



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA**

---

UNIDAD IZTAPALAPA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN BIOLOGÍA

**DIVERSIDAD TEMPORAL HERPETOFAUNÍSTICA EN  
UN BOSQUE TEMPLADO  
DE LA SIERRA NEVADA DE MÉXICO**

**TESIS**

Para obtener el grado de

Maestra en Biología

PRESENTA

**Biól. Claudia Yaniris Pérez Roblero**

COMITÉ TUTORAL

Director: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Asesor: Dr. Pablo Corcuera Martínez del Río

Asesor: M. en C. Rubén Sánchez Trejo

MÉXICO, D.F.

21 DE JULIO DE 2014

La Maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Iztapalapa  
pertenece al Padrón de Posgrados  
de Calidad del CONACyT

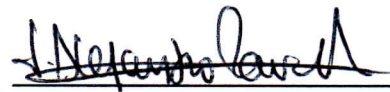
El Jurado designado por la Comisión de la Maestría en Biología de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó:

Biól. Claudia Yaniris Pérez Roblero

El día 21 de julio del año 2014

**Comité Tutorial y Jurado**

Director: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado



Asesor (Sinodal): Dr. Pablo Corcuera Martínez del Río



Asesor (Sinodal): M. en C. Rubén Sánchez Trejo



Sinodal: Dra. María del Rocío Zárate Hernández



Sinodal: M. en C. Gerardo López Ortega



COMITÉ TUTORAL

**Director de Tesis**

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Profesor-Investigador Titular “C”, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa

ASESORES

**Asesor Interno de Tesis**

Dr. Pablo Corcuera Martínez del Río

Profesor-Investigador Titular “C”, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa

**Asesor Externo de Tesis**

M. en C. Rubén Sánchez Trejo

Profesor-Investigador Titular “C”, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco

## Agradecimientos

---

El desarrollo de esta tesis se llevó a cabo con la beca de apoyo del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACyT.

A la Maestría en Biología por la enseñanza y los servicios prestados durante mi estancia académica.

A la Unidad Xochimilco, en particular al Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre del Depto. El Hombre y su Ambiente, por permitirme usar sus instalaciones y material para la elaboración de esta tesis.

A mi comité tutorial de tesis: (director) el Dr. Alejandro Zavala Hurtado por la enseñanza y observaciones realizadas durante el cursamiento de la Maestría, (asesor) el M. en C. Rubén Sánchez Trejo por su apoyo, enseñanza y valiosos comentarios para enriquecer esta tesis y, (asesor) el Dr. Pablo Corcuera Martínez del Río por las sugerencias realizadas a mi trabajo.

A mis sinodales por sus comentarios, sugerencias e ideas para enriquecer y mejorar esta tesis, pero sobre todo por el tiempo que invirtieron para revisar este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a mi enseñanza e hicieron posible la culminación de esta tesis.

*A mi padre Pedro Pérez*

*A mi madre Florentina Roblero Chávez*

*A mi abuelo Pedro Roblero García*

*A mis hermanos Francisco de Jesús, Flavio y Jesús Salvador Pérez Roblero*

*A mis sobrinos Miranda Zoé y Dylan Luian Pérez Aguilar*

*A mi profesor y amigo Rubén Sánchez Trejo*



Los estudios de diversidad herpetofaunística resultan relevantes dado que los anfibios y reptiles pueden fungir como una comunidad indicadora del estado o salud del ambiente. Sin embargo, la mayoría de los estudios de diversidad sobre este grupo son a corto plazo, lo que limita percibir los procesos lentos y de alta variabilidad, así como comprender sus interacciones complejas. Por esto se analizó en un bosque de Pino en la Sierra Nevada (Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan) la diversidad de la herpetofauna en función del tiempo (17 años). La variabilidad a largo plazo se determinó empleando dos índices de diversidad, uno basado en el criterio de la uniformidad y otro en la dominancia. Paralelamente se analizó el clima (temperatura y precipitación) y la vegetación (índice de vegetación normalizado) con el fin de relacionarlos con los parámetros antes mencionados.

