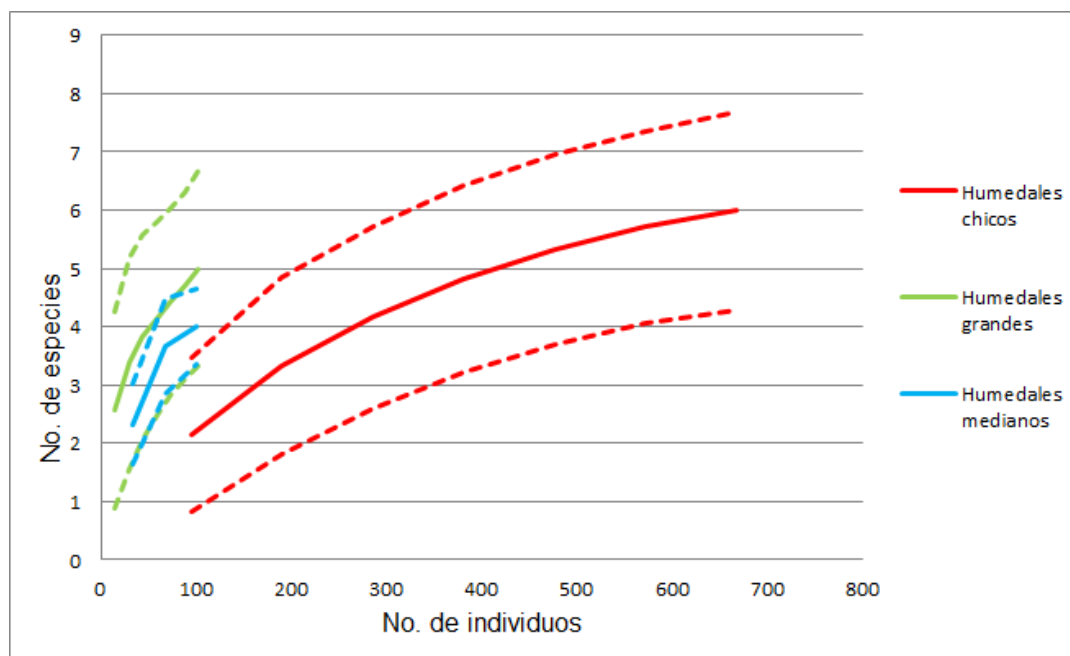


Tabla 9. Análisis de varianza de la riqueza, abundancia y diversidad de los anfibios entre categorías de tamaño, en todos los casos se tienen 2 grados de libertad. W hace referencia a la prueba de Shapiro-Wilks para determinar si los datos son normales.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
	W	$p(W)$	F	valor de p	Prueba de Tukey	Q/p
Riqueza	0.94	0.31	2.04	0.16	-	-
Abundancia	0.80	0.00	1.46	0.48*	-	-
Diversidad ¹ D	0.95	0.41	5.45	0.02	Medianos y Grandes	4.75/0.010
Diversidad ² D	0.95	0.47	6.10	0.01	Medianos y Grandes	5.00/0.007

* Se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis (H) y el estadístico de Mann-Witney (Q) debido a la falta de normalidad de los datos

Figura 4. Análisis de rarefacción de la riqueza de anfibios entre categorías de tamaño, las líneas punteadas hacen referencia a los intervalos de confianza a 95%.



Descripción de los patrones de diversidad β de las comunidades de anfibios.

En cuanto a la similitud de los humedales y las categorías de tamaño se observó que los humedales medianos y grandes son parecidos entre sí a una similitud de 0.8, los humedales chicos se asemejan a estos dos en un valor de aproximadamente 0.65 (Figura 5). Por otro lado, al comparar todos los humedales su similitud es de 0.5 (Figura 6), se observan dos grupos con una similitud de uno por compartir las mismas especies: los humedales Sabanillas (E) y Presa de Bravo (Ñ) que comparten a las especies *Hyla exima* y *Spea multiplicata* y Los

humedales Huimilpan ganadero (G), Huimilpan (K), Dañu (L), San Miguel Tlaxcaltepec (M), San Pedro (N), Fray Angel Juarez (O) y Cebolletas (Q), por presentar a las especies *Hyla arenicolor*, *Hyla eximia* y *Lithobates berlandieri*. Con una similitud cercana a 0.6 se formó otro grupo La beata (B) y Laguna de Servín (D) que se relacionan por presentar a las especie *Lithobates montezumae* y *L. berlandieri*. Los humedales La barda (C), Seco de Michoacan (I) y Nopala (R) solo presentaron una especie y en el humedal Amealco (A) apareció el único individuo de *Ambystoma velaci* en el estudio. En general se observa que se agrupan los humedales medianos y grandes y los chicos aparecen desagrupados o relacionados entre sí.

Figura 5. Análisis de conglomerados de las comunidades de anfibios de las categorías de humedales utilizando el índice de Jaccard.

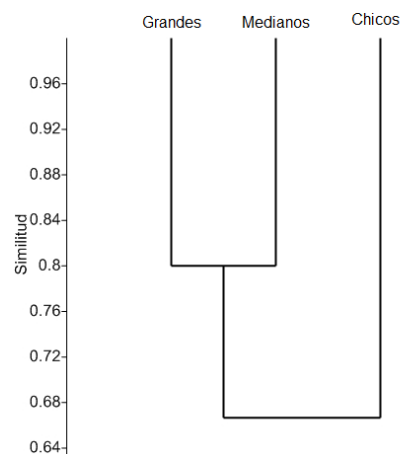
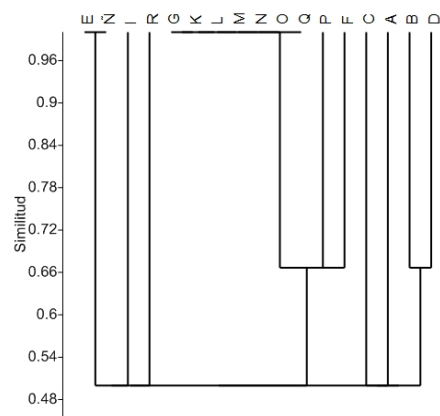


Figura 6. Análisis de conglomerados de las comunidades de anfibios de los humedales de utilizando el índice de Jaccard.



En cuanto a la partición de la diversidad, el componente de diversidad beta aporta el 80 % de la diversidad gamma tomando como base el valor de diversidad alfa más pequeño, el de los transectos. El modelo aditivo indica que la mayor diversidad beta se encuentra entre categorías de humedales, en el caso del modelo multiplicativo la mayor diferencia de diversidad beta se encuentra entre humedales (Tabla 10).

Tabla 10. Partición de diversidad β de las comunidades de anfibios entre los transectos, humedales y categorías de humedales. * Valor de $p < 0.05$

Componente de diversidad	Modelo aditivo	Modelo multiplicativo
α transecto	1.37*	1.37*
β transecto	0.92*	1.67*
β humedales	2.38	2.04*
β categorías	2.33*	1.05*

Relación de la riqueza de especies de anfibios con atributos ambientales a distintas escalas espaciales.

A nivel de transecto las variables relacionadas con la riqueza de especies fueron la cobertura arbórea y la altura de las herbáceas (Tabla 11), a nivel de humedal no se observaron correlaciones entre la riqueza y ningún atributo ambiental (Tabla 12), a nivel de paisaje 250 m la presencia de bosques de encino, agricultura de temporal y pastizales inducidos, están relacionados con la riqueza de especies (Tabla 13) y a nivel de paisaje 2000 m tampoco se observaron relaciones entre la riqueza y los atributos ambientales (Tabla 14).

Al construir un modelo con las variables detectadas de todos los niveles espaciales se observa que el modelo tiene un ajuste de 0.1115 según la pR^2 de McFadden y explica el 30% de la variación de los datos según la PR^2 de Carl y Uhler.

Tabla 11. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de transecto. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=136.

Modelos	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza= Altherb + Cobarbo	4	245.75	0.00	0.00	0.71
Riqueza= Altherb + Cobarbo + Humedad	5	247.57	1.83	0.00	0.29
Variables	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	-1.11	0.28	0.33	0.19 - 0.57	
Altherb	0.00	0.00	1.00	1.00 - 1.01	
Cobarbo	0.02	0.01	1.02	1.01 - 1.03	
Humedad	-0.01	0.01	0.99	0.98 - 1.01	

Tabla 12. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de humedal. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=17.

Modelos	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza=Exóticos+Estacionalidad	4	58.72	0.00	0.00	0.81
Riqueza=pH+Exóticos+Estacionalidad	5	61.75	3.02	0.00	0.18
Variables	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	0.97	0.79	2.63	0.56 - 12.35	
PH	-0.27	0.32	0.77	0.41 - 1.42	
Exóticos	-19.88	6.65E+03	2.31E-09	0.00 - >1	
Estacionalidad	20.24	6.65E+03	6.19E+08	0.00 - >1	

Tabla 13. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de paisaje 250 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR) N=17.

Modelo	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza=Temporal + Encino + Pastizal + T2 + T1	7	73.25	0.00	0.00	0.9997
Riqueza=Riego + Temporal + Encino + Pastizal + T2	9	89.71	16.46	0.00	0.0003
VARIABLES	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	-5.69	2.86	0.00	1.24E-05 - 9.18E-01	
Riego	-0.35	119.20	0.70	2.41E-102 - 2.06E+101	
Temporal	0.07	0.03	1.07	1.01 - 1.13	
Encino	0.07	0.03	1.07	1.01 - 1.13	
Pastizal_i	0.07	0.03	1.08	1.01 - 1.15	
T2	0.0003	0.0002	1.00	0.99 - 1.00	
T1	0.0005	0.0007	1.00	0.99 - 1.00	

Tabla 14. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de anfibios a nivel de paisaje 2000 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=17.

Modelo	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza= Riego	3	59.16	0.00	0.00	0.81
Riqueza = Riego + Agua	4	62.11	2.95	0.00	0.19
VARIABLES	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	0.89	0.17	2.44	1.73 - 3.43	
Riego	-0.16	0.12	0.85	0.67 - 1.08	
Agua	0.02	0.03	1.02	0.97 - 1.08	

Descripción de la riqueza, abundancia y diversidad de los reptiles

La riqueza observada de reptiles en cada humedal no presenta diferencias significativas en comparación con la riqueza estimada ($p > 0.05$), a excepción del humedal Cebolletas (Q) (Tabla 15), por esta razón la información de este humedal se excluye en los posteriores análisis. Los intervalos de completitud para este orden van del 39 al 100%. En los humedales La Barda y Presa de Bravo que son humedales chico y grande respectivamente no se detectó ningún reptil (Tabla 16). En la tabla 16 se muestran los valores de abundancia, riqueza y diversidad de reptiles, se puede apreciar que la mayor abundancia se presentó en la presa Ceja de Bravo (P) y las menores abundancias en el bordo Laguna de Servín (D) y en Huimilpan ganadero (G), en cuanto a la riqueza el mayor número de especies (10) se encontró en Nopala y en dos humedales no se observaron reptiles, la Barda y presa de Bravo (Ñ) en la Figura 7 se pueden observar los gráficos de barras dichos atributos.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la abundancia y la diversidad de orden uno (1D), en la riqueza de especies y la diversidad de orden dos (2D) no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Tabla 17).

Al comparar la riqueza acumulada de reptiles entre las categorías de humedales se puede observar que entre humedales medianos y grandes no hay diferencias significativas, y que los humedales chicos tienen una mayor riqueza en comparación con ambos (Figura 8).

Tabla 15. Relación de la riqueza observada y la riqueza estimada de reptiles, así como la completitud lograda por el muestreo y los valores de la prueba de Chi².

Símbolo	Riqueza	Completitud %	ACE	ICE	CHAO 1	CHAO 2	Chi ²	valor de P
A	7	60 - 95	8.5	12	7.33	8.13	2.32	0.83
B	5	57 - 86	8.9	8.8	8.75	5.75	5.05	0.17
C	0							
D	2	66 - 100	3	3.5	2	2	0.98	0.93
E	3	39 - 100	3	7.7	3	3.75	2.99	0.39
F	4	58 - 80	5	6.8	5	6	2.23	0.53
G	3	50 - 86	6	5.3	3.5	5.25	3.50	0.32
H	2	100	2	2	2	2	0.00	1.00
I	1	100	1	1	1	1	0.00	1.00
J	1	100	1	1	1	1	0.00	1.00
K	3	72 - 100	4.1	3.9	3	3	0.50	0.92
L	5	68 - 90	5.7	7.4	5.5	5.88	1.03	0.79
M	7	81 - 100	7.5	8.6	7	7.31	0.35	0.98
N	4	66 - 100	4.6	6	4	4.47	0.79	0.96
Ñ	0							
O	5	44 - 83	7	11	6	9.5	6.37	0.10
P	2	60 - 100	2	3.3	2	2	0.53	0.91
Q	6	41 - 66	15	9.3	9	10.5	9.11	0.03
R	10	85 - 96	12	12	11	10.33	0.63	0.99

Tabla 16. Abundancia, riqueza y diversidad de las comunidades de reptiles.

Categoría	Símbolo	Abundancia	Riqueza	Diversidad ¹ D	Diversidad ² D
	A	26	7	5.15	4.17
	B	11	5	4.01	3.46
	C	-	-	-	-
Chicos	D	3	2	1.89	1.80
	E	9	3	2.89	2.79
	F	13	4	3.06	2.68
	G	4	3	2.83	2.67
	H	48	2	1.83	1.70
	I	18	1	1.00	1.00
Medianos	J	8	1	1.00	1.00
	K	23	3	1.75	1.43
	L	26	5	2.69	1.95
	M	68	7	3.36	2.34
	N	21	4	2.43	1.85
	Ñ	-	-	-	-
Grandes	O	41	5	1.84	1.36
	P	100	2	1.06	1.02
	R	77	10	4.83	3.08

Figura 7. Gráficas de barras con error estándar de la abundancia, riqueza y diversidad de orden uno y dos de las comunidades de reptiles.