Se obtuvo una diversidad en general de  $H' = 2.08$  y  $Recíp. \lambda = 4.92$ , que resultó ser media. De acuerdo al índice de uniformidad, la diversidad fue aumentando paulatinamente hacia los años más recientes (2006-2010), contrario a lo ocurrido con el índice basado en la dominancia (2008-2011). Esto se debió a que este último está fuertemente influenciado por la importancia de la especie dominante (*S. grammicus*), la cual mostró un aumento en su densidad durante los últimos años.

La comunidad herpetológica del bosque de Pino presentó intra-anualmente un patrón periódico en su diversidad relacionada con el comportamiento de los elementos climáticos y

de la vegetación que ocurren en cada época climática; mientras que inter-anualmente presentó variaciones en la diversidad, posiblemente debidas a eventos de variabilidad climática extremos que ocurrieron en ciertos años o a las perturbaciones antropogénicas que han ido aumentando hacia la actualidad, observándose una respuesta diferencial a los cambios intra-anales e inter-anales por grupo taxonómico. Por lo que la diversidad herpetofaunística es dinámica en el tiempo, en donde el clima y la vegetación influenciaron la diversidad a largo plazo, aunque con un retraso en el tiempo, estando además otros factores involucrados como las actividades antropogénicas.

***Palabras clave:*** *Diversidad, herpetofauna, estudio a largo plazo, clima, NDVI.*



Herpetofaunistic diversity studies are relevant because the amphibians and reptiles can serve as a community indicator of the state or health of the environment. However, most studies about this diversity group are short-term, limiting to perceive slow and high amplitude processes and understand their complex interactions. For this diversity of herpetofauna was analyzed as a function of time (17 years) in a forest of Pine in the Sierra Nevada (Izta-Popo Zoquiapan National Park). The long-term variability was determined using two diversity indexes, one based on the criterion of uniformity and another on dominance. At the same time, climate (temperature and precipitation) and the vegetation (normalized vegetation index) were analyzed in order to relate with the above parameters.

The indexes of general diversity were obtained:  $H' = 2.08$  and  $Recip. \lambda = 4.92$ ; which proved to be mean. According to the uniformity index, diversity was gradually increased toward the most recent years (2006-2010), contrary to what happened with the dominance-based index (2008-2011). This is due to the latter is strongly influenced by the importance of the dominant species (*S. grammicus*), which showed an increase in density in recent years.

The herpetological community of Pine forest presented intra-annually a periodic pattern in their diversity-related behavior of the climatic elements and vegetation that occur in each climatic period; while inter-annual variations of diversity are possibly due to events of

extreme climate variability that occurred in certain years or due to anthropogenic disturbances that have been increasing to the present, having a differential response between the intra-annual and inter-annual changes of the herpetofaunistic group. So the herpetofaunistic diversity is dynamic in time, where the climate and vegetation diversity influenced in the long-term, although delayed in time, other factors such as anthropogenic activities being further involved.

**Keywords:** *Diversity, herpetofauna, long-term study, climate, NDVI.*

## Contenido

---

	<b>Página</b>
Agradecimientos	v
Dedicatorias	vi
Resumen	vii
Abstract	ix
Introducción	1
Antecedentes y Justificación	5
Estudios a mediano y largo plazo	6
Estudios que integran factores abióticos	16
Pregunta de Investigación	26
Hipótesis	26
Objetivos	27
Área de estudio	28
Métodos	39
Trabajo de campo	39
Análisis de datos	41
- Análisis de la diversidad de la herpetofauna	41
• Composición taxonómica	41
• Riqueza	41

• Densidad	41
• Curvas de rango-abundancia	42
• Diversidad	42
Con base en la uniformidad	43
Con base en la dominancia	43
• Similitud	44
- Análisis del clima - vegetación	45
• Climograma	46
• Relación clima - vegetación vs diversidad	46
Coeficiente de correlación	46
Modelo de regresión lineal	47
• Índice de vegetación de diferencia normalizada	48
Resultados	51
Análisis general de la diversidad	51
- Composición taxonómica	51
- Diversidad de la herpetofauna	52
- Densidad específica de la herpetofauna	53
Análisis inter-anual de la diversidad	54
- Densidad específica inter-anual	54
- Diversidad inter-anual de la herpetofauna	56
- Diversidad inter-anual por grupo taxonómico	59

- Similitud inter-anual de la herpetofauna y por grupo taxonómico	60
Análisis inter-anual de la diversidad y su relación con el clima	62
- Climograma de la Estación Meteorológica Ixtapaluca, Edo. de México	62
- Comportamiento inter-anual de la precipitación y temperatura	63
- Comportamiento inter-anual de la precipitación y temperatura por época climática	65
- Densidad específica intra-anual (por época climática)	66
- Diversidad inter-anual de la herpetofauna por época climática	67
- Similitud intra-anual de la herpetofauna para cada año	69
- Similitud inter-anual de la herpetofauna y por grupo taxonómico para cada época climática	69
- Relación inter-anual de la diversidad con la precipitación y temperatura por época climática	70
Análisis inter-anual de la diversidad y su relación con la vegetación	73
- Comportamiento inter-anual de la vegetación	73
- Relación inter-anual de la vegetación con el clima y diversidad de la herpetofauna	75
- Comportamiento inter-anual de la vegetación por época climática	77
- Relación inter-anual de la vegetación con el clima y diversidad de la herpetofauna por época climática	80
Discusión	84

Análisis general	84
Análisis inter-anual	90
Análisis intra-anual	94
Análisis clima - vegetación	96
Análisis integral	100
Conclusiones	102
Literatura citada	103

## Introducción

---

México ha sido reconocido como uno de los países más ricos, biológicamente, del planeta (Ramamoorthy *et al.*, 1998; Halffter, 1992) y ocupa el tercer lugar en riqueza de especies a nivel mundial (Mittermeier, 1988; McNeely *et al.*, 1990). Esta riqueza es el producto de una amalgama entre una topografía accidentada y las variaciones climáticas, dando como resultado un mosaico de condiciones ambientales y microambientales, combinadas con una historia geológica compleja, particularmente en el centro del país (Flores-Villela, 1991). Esta complejidad ha resultado en la composición de biotas con diferentes historias biogeográficas y, por ende, en una gran diversidad (Flores-Villela y Gerez, 1994). Para la comunidad herpetofaunística (anfibios y reptiles), la riqueza biológica es aún mayor al ocupar el segundo lugar en reptiles y el quinto en anfibios (Flores-Villela y García-Vázquez, 2014; Parra-Olea *et al.*, 2014).

Sin embargo, ésta extraordinaria riqueza biológica no se distribuye de manera aleatoria en el país, ya que existen regiones en donde es mayor. Entre estas regiones destaca la región fisiográfica Eje Neovolcánico Transversal, el cual se encuentra en la parte central de México y en el que convergen dos regiones biogeográficas (neártica y neotropical), (Flores-Villela, 1991). Es en esta región donde se centra la mayor riqueza herpetofaunística y el número de endemismos por ser una zona de transición. Esta zona se encuentra dominada por bosques templados, localizándose áreas montañosas de gran altitud como la Sierra Nevada.

La Sierra Nevada es un macizo montañoso ubicado al oriente del Valle de México y está conformada por las cumbres del Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Tláloc y el Telapón. Es una de las primeras regiones que se le reconoce por su importancia en la regulación y conservación de procesos ecológicos, debido a la riqueza de sus recursos naturales (Hernández-García y Granados-Sánchez, 2006).