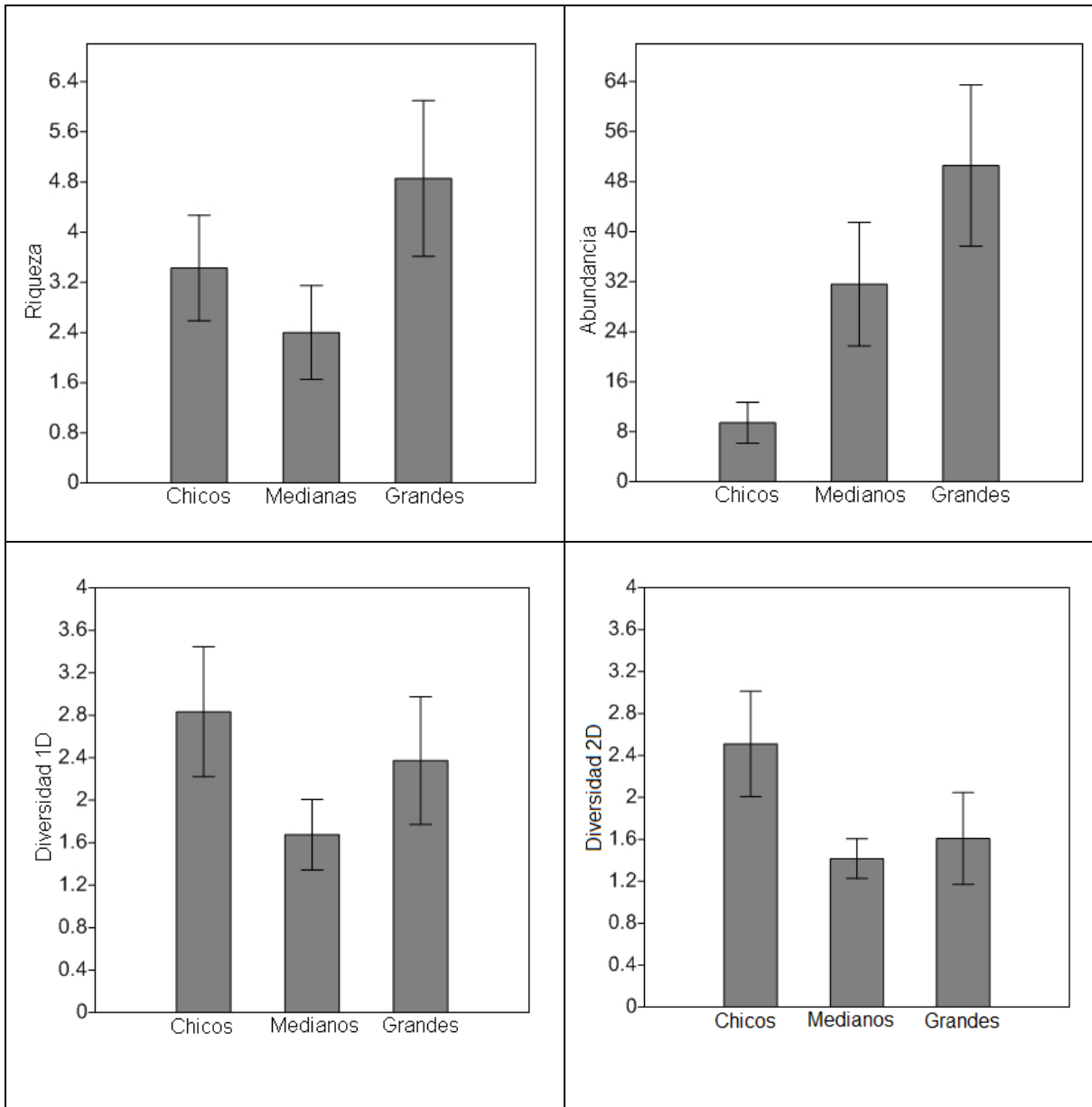
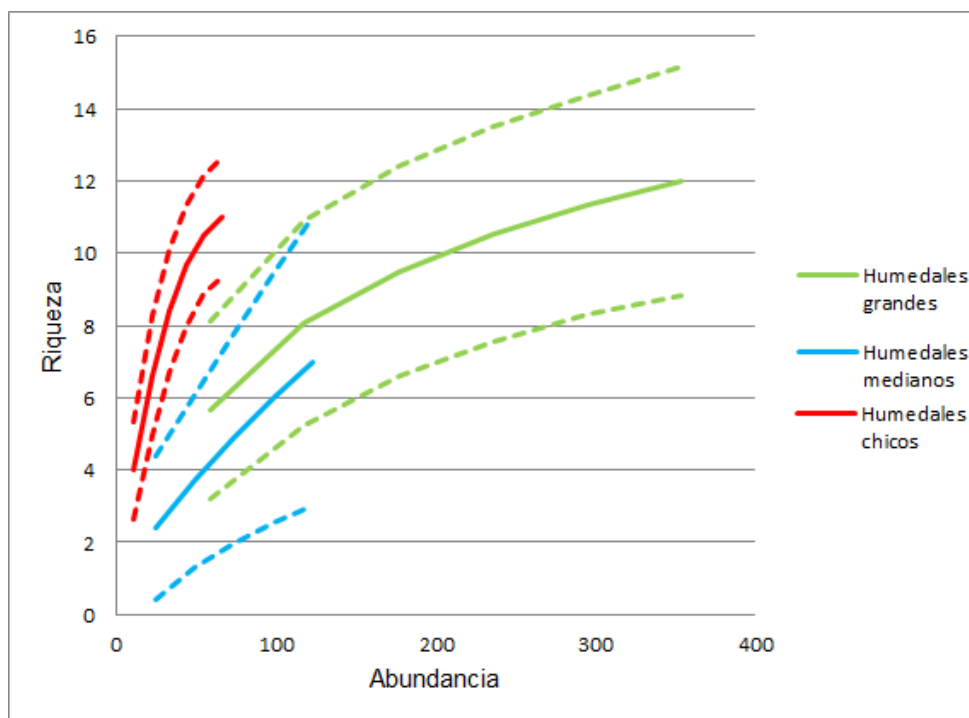


Tabla17. Análisis de varianza de la riqueza, abundancia y diversidad de los reptiles entre categorías de tamaño, en todos los casos se tienen 2 grados de libertad. W hace referencia a la prueba de Shapiro-Wilks para determinar si los datos son normales.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
	W	$p(W)$	F	valor de p	Prueba de Tukey	Q/p
Riqueza	0.98	0.97	1.02	0.38		
Abundancia	0.98	0.95	4.53	0.02	Chicos y Grandes	4.053/0.02
Diversidad ¹ D	0.96	0.71	0.90	0.42		
Diversidad ² D	0.94	0.39	1.88	0.18		

Figura 8. Análisis de rarefacción de la riqueza de reptiles entre categorías de tamaño, las líneas punteadas hacen referencia a los intervalos de confianza a 95%.



Descripción de los patrones de diversidad β de las comunidades de reptiles.

Las categorías de humedales tienen una similitud mínima de 0.45. Los humedales medianos y grandes son solo un poco más parecidos entre sí con respecto a los humedales chicos (Figura 9). Al analizar todos los humedales por separado, la similitud mínima es de 0.35, los humedales Seco de Michoacán (I) y San Gabriel (J) tienen una similitud de uno, por que coinciden en presentar únicamente a la especie *Sceloporus torquatus*, y a un nivel de 0.5 se asocian los humedales Dañu (L), San Miguel Tlaxcaltepec (M), San Pedro (N), Fray Ángel Juárez (O) y Nopala (R), que en su mayoría son humedales grandes. Los humedales chicos se agrupan entre sí especialmente Amealco (A) y Huimilpan ganadero (G) y La beata (B) y Sabanillas (E) (Figura 10).

El componente de diversidad beta aporta el 89 % de la diversidad gamma tomando como base el valor de diversidad alfa más pequeño, se puede observar que los niveles donde la diversidad β tiene mayor aportación son las categorías de humedales según el modelo aditivo y los humedales según el modelo multiplicativo (Tabla 18).

Figura 9. Análisis de conglomerados reptiles de las categorías de humedales utilizando el índice de similitud de Jaccard.

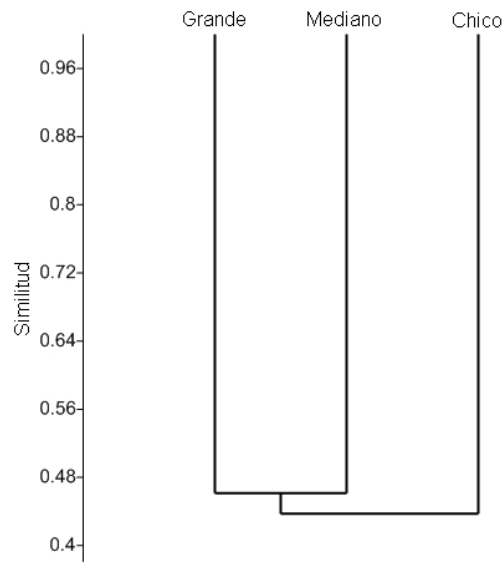


Figura 10. Análisis de conglomerados reptiles de los humedales utilizando el índice de similitud de Jaccard.