Sin embargo, ésta región presenta una larga historia de perturbación, que se ha incrementado en las últimas décadas, debido a que en sus inmediaciones se encuentra una de las urbes más grandes del mundo, la zona metropolitana de la Ciudad de México. Este asentamiento ejerce una gran presión sobre la flora y fauna, y sobre los recursos naturales (Sánchez-González y López-Mata, 2003). Estas perturbaciones se deben al aumento de la densidad poblacional, al cambio de uso de suelo, a la explotación de los recursos forestales y de la fauna silvestre, y a los efectos de la contaminación ambiental (Arriaga *et al.*, 2000; De la Lanza y García-Calderón, 2002).

Actualmente se tiene conocimiento de que una gran cantidad de organismos son afectados por diversos factores, llevando a algunos a la extinción y, por consecuencia, a una pérdida de la diversidad (Young *et al.*, 2001; Lips *et al.*, 2005a, 2005b; Daszak y Cunningham, 2002). Entre los principales factores que explican esta pérdida son las alteraciones climáticas y del hábitat natural (Pounds y Crump, 1994; Blaustein *et al.*, 1994; Carey y Alexander, 2003; Lips *et al.*, 2005b; Santiago-Paredes y La Marca, 2007; La Marca, 2007). No obstante, muchos taxa



pueden poseer una cierta resiliencia a los procesos de perturbación que operan en una región, lo que sugiere que las comunidades herpetofaunísticas que habitan en los bosques pueden persistir a pesar de las actividades antropogénicas que modifican la estructura general y el microclima del bosque (Gillespie *et al.*, 2005). Es por esto que resulta prioritario evaluar la diversidad de comunidades de organismos, que como los anfibios y reptiles, pueden constituir indicadores del funcionamiento del ecosistema (Suazo y Alvarado, 2004) y, consecuentemente, establecer estrategias de manejo tendientes a su conservación.

En cuanto al clima, en la actualidad se considera que éste ejerce una fuerte influencia en organismos ectotermos, siendo la temperatura y precipitación los elementos que influyen de manera directa en la temperatura corporal de los anfibios y reptiles. En particular, la temperatura es un factor básico para regular la actividad metabólica de los anfibios y reptiles. En condiciones naturales, estos organismos dependen de la temperatura ambiental como fuente de ingreso o pérdida calorífica, por lo que se les ha denominado ectotermos (Pough *et al.*, 1998; Zug *et al.*, 2001). Sin embargo, actualmente no se conocen del todo, los efectos que el clima presenta sobre la diversidad de anfibios y reptiles, así como, el efecto de otros elementos climáticos -que no sean la temperatura y precipitación- en la estructura de la comunidad a largo plazo.

Los estudios a largo plazo proporcionan una evaluación de la diversidad biológica que permite a los investigadores reportar a las especies raras que no pudieron ser registradas en

estudios de corto plazo, permite observar los procesos lentos y procesos con alta variabilidad, y comprender las interacciones complejas (Franklin, 1989). Los estudios a largo plazo por otra parte, permiten examinar la variación en la composición de la comunidad y ecología de la población, así como separar la variación cíclica de las tendencias demográficas a largo plazo, lo cual sigue siendo un problema en la biología de la conservación y la gestión de los ecosistemas.

Sin embargo, actualmente se cuentan con muy pocos trabajos que evalúen los patrones de la diversidad herpetológica a largo plazo (más de 5 años), siendo la mayoría listados o colecciones científicas. Es por esto que resulta prioritario desarrollar estudios a largo plazo que permitan dilucidar sobre los efectos que tienen los factores ambientales, particularmente el clima y la vegetación, sobre la estructura de las comunidades de anfibios y reptiles de gran altitud.