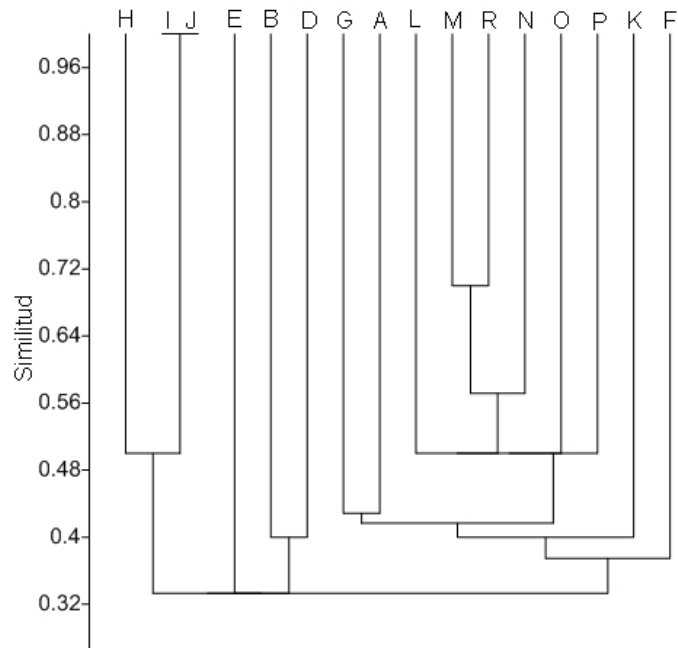


Tabla 18. Partición de diversidad β de las comunidades de reptiles entre los transectos, humedales y categorías de humedales. *Valor de $p > 0.05$

Componente de diversidad	Modelo aditivo	Modelo multiplicativo
α transecto	1.92*	1.92*
β transecto	2.08*	2.08
β humedales	6	2.5*
β categorías	7*	1.7*

Relación de la riqueza de especies de reptiles con atributos ambientales a distintas escalas espaciales.

A nivel de transecto las variables relacionadas con la riqueza de reptiles son la altura de las herbáceas (Altherb) y la cobertura de los arbustos (Cobarbu) (Tabla 19). A nivel de humedal las variables relacionadas con la riqueza son la estacionalidad (permanencia de agua durante todo el año) y el pH (Tabla 20), en este caso la pendiente es negativa, lo que indica que el incremento del pH está relacionado con bajas riquezas de especies.

A nivel de paisaje 250 m, los cuerpos de agua, matorrales crasicaulales y terracerías están correlacionados positivamente con la riqueza; mientras que con una pendiente negativa se relacionan las plantaciones de eucalipto y la agricultura de temporal (Tabla 21). A nivel de paisaje 2000 m, los tipos de vegetación nativa, cuerpos de agua, el pastizal inducido y las terracerías están relacionados positivamente con la riqueza de especies (Tabla 22).

Al construir un modelo con las variables a distintos niveles espaciales que se identificaron como relacionadas con la riqueza de especies se obtuvo que el modelo explica 35% de la variación de los datos (pR^2 McFadden = 0.35) y el modelo tiene un ajuste de 0.82 (pR^2 Carl y Uhler).

Tabla 19. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de transecto. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=124.

Modelo	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza=altherb + cobarbu + sustratos + humedad	6	254.13	0.00	0.00	0.64
Riqueza=altherb+cobarbo+cobarbu+sustratos + humedad	7	255.31	1.18	0.00	0.36
VARIABLES	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	-0.91	0.91	0.40	0.07 - 2.38	
Altherb	0.01	0.01	1.01	1.00 - 1.03	
Cobarbo	0.01	0.01	1.01	0.98 - 1.03	
Cobarbu	0.02	0.01	1.02	1.00 - 1.03	
Sustratos	0.29	0.31	1.34	0.74 - 2.43	
Humedad	-0.02	0.01	0.98	0.95 - 1.01	

Tabla 20. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de humedal. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=18.

Modelo	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza=pH + Fósforo + Estacionalidad	5	71.86	0.00	0.00	0.81
Riqueza=pH + Fósforo + Hábitats + Estacionalidad	6	74.77	2.91	0.00	0.19
VARIABLES	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	8.49	2.66	4888.99	26.69 - 895443.85	
pH	-0.97	0.34	0.38	0.19 - 0.75	
Fósforo	-0.05	0.03	0.95	0.90 - 1.00	
Hábitats	0.23	0.17	1.26	0.90 - 1.77	
Estacionalidad	0.96	0.37	2.60	1.27 - 5.35	

Tabla 21. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de paisaje 250 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=18.

Modelo	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza=Riego + Temporal + Agua + Matorralc + Peucealpto + T2	9	93.28	0.00	0.00	0.95
Riqueza=Riego + Temporal + Agua + Matorralc + Peucealpto + T2 +T1	10	99.14	5.86	0.00	0.05
VARIABLES	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	1.72	0.29	5.60	3.15 -9.95	
Riego	-0.02	0.02	0.98	0.95 - 1.01	
Temporal	-0.01	0.01	0.99	0.98 - 0.99	
Agua	0.28	0.12	1.32	1.04 - 1.68	
M_crasicaule	0.10	0.04	1.11	1.03 - 1.19	
P_eucalipto	-0.99	0.03	0.37	0.35- 0.39	
T2	0.0003	0.0001	1.0003	1.00 - 1.00	
T1	0.0010	3.65E-05	1.0010	1.00 - 1.00	

Tabla 22. Modelos lineales generalizados por pasos, e inferencia multimodelo de la riqueza de reptiles a nivel de paisaje 2000 m. Número de parámetros más la intersección y el error (K), Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), Likelihood (L), peso de Akaike (Wi), Coeficiente promedio estimado para cada variable (Coef), Error estándar (EE), *Odd ratio* (OR), N=18.

Modelo	K	AICc	ΔAICc	L	Wi
Riqueza=Riego + Temporal + Encino + Agua + Pastizali + Matorralc + Selvab + Peucalipto + T2 + T1	13	176.12	0.00	0.00	1.00
Riqueza=Riego + Temporal + Encino + Agua + Pastizali + Matorralc + Selvab + Peucalipto + P2 + T2 + T1	14	227.11	50.99	0.00	8.49E-12
VARIABLES	Coef	EE	OR	Intervalo a 95%	
Intercept	-13.67	6.66	0.00	0.00 - 0.54	
Riego	0.10	0.06	1.11	0.98 - 1.25	
Temporal	0.12	0.07	1.13	0.99 - 1.29	
Encino	0.15	0.07	1.17	1.02 - 1.33	
Agua	0.68	0.23	1.97	1.26 - 3.08	
Pastizal_i	0.15	0.07	1.16	1.02 - 1.32	
M_crasicaule	0.16	0.07	1.18	1.03 - 1.35	
Selva_baja	0.60	0.28	1.82	1.05 - 3.14	
P_eucalipto	0.54	0.29	1.71	0.97 - 3.01	
P2	0.0001	0.0000	1.00	0.99 - 1.00	
T2	0.0002	0.0001	1.00	1.00 - 1.00	
T1	0.0002	6.69E+06	1.00	0 - >1	

Discusión

Sobre el inventario de especies

El inventario de especies de herpetofauna alcanzó una completitud aceptable tanto de anfibios como de reptiles, ya que se registraron aproximadamente entre el 74 y el 93 % de la riqueza esperada. Estos valores indican que es posible detectar aún algunas especies más.

En este trabajo se observó entre el 75 y 85 % de la herpetofauna previamente registrada en los municipios en los que se llevó a cabo (Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007; Dixon y Lemos-Espinal, 2010) (Anexo 1). El no haber registrado algunas de las especies previamente registradas se puede explicar de varias maneras: 1) probablemente algunas especies de herpetofauna registradas en los trabajos previos no necesariamente tendrían que ocurrir cerca de cuerpos de agua (especies de hábitos principalmente terrestres) y 2) las poblaciones de algunas especies que se detectaron en los trabajos previos estén presentes en el área con muy bajas abundancias o incluso que dichas poblaciones estén actualmente extintas en este paisaje.

Esto último parece ser más probable para los anfibios, porque este grupo está más relacionado con los cuerpos de agua debido a sus historias de vida (Duellman y Trueb, 1986; Stuart et al., 2010) y se espera detectarlos en un estudio enfocado en los humedales, además de que los anfibios son más sensibles a las perturbaciones del hábitat que muchos reptiles (Suazo-Ortuño *et al.*, 2008).

Las especies de anfibios que en trabajos previos se registraron y que en el presente estudio no se observaron, son los anuros *Incillius occidentalis*, *Lithobates neovolcanica* y *Spea hammondi* (Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; Dixon y Lemos-Espinal, 2010). En contraste se observó por primera vez para el estado de Querétaro a la culebra *Thamnophis scaliger* y la lagartija *Sceloporus mucronatus*.

Por otro lado, aunque la riqueza de especies tanto de reptiles como de anfibios se puede considerar baja en comparación con la riqueza de herpetofauna

detectada en varios estudios recientes, por ejemplo el trabajo de Medina-Aguilar *et al.* (2011), un gran porcentaje de las especies detectadas en este trabajo son endémicas al país y/o están en alguna categoría de riesgo según la legislación mexicana, incluso el área de estudio está dentro de una de las regiones de endemismo de herpetofauna identificadas por Ochoa-Ochoa y Flores-Villela (2006).

Sobre los patrones de riqueza, abundancia y diversidad

La abundancia relativa de las especies refuerza la idea de que varias poblaciones principalmente de anfibios podrían estar teniendo fuertes declinaciones, por ejemplo las especies *Ambystoma velaci* y *Anaxyrus compactilis* se observaron con una muy baja abundancia lo cual podría considerarse anormal ya que en otros sitios se presentan con altas abundancias (Vázquez-Díaz y Quintero-Díaz, 2005; Hernandez-Salinas y Ramírez-Bautista, 2012). Por otro lado *Lithobates montezumae* y *Spea multiplicata* se presentaron con muy baja frecuencia, observándose solo en dos sitios respectivamente.

La riqueza, abundancia y diversidad fueron altamente variables entre los humedales, sin embargo fue posible observar patrones interesantes. Los análisis de varianza y de rarefacción muestran que los humedales chicos, tienen el mismo nivel de importancia ecológica para la herpetofauna que los humedales más grandes, este fenómeno fue observado por otros autores en varios lugares del mundo quienes han hecho hincapié en considerar los cuerpos de agua pequeños en las estrategias de conservación de la biodiversidad (Semlitsch y Bodie; 1998; Gibbs, 2000; Babbitt, 2005; Gledhill *et al.*, 2008).

La abundancia de especies sí presentó diferencias significativas entre las categorías de humedales definidos por su tamaño, sin embargo el patrón no fue el mismo para anfibios y para reptiles. En el caso de los anfibios las mayores abundancias se registraron en los cuerpos de agua chicos, donde se observaron muchos individuos tras ocurrir eclosiones; además es importante mencionar que sólo se observaron puestas de huevos en esta categoría de humedales. Estos

factores sugieren que los humedales chicos son componentes muy importantes para los fenómenos reproductivos, como lo indican Brand y Snodgrass (2009).

Los reptiles, a diferencia de los anfibios, presentaron una mayor abundancia en los humedales grandes, lo cual se puede explicar porque en los humedales grandes es frecuente observar bardas o cortinas de roca que proveen de microhábitats adecuados, principalmente a las lagartijas.

Sobre los valores de diversidad en las comunidades de anfibios y reptiles se observó que los humedales medianos presentan una menor diversidad que los humedales grandes y chicos. Este patrón indica que en la categoría de humedales medianos hay menos especies y que se presentan con patrones de mayor dominancia.

Sobre los patrones de diversidad beta.

Los análisis de diversidad beta muestran que tanto en anfibios como en reptiles los humedales chicos son diferentes a los humedales medianos y grandes, sin embargo este fenómeno está más acentuado en anfibios que en reptiles.

Este resultado refuerza la importancia y valor ecológico de los humedales pequeños, principalmente para el caso de los anfibios ya que no solo podrían estar albergando importantes riquezas y abundancias como se observó en este trabajo y en otros de diferentes países (Semlistch y Bodie; 1998; Gibbs, 2000; Babbitt, 2005; Gledhill *et al.*, 2008), sino que también podrían estar albergando a especies que en los humedales más grandes ocurren con menor frecuencia.

En el caso de los reptiles se puede considerar que la composición de especies de humedales chicos no es muy diferente a la de los humedales medianos y grandes, la idea anterior se complementa con los resultados de partición de diversidad beta, ya que tanto para anfibios como reptiles los mayores valores de diversidad beta están en el nivel de humedal.

Los altos valores de diversidad beta que presentan tanto las comunidades de anfibios como reptiles son un indicador de que las estrategias de conservación en este tipo de paisajes deben de planear considerando sistemas de

humedales (Semlitsch y Bodie, 1998; Roe y Georges, 2006), ya que las especies se encuentran dispersas en el paisaje, posiblemente debido a que hay una alta heterogeneidad en las condiciones de los humedales.

Sobre el efecto de las variables ambientales a distintas escalas espaciales sobre la riqueza de especies de anfibios y de reptiles.

Las variables a nivel de transecto que se encontraron relacionadas con la riqueza de anfibios coinciden con las variables identificadas por otros autores (Pearl *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011; Rodríguez-da Silva *et al.*, 2012), que básicamente se refieren a la presencia de vegetación a orillas de los cuerpos de agua.

A nivel paisaje 250 m, la presencia de bosques de encino, pastizales y parches de agricultura de temporal resultaron ser variables relacionadas con una alta riqueza. Al respecto, otros autores también encontraron una relación de la riqueza con parches de bosques o de manchones de vegetación conservada (Lehtinen, *et al.*, 1999; Smallbone *et al.*, 2011). Por otro lado, probablemente los pastizales inducidos y parches de agricultura de temporal presentaron una relación positiva con la riqueza por tener grandes densidades de cuerpos de agua, como lo comentan Fernández-Badillo y Goyenechea-Mayer (2010) y Shulse y Semlitsch (2010). A nivel de paisaje 2000 m, no se encontró ninguna variable relacionada con la riqueza de especies, sin embargo, varios autores han recomendado considerar sistemas de humedales a escala amplia o de paisaje para asegurar la permanencia de las especies a largo plazo (Lehtinen *et al.* 1999; Ficetola y de Bernardi; 2004; Pearl *et al.*, 2005)

En este estudio no se encontró un efecto de la presencia de peces exóticos sobre la riqueza de anfibios, ya que aunque los modelos lineales generalizados los identifican como variables con un coeficiente negativo importante, la naturaleza de estas variables (binarias) puede haber dificultado la interpretación del resultado. Sin embargo, no se puede descartar que permanencia de los cuerpos de agua, sus hidroperiodos y la presencia de peces exóticos no

tengan una influencia, como lo mencionan Ficetola y de Bernardi (2004) y Burgett *et al.* (2007).

Sobre el efecto de las variables ambientales a distintas escalas espaciales sobre la riqueza de especies de reptiles.

La riqueza de reptiles, de igual manera que la de anfibios, presentó a nivel de transecto una relación positiva con la vegetación ribereña, mientras que a nivel de humedal se relacionó con la presencia de agua durante todo el año. Estos resultados son similares a lo reportado por Marchand y Liatvitis (2004) para tortugas dulceacuícolas, para quienes la presencia de vegetación a la orilla de los cuerpos de agua y la presencia de sustratos adecuados facilita los procesos de reproducción.

Un resultado inesperado a escala local fue que bajas riquezas se presentaron relacionadas con altos niveles de pH. No se encontró literatura en la que se haya reportado anteriormente esta situación, por lo que se puede considerar como un fenómeno asociado a condiciones particulares del área de estudio, sin descartar que otros factores asociados al pH que no se detectaron sean los que efectivamente impacten la riqueza de reptiles.