Los bosques templados de gran altitud son zonas prioritarias de conservación debido, entre otros factores, a la elevada riqueza y endemismos de anfibios y reptiles. Es por esto que resulta fundamental su conocimiento. Debido a ello, el objetivo de este estudio es analizar los patrones temporales de la diversidad herpetofaunística durante 17 años y su relación con la variabilidad climática y de vegetación en un bosque representativo de la Sierra Nevada ubicado en el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan (PNIPZ), y con ello sentar las bases para establecer el estado actual de la comunidad herpetofaunística de gran altitud bajo estudio.

## **Antecedentes y Justificación**

---

Debido a la elevada variedad de anfibios y reptiles presente en el país, se han desarrollado estudios en torno a la diversidad. Sin embargo, no todos los estados de la república han sido evaluados y hay pocas investigaciones a largo plazo que evalúen las tendencias de la diversidad herpetofaunística y la influencia de los factores abióticos y antropogénicos sobre ésta comunidad.

Los estudios a largo plazo son necesarios para monitorear los patrones de la composición, la estructura y las interacciones funcionales de las especies residentes. Estos permiten llevar a cabo un seguimiento temporal y espacial de las especies raras que no pueden ser registradas en estudios a corto plazo, permiten observar los procesos lentos y procesos con alta variabilidad (Franklin, 1989). Además, permiten analizar la variación en la composición de la comunidad y la ecología de poblaciones. Dodd (1992) estableció que cinco años no es tiempo suficiente para evaluar la importancia de los factores que influyen en la composición y estructura de la comunidad de anfibios y reptiles.

Por otra parte, los anfibios y reptiles han sido considerados como bioindicadores de la calidad del hábitat (Wyman, 1990; Wake, 1991; Blaustein *et al.*, 1994). En caso de los anfibios esto se debe a que (1) la mayoría de las especies tienen un ciclo vital bifásico, por lo que en etapa larvaria o como adultos, requieren de distintos hábitats y tipo de alimento, (2) exhiben

gran diversidad en sus modos reproductivos, (3) su piel altamente permeable los hace particularmente vulnerables a cambios químicos y físicos tanto en hábitats terrestres como acuáticos, y (4) tienen poca vagilidad y fuerte filopatría (Crump, 1974; Wyman, 1990; Wake, 1991; Blaustein *et al.*, 1994; Lips, 1998). Los reptiles, por su parte, comprenden toda una gama de variación ya que aunque algunas especies poseen regímenes ambientales estrictos, en general presentan una mayor versatilidad para responder a los cambios ambientales, lo que les permite permanecer en áreas bajo condiciones severas de alteración.

A continuación se presentan estudios realizados a mediano y largo plazo sobre la diversidad herpetofaunística, tanto para México como en el mundo, y se finaliza con aquellos trabajos donde se ha evaluado algún factor climático o antropogénico y su influencia sobre las comunidades herpetofaunísticas.

### ***Estudios a mediano y largo plazo***

Dodd (1992) evaluó la diversidad herpetofaunística entre 1985 y 1990 en una charca temporal en las dunas de tierras altas de pino de hoja larga en el centro-norte de Florida. Registró 42 especies, 16 de anfibios y 26 de reptiles. La riqueza de especies, la diversidad y la dominancia varió entre años. Los anfibios registraron la más alta riqueza de especies en 1985, mientras que los reptiles en 1988. Los anfibios presentaron la más alta dominancia en 1987, y los reptiles en 1988. Entre el 62.5% y 87.5% de las especies de anfibios y del 65% a