A nivel de paisaje la riqueza de respecies estuvo relacionada positivamente con parches de vegetación natural como los bosques de encino, matorral crasicuaule y selva baja, así como con la presencia de cuerpos de agua, lo que es congruente con lo que han reportado otros autores (Findlay y Houlihan, 1977; Marchand y Litvaitis, 2004; Roe y Georges, 2006).

Otra variable con las que se observó una relación positiva de la riqueza de reptiles fue la presencia de caminos de terracería. Resultados similares han reportado por Marchand y Litvaitis (2004) y Tanadini *et al.* (2012), quienes proponen que esto se debe a que los caminos ofrecen sitios para termorregular, y que aunque de manera inmediata no se observen efectos negativos en la herpetofauna es muy posible que a largo plazo existan procesos detrimentales en las poblaciones y comunidades, ya sea por la alteración de las dinámicas metapoblacionales o por la muerte de individuos. Esto último lo reporta Findlay y

Houlohan (1997), quienes observaron una relación negativa entre la riqueza de especies y la densidad de caminos.

También a nivel de paisaje se observó una relación negativa de la riqueza de reptiles con la presencia de plantaciones de eucaliptos, situación que ya había sido observada por Garner *et al.* (2007), quienes explican que desafortunadamente muchos lugares han sido forestados con plantaciones de especies exóticas, que difícilmente pueden sustituir la función ecológica de los bosques nativos.

Las variables ambientales con las que se relaciona tanto la riqueza de especies de reptiles como de anfibios, explican alrededor de una tercera parte de la variación de los datos, esto se puede explicar de varias maneras: 1) el sistema de estudio es muy complejo y la diversidad de humedales hace difícil identificar las variables ambientales que predicen la riqueza de especies; 2) probablemente factores del pasado reciente como incendios, enfermedades, o desecaciones anómalas en años previos tengan un impacto importante en la distribución actual de las especies; 3) la conectividad entre embalses sea limitada y reduzca las posibilidades de repoblamiento de los humedales. Por lo anterior, un estudio de seguimiento tanto dentro como fuera de los humedales sería de gran ayuda para comprender los factores ambientales que impactan a la distribución de las especies.

Es importante mencionar que en el área no se ha realizado ningún estudio que permita descartar la presencia del hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* que provoca la quitridiomycosis, una de las principales causas de la declinación de anfibios en todo el mundo (Stuart *et al.*, 2010). Sin embargo, es posible suponer la presencia de la enfermedad debido a que se ha registrado cerca del área de estudio (Frías-Alvarez *et al.* 2008).

Consideraciones finales.

Desafortunadamente gran parte del territorio nacional está fuertemente deteriorado por fenómenos antrópicos como la deforestación, agricultura y ganadería no sustentable y urbanización en general (Sarukhan *et al.*, 2009), por lo

que desarrollar estrategias de conservación alternativas en paisajes modificados y sus cuerpos de agua, y fragmentos de vegetación conservada podría ser clave para el mantenimiento a largo plazo de muchas especies. Las estrategias de conservación deberán de considerar sistemas de humedales de cuerpos de agua de diferentes tamaños, promover la vegetación ribereña y la conectividad con otros cuerpos de agua y con parches de vegetación conservada.

En este sentido, en México actualmente no existen acciones de conservación de la biodiversidad enfocadas a los pequeños cuerpos de agua; sin embargo, como podemos ver en este trabajo y como lo mencionan autores en Europa, Norteamérica, Sudamérica y Australia, los humedales pequeños son componentes esenciales para los anfibios y reptiles y otros grupos, como son: plantas acuáticas, peces nativos y aves acuáticas, entre otros (Gibbs, 2000, Pearl *et al.*, 2004; Pascual y Perrings, 2007; Pineda-López, 2008; Pedrusky y Arnott, 2011; Rodríguez-da Silva *et al.*, 2012). El implementar acciones en este sentido puede ser particularmente importante en México, donde los humedales chicos representan el 70% de la superficie cubierta por agua dulce (Ramírez Bastida *et al.* 2008). Se sugiere promover el desarrollo de un marco legal que permita valorar y proteger los cuerpos de agua pequeños debido a su gran valor ecológico y desarrollar un seguimiento de la calidad de los cuerpos de agua y de su biota asociada.

Otras estrategias de conservación alternativas que se sugieren son: incentivar la producción con técnicas agropecuarias sustentables como la agricultura orgánica, la rotación de potreros y el pago por servicios ambientales; ya que se ha observado que las técnicas de manejo y producción sustentable favorecen la presencia y conservación de muchas especies (Perfecto *et al.*, 2005; Pascual y Perrings, 2007). Además, hacer una fuerte campaña de concientización sobre la biota aún existente en los pequeños cuerpos de agua y fragmentos de vegetación en paisajes modificados, especialmente si están ubicados en zonas detectadas con altas riquezas de especies, número de especies endémicas y/o número de especies vulnerables, como es el caso del Eje Neovolcánico (Luna-Isolda *et al.*, 2007).

Literatura citada

- Attum, O., Y. M. Lee, J. H. Roe, B. A. Kingsbury. 2008. Wetland complexes and upland-wetland linkages: landscape effects on the distribution of rare and common wetland reptiles. *Journal of Zoology*. 275:245-251.
- Babbitt, K. J. 2005. The relative importance of wetland size and hydroperiod for amphibians in southern Hampshire, USA. *Wetlands Ecology and Management*.13:269-279.
- Babbitt, K. J., G. W. Tanner. 2000. Use of temporary wetlands by anurans in a hydrologically modified landscape. *Wetlands*. 20(2):313-322.
- Birx-Raybuck, D. A., S. J. Price, M. E. Dorcas. 2010. Pond age and riparian zone proximity influence anuran occupancy of urban retention ponds. *Urban Ecosystem*. 13:181-190.
- Böhm, M., J. E. M. Baillie, P. Bowles, J. Chanson, N. Cox. 2013. The conservation status of the world's reptiles. *Biological Conservation*. 157:372-385
- Brand, A. B., J. W. Snodgrass, 2009. Value of artificial habitats for amphibian reproduction in altered landscapes. *Conservation Biology* 24(1): 295–301.
- Brodman, Robert. 2010. The Importance of natural history, landscape factors, and management practices in conserving pond-breeding salamander diversity. *Herpetological Conservation and Biology*. 5(3):502-514.
- Burgett, A. A., C. D. Wright, G. R. Smith, D. T. Fortune, S. L. Johnson et. al., 2007. Impact of ammonium nitrate on wood frog (*Rana sylvatica*) tadpoles: effects on Survivorship and behavior. *Herpetological Conservation and Biology*. 2(1):29-34.
- Camarillo, J. L., G. C. Adreu. 2001. Anfibios y reptiles del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México*. 72(1):105-123.
- Cantellano-De Rosas, E.. Reconocimiento espacial de los paisajes. En: Luna, I., J. J. Monrrone, D. Espinosa (eds). 2007. Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 39-55.
- Collen, B., M. Ram, N. Dewhurst, V. Clausnitzer, V. J. Kalkman, N. Cumberlidge, J. E. M. Baillie. 2009. Broadening the coverage of biodiversity assessment. En Vié, J.-C., C. Hilton-Taylor y S. N. Stuart (eds.). *Wildlife in a changing world. An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN. Gland Switzerland: IUCN. 180p.
- Colwell, R. K. 2006. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 8.2.
- Cruz-Elizalde, R., A. Ramírez-Bautista. 2012. Diversidad de reptiles en tres tipos de vegetación del estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83:458-467.

- De Lathouder, R., D. N. Jones, S. R. Balcombe. 2009. Assessing the abundance of freshwater turtles in an Australian urban landscape. *Urban Ecosyst.* 12:215-231.
- Dixon, J. R., C. A. Ketchersid, C. S. Lieb. 1972. The Herpetofauna of Queretaro, Mexico, with remarks on taxonomic problems. *The Southwestern Naturalist.* 16(3/4):225-237.
- Dixon, J. R., J. A. Lemos-Espinal. 2010. Anfibios y reptiles del estado de Querétaro, México. Universidad de Texas A&M, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 428 p.
- Domínguez-Lazo, M., U. Padilla-García, E. Pérez-Ramos, A. Quijada-Mascareñas. 2007. *Crotalus scutulatus salvini* (Huamantlan Rattlesnake. México: Querétaro. *Herpetological Review.* 38(4):485
- Duellman, W. E., L. Trueb. 1986. *Biology of Amphibians.* McGraw-Hill. New York. 696 p.
- Espinosa, D., S. Ocegueda. Introducción. En: Luna, I., J.J. Morrone, D. Espinosa (eds). 2007. Biodiversidad de la faja volcánica transmexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. pp 5-23.
- Fernández-Badillo, L., I. Goyenechea-Mayer. 2010. Anfibios y Reptiles del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 81:705-712.
- Ficetola, F. G., E. Padoa-Schioppa, F. De Bernardi. 2008. Influence of landscape elements in riparian buffers of conservation of semiaquatic amphibians. *Conservation Biology.* 23(1):114-123.
- Ficetola, F. G., F. De Bernardi. 2004. Amphibians in a human-dominated landscape: the community structure is related to habitat features and isolation. *Biological Conservation.* 119:219-230.
- Findlay, C. S., J. Bourdages. 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology.* 14(1):86-94.
- Findlay, C. S., J. Houlahan. 1997. Anthropogenic correlates of species richness in southeastern Ontario wetlands. *Conservation Biology.* 11(4):1000-1009.
- Flores-Villera, O. A., H. M. Smith, d. Chiszar. 2004. The history of herpetological exploration in Mexico. *Bonner zoologische Beiträge.* 52:311-335.
- Flores-Villela, O., L. Canseco-Márquez, 2007. Riqueza de la herpetofauna. En: Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds). 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. UNAM. D. F. México. pp. 407-420.
- Frías-Alvarez, P., V. T. Vredenburg, M. Familiar-López, J. E. Longcore, E. González-Bernal. *et al.* 2008. Chytridiomycosis survey in wild and captive Mexican amphibians. *EcoHealth,* 5(1), 18–26.
- Garner, T. A., R. A. Ribeiro-Junior, J. Barlow, T. C. S. Ávila-Pires, M. S. Hoogmoed, C. A. Peres. 2007. The value of primary, secondary and

- plantation forest for neotropical herpetofauna. *Conservation Biology*. 21(3):775-787.
- Gibbons, J. W., D. E. Scott, T. J. Ryan, K. A. Buhlmann, T. D. Tuberville, B. S. Meets, J. L. Greene, T. Mills, Y. Leiden, S. Poppy y C. T. Winne. 2000. The global decline of Reptiles, Déjà vu Amphibians. Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile population are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change. *BioScience*. 50(8):653-600.
- Gibbs, J. P. 2000. Wetlands Loss and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology* 14(1):317-317.
- Hammer, O., D. A. T. Harper, P. D. Ryan. 2001. PAST: Palentological Statics software package for education and analysis data. *Paleontologia Electronica* 4(1):1-9.
- Hardin, J. W., J. M. Hilbe. 2007. Generalized linear models and extensions. Stata Press. United Sates of America. 223 p.
- Hernandez-Salinas, U., A. Ramírez-Bautista. 2012. Diversity of Amphibian in Four Types of Hydalgo State, México. *The Open Conservation Biology* 6:1-11
- INEGI. 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultada en: www.inegi.gob.mx.
- Jackman, S. 2012. pscl: Classes and methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory, Stanford University. Departament of Political Science. R package version 1.04.4
- Jhonson, P.T. J., J. M. Chase, C. L. Dosch, R. B. Hartson, J. A. Gross, D. J. Larson, D. R. Sutherland, S. R. Carpenter. 2007. Acuatic eutrophication promotes pathogenic infection in amphibians. *PNAS*.104(40):15781-15786
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*.113:363-375.
- Lehtinen, R. M., S. M. Galatowitsch, J. R. Tester. 1999. Consecuences of habitat loss and fragmentation for wetland amphibian assemblages. *Wetlands*. 19(1):1-12.
- López-González, C. A., D. R. Aceves-Lara, R. E. Jiménez Maldonado. 2006. *Atropoides nummefer* (Rüpell, 1845) (serpentes: viperidae), nuevo registro para la ofidiofauna de Querétaro, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie). 22(1):133-134.
- Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Editores). 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. UNAM. D. F. México. 514 p.
- Mac Nally, R., G. Horrocks, H. Lada, S. Lake, J. R. Thompson, A. C. Taylor. Distribution of anuran amphibians in massively altered landscapes in southeastern Australia: effects of climate change in an aridifying region. *Global Ecology and Biogeography*. 18:575-585

- Magurran, A. E. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing. U. K. 256 p.
- Magurran, A., B. J. McGill (editores). 2011 Biological Diversity frontiers in measurement and assessment. Oxford University Press. Estados Unidos. 455 p.
- Marchand M. N., J. A. Litvaitis. 2004. Effects of Habitats Features and de Landscape Composition on the Population Structure of a Common Aquatic Turtle in a Region Undergoing Rapid Development. Conservation Biology 18(3):758-767.
- Martín del Campo, R. 1935. Nota acerca de la distribución geográfica de los reptiles ponzoñosos en México. Anales del Instituto de Biología. (3-4):290-300.
- Medina-Aguilar, O., J. Alvarado-Díaz, I. Suazo-Ortuño. 2011. Herpetofauna de Tacámbaro, Michoacán. México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 82:1194-1202.
- Meets, B. S., J. D. Lanham., K. R. Russell. 2001. Evaluation of herpetofaunal communities on upland streams and beaver-impounded streams in the upper-piedmont of South Carolina. American Midland Naturalist 145(1):54-65
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Los Ecosistemas y el bienestar humano: Humedales y Agua. Informe de síntesis. World Resources Institute. Estados Unidos. 68 p.
- Moreno, C. E., F. Barragán, E. Pineda. N. P. Pavón. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. Revista Mexicana de Biodiversidad. 82:1249-1261.
- Nieto-Montes de Oca, A., Pérez-Ramos, E. 1999. Anfibios y reptiles del estado de Querétaro. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. Informe final SNIB_CONABIO proyecto No. H250. México, D.F.
- Ochoa-Ochoa, L. M., O. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 211 p.
- Padilla-García, U., F. Mendoza-Quijano.1996a. Ameiva undulata. Geographic Distribution. Herpetological Review 27(4):210.
- Padilla-García, U., F. Mendoza-Quijano. 1996b. Imantodes gemmistratus. Geographic Distribution. Herpetological Review 27(4):213.
- Padilla-García, U., W. Schmidt-Ballardo, F. Mendoza-Quijano.1996. Laemanctus serratus serratus. Geographic Distribution. Herpetological Review 27(4):211.