81% de las especies de reptiles fueron capturados en todos los años. De 1986 a 1990 (excepto 1988) la captura de anfibios disminuyó y, a medida que la sequía avanzaba la diversidad de reptiles fue mayor a la de los anfibios en todos los años. La captura diaria de anfibios fue correlacionada positivamente con la precipitación diaria, mientras que la captura de reptiles no se correlacionó con la precipitación. La duración del periodo hídrico no se correlacionó con la abundancia de los anfibios o reptiles capturados anualmente o con la abundancia del año siguiente. No hubo correlación entre la precipitación total anual y el número de anfibios o reptiles capturados. El número de anfibios se correlacionó ligeramente con la precipitación diaria. Las capturas de anfibios fueron correlacionadas positivamente con la cantidad de lluvia mientras que las capturas de reptiles fueron correlacionadas negativamente. Concluyó que la comunidad de anfibios y de reptiles no mostró diferencias en los índices de diversidad o dominancia durante el estudio, aunque ambas comunidades fueron dominadas por unas pocas especies. Sin embargo, las especies responsables de la dominancia en la comunidad cambiaron con el tiempo. Los estudios a largo plazo son necesarios para monitorear la composición, estructura e interacciones funcionales de las especies residentes.

Ramanamanjato *et al.* (2002) evaluaron la diversidad (expresada como el número de especies) de anfibios, reptiles y lémures en el bosque de Malahelo, al sureste de Madagascar. Inventariaron la herpetofauna y lémures en 1999 y fueron comparados con datos colectados en 1992-1995. El muestreo herpetofaunístico del año 1999 se realizó en los fragmentos de

bosque y a lo largo de pequeños arroyos en un área recién deforestada adyacente al remanente del bosque. Encontraron 42 especies de reptiles y 11 de anfibios, varios endémicos al sureste de Madagascar y en grave riesgo de extinción. La riqueza fue comparable con las mayores reservas forestales de la región. La herpetofauna en todos los sitios fue moderadamente diferente. Ambos grupos presentaron especies características de cada uno de los tres tipos de bosque circundante. Concluyeron que la combinación de alta riqueza de especies, endemismos regionales y únicos conjuntos de herpetofauna hace de Malahelo un bosque de alta prioridad de conservación.

Andreone *et al.* (2003) analizaron la diversidad (expresada como el número de especies) y conservación de los anfibios y reptiles de Nosy Be (una isla al noreste de Madagascar) y las islas cercanas. Los muestreos fueron realizados entre 1991 y 2001 en diversos tipos de bosques. Registraron un total de 18 especies de anfibios y 57 reptiles para la Isla de Nosy Be, y para Lokobe se registraron 15 especies de anfibios y 45 reptiles. En general, para la Isla de Nosy Be e islas cercanas encontraron 20 especies de anfibios y 61 reptiles. Lokobe alberga el 81% de la herpetofauna general de Nosy Be. Anualmente, solo se obtuvieron registros de especies para los años 1992, 1993 y 1999; de éstos, el año 1992 y 1999 presentaron el mismo número de especies, mientras que en el año 1993 se registró la mayoría de las especies. El número de especies por año varió entre grupo, siendo para los anfibios los años 1992 y 1993 con mayor riqueza y para los reptiles el año 1993. Concluyeron, que salvo para Lokobe, los hábitats en Nosy Be son en gran medida antropogénicos y tienen una menor diversidad de

especies, especialmente donde hay agricultura intensiva. Sin embargo, en otros sitios y en bandas de bosques a lo largo de los caminos, la diversidad de especies sigue siendo elevada, por lo que un manejo cuidadoso de estos hábitats antropogénicos también podría asegurar la supervivencia y la conservación de una diversidad de herpetofauna fuera del área protegida.

Gillespie *et al.* (2005) estudiaron la estructura y riqueza de la comunidad herpetofaunística en islas de Sulawesi, Indonesia. El estudio se llevó a cabo del 2000 al 2003 y, los muestreos se realizaron en diferentes hábitats (bosque mínimamente perturbado, bosque moderadamente perturbado, ripario, bosque secundario, plantaciones y tierras de cultivo, pueblos y ciudades, zonas costeras y estuarios, y cuevas). Reportaron un total de 74 taxones de anfibios y reptiles (13 ranas, 29 lagartijas, 29 serpientes, una tortuga de agua dulce y un cocodrilo), de los cuales 28 taxones (38%) fueron endémicos a Sulawesi. La más alta riqueza y endemismo fueron encontrados en bosques mínima y moderadamente perturbados. Solo cuatro grupos mayores de taxones se restringieron a los hábitats mínima y moderadamente perturbados, el resto de los taxones y de endemismos ocurrieron en los hábitats ribereños del bosque. El año 2000 presentó el menor número de especies y, por grupo taxonómico se registró el mismo patrón, los años de estudio más recientes presentaron más especies. Concluyeron que los taxones con mayor probabilidad de ser desplazados por los impactos humanos tienden a ser taxones endémicos. La similitud en la estructura de la comunidad de la herpetofauna entre los hábitats con niveles de perturbación mínima y moderada tiene importantes implicaciones para la resiliencia ecológica en estas comunidades.

Hanlin *et al.* (2000) determinaron la riqueza y diversidad de anfibios que habitan en tres bosques manejados de manera diferente, que rodean la bahía de Carolina, en Carolina del Sur después de la restauración. Colectaron los organismos de 1993 a 1996 en tres tipos de bosque: pino tea, pino talado y mixto de madera dura. Durante los 3 años de estudio capturaron 40,119 anfibios correspondientes a 19 especies. El total de las especies fueron obtenidas en el bosque mixto de madera dura. Se observaron diferencias significativas en la abundancia y diversidad de anfibios tanto en los tipos de bosque y entre años dentro de cada tipo de bosque. Entre años, el año 1995 presentó la más baja diversidad, mientras que los otros dos años no variaron significativamente entre sí. El bosque mixto de madera dura tuvo la mayor tasa de captura media para todos los años y la más baja diversidad en dos años, mientras que el pino talado presentó la más alta diversidad en los tres años. Para los tres años combinados (total) el pino tea presentó la más baja diversidad. Todos los valores de diversidad fueron diferentes de forma altamente significativa entre los hábitats dentro de cada año, para los 3 años combinados y entre años para cada hábitat. El año 1996 presentó la más baja riqueza; el bosque de pino tea tuvo la más alta riqueza para cada año, mientras que el bosque de mixto de madera dura tuvo la más alta riqueza en los tres años combinados (total). No hubo interacción significativa entre factores (tipo de bosque, años de estudio o distancia del agua). Un gran número de sapos del sur redujo la diversidad de especies para los tres hábitats. Proporcionalmente el menor número sapos del sur en verano incrementó la diversidad. Concluyeron que los valores bajos de abundancia y diversidad en los veranos de



1994-1996 comparados con 1977-1978 pueden ser el resultado de la alteración del hábitat durante la restauración de la bahía de Carolina.

Filippi y Luiselli (2006) estudiaron la fauna de serpientes en diferentes tipos de hábitats en una de las áreas protegidas del Mediterráneo del centro de Italia (en las Montañas Tolfa, en la provincia de Roma) durante el periodo de 2002 a 2003. Los datos obtenidos fueron comparados con datos obtenidos en 1990. Los muestreos fueron realizados en cada tipo de hábitat (bosque de roble mixto-BRM, pastos verdes-PVE, matorrales con *Cytisus scoparius* como taxón predominante-MCS, arroyos "Mignone" y sus bancos-AMG, estanques-EST, paredes de piedra seca-PPS y cultivos-CUL). Para el periodo 2002-2003 se produjo un ligero incremento en la diversidad de especies, pero un notable incremento en la dominancia. Para cuatro hábitats la diversidad difirió notablemente entre los estudios: los valores más altos para el 2002-2003 fue en BRM y EST, mientras que en el primer estudio fue en PVE y PPS. Se obtuvo para 1990 la mayor abundancia y para 2002-2003 la mayor riqueza. El periodo 2002-2003 presentó un valor más alto de dominancia que el año 1990. Concluyeron que las especies registradas hace 15 años se volvieron a registrar en el presente estudio, así como las especies dominantes del estudio