- Pascual, U., C. Perrings. 2007. Developing incentives and economic mechanisms for in situ biodiversity conservation in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems y Environment*. 121(3):256-268.
- Pearl, C. A., J. Adams, N. Leuthold y R. B. Bury. 2005. Amphibian occurrence and acuatic invaders in a changing landscape: Implication for wetland mitigation in the Willamete Valley, Oregon. USA. *Wetlands*. 25(1):76-88.
- Peltzer, P. M., R. C. Lajmanovich, A. M. Attademo, A. H. Beltzer. 2006. Diversity of anurans across agricultural ponds in Argentina. *Biodiversity and Conservation*. 15:3499-3513.
- Pineda-López, R. Diversidad y conservación de aves acuáticas en una zona semiárida del centro de México. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante España. 259 p.
- Ramírez-Bastida, P., A. G. Navarro-Sigüenza, A. T. Peterson. 2008. Aquatic bird distributions in Mexico: designing conservation approaches quantitatively. *Biodiversity and Conservation* 17:2525-2558.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernandez-Salinas, U. O. García-Vázquez, A. Leyte-Manrique, L. Canseco-Márquez. 2009. Herpetofauna del Valle de México. *Diversidad y Conservación*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D. F. México. 240 p.
- Rodrigues-Da Silva, F., C. Panin-Candeira, D. de C. Rossa-Feres. 2012. Dependence of anuran diversity on environmental descriptors in farmlands ponds. *Biodiversity and Conservation*.
- Sacerdote, A. B., R. B. King. 2009. Dissolved oxygen requirements for hatching success of two ambystomatid salamanders in restores ephemeral ponds. *Bio One Research Evolved*. 29(4):l202-l213.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberon, R. Dirzo, *et al.* (editores). 2009. *Capital Natural de México. Síntesis Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de la sustentabilidad*. Comision Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. México. 100 p.
- Shulse, C. D., R. D. Semlitsech. 2010. Influences of design and landscape placement parameters on amphibian abundance in constructed wetlands. *Wetlands*. 30:915-928.
- Silva, R. A., I. Alves-Martins, D. de C. Rossa-Feres. 2011. Environmental heterogeneity: Anuran diversity in homogeneous environments. *Zoologia*. 28(5):610-618.
- Simon, J. A., J.W. Snodgrass, R. E. Casey, D. W. Sparling. 2009. Spatial correlates of amphibian use of constructed wetlands in an urban landscape. *Landscape Ecological*. 24:361-373.

- Smith, H.M., E. H. Taylor. 1950. An annotated checklist and key to the reptiles of Mexico exclusive of the snakes. *Bulletin United States Natural Museum* 19:1-253.
- Stuart, S. N., J. S. Chanson, N. A. Cox, B. E. Young. 2010. The global decline of amphibians: Currents trends and future prospect. En *Conservation of mesoamerican amphibians and reptiles*. Wilson, L. D., J. H. Townsend, J. D. Johnson (eds). Eagle Mountain Publishing, LC. pp.1-2.
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J. Martínez-Ramos, Miguel. 2008. Effects of conversion of dry tropical forest to agricultural mosaic on herpetofauna assemblages. *Conservation Biology*. 22(2):362-374.
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J. Matínez-Ramos, Miguel. 2011. Riparian areas and conservation herpetofauna in a tropical dry forest in western Mexico. *Biotropica*. 43(2):237-245.
- Tanadini, M., B. R. Schmidt, P. Meier, J. Pellet, N. Perrin. 2011. Maintenance of biodiversity in vineyard-dominated landscapes: a case study on larval salamanders. *Animal Conservation*. 15:136-141.
- Vázquez-Díaz, J., G. Quintero-Díaz. 2005. *Anfibios y Reptiles de Aguascalientes*. CONABIO.CIEMA. México. 318 p.
- Veech, J. A., T. O. Crist. 2009. Partition 3.0 user's manual. (documento no publicado)
- Vite-Silva, V. D., A. Ramírez-Bautista, U. Hernández-Salina. 2010. Diversidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81:473-485.
- Wilson, E. O. 1988. *Biodiversity*. National Academy Press. Estados Unidos. 538 p.
- Wilson, L. D., J.D. Johnson. 2010. Distributional patterns of the herpetofauna of Mesoamerica, biodiversity hotspot. En: *Conservation of mesoamerican amphibians and reptiles*. Wilson, L. D., J. H. Townsend, J. D. Johnson (editores). Eagle Mountain Publishing, USA. 31-235.

Anexo 1

	Especie	A	B	C	D	Observaciones
	<i>Ambystoma velaci</i>	1	1	1	1	Nieto-Motes de Oca y Pérez-Ramos, 1999 y Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007 lo registran como <i>A triangulum</i>
	<i>Anaxyrus compactilis</i>	1	1	1	1	
	<i>Incilius occidentalis</i>	1	1	1		
	<i>Hyla arenicolor</i>	1	1	1	1	
	<i>Hyla eximia</i>	1	1	1	1	
Anfibios	<i>Spea hammondi</i>	1				
	<i>Spea multiplicata</i>	1		1	1	
	<i>Lithobates berlandieri</i>	1		1	1	
	<i>Lithobates montezumae</i>	1	1	1	1	
	<i>Lithobates neovolcanica</i>	1		1		

A-Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; B-Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007; C-Dixon y Lemos-Espinal, 2010; D- Presente estudio.

	Especie	A	B	C	D	Observaciones
	<i>Kinosternon hirtipes</i>	1		1	1	
	<i>Kinosternon integrum</i>	1	1	1	1	
	<i>Kinosternon scorpioides</i>			1		Registro dudoso ya que esta especie no se distribuye en esta parte del país
	<i>Barisia imbricata</i>				1	
	<i>Phrynosoma orbiculare</i>	1	1	1		
	<i>Sceloporus aeneus</i>				1	
Reptiles	<i>Sceloporus dugesi</i>	1		1	1	
	<i>Sceloporus grammicus</i>	1	1	1	1	
	<i>Sceloporus jarrovi</i>		1			
	<i>Sceloporus mucronatus</i>				1	Nuevo registro para Querétaro
	<i>Sceloporus scalaris</i>	1		1	1	
	<i>Sceloporus spinosus</i>	1	1	1	1	

A-Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; B-Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007; C-Dixon y Lemos-Espinal, 2010; D- Presente estudio.

	Especie	A	B	C	D	Observaciones
	<i>Sceloporus torquatus</i>	1	1	1	1	
	<i>Aspidocellis gularis</i>	1	1	1	1	
	<i>Conopsis biserialis</i>		1			
	<i>Conopsis lineatus</i>			1		
	<i>Conopsis nausus</i>	1		1		
	<i>Coluber schotti</i>		1	1	1	Se observó fuera de transectos, en Jerécuaro Gto
Reptiles	<i>Diadophis punctatus</i>				1	
	<i>Drymarchon melanurus</i>		1			Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos registran a <i>D. melanurus</i> y a <i>D. corais</i> al norte del estado de Qro.
	<i>Lampropeltis mexicana</i>	1				
	<i>Lampropeltis ruthveni</i>			1		
	<i>Pituophis deppei</i>	1		1	1	Se observó fuera de los transectos
	<i>Geophis multitorques</i>	1		1		

A-Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; B-Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007; C-Dixon y Lemos-Espinal, 2010; D- Presente estudio.

	Especie	A	B	C	D	Observaciones
	<i>Salvadora bairdi</i>	1		1		
	<i>Storeria storerioides</i>	0		1	1	Se observó fuera de los transectos
	<i>Tantilla rubra</i>	0	1			
	<i>Tantilla bocourti</i>	1		1		
	<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	1		1	1	
	<i>Thamnophis eques</i>	1	1	1	1	
Reptiles	<i>Thamnophis marcianus</i>	1	1			Registro dudoso ya que esta especie no se distribuye en esta parte del país
	<i>Thamnophis melanogaster</i>	1		1	1	
	<i>Thamnophis pulchrilatus</i>	0	1	1		
	<i>Thamnophis scaliger</i>	0			1	Nuevo registro para Querétaro
	<i>Thamnophis sumichastri</i>	0	1			
	<i>Trimorphodon tau</i>	1	1	1		

A-Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; B-Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007; C-Dixon y Lemos-Espinal, 2010; D- Presente estudio.

	Especie	A	B	C	D	Observaciones
	<i>Leptotiphlops dulcis</i>		1	1		
	<i>Micrurus tener</i>	1	1	1		Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos la registran como <i>M. fulvius</i>
	<i>Crotalus aquilus</i>		1		1	
Reptiles	<i>Crotalus molossus</i>		1			
	<i>Crotalus polystictus</i>		1			
	<i>Crotalus scutulatus</i>		1			
	<i>Total</i>	31	28	35	27	

A-Nieto-Montes de Oca y Pérez-Ramos, 1999; B-Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007; C-Dixon y Lemos-Espinal, 2010; D- Presente estudio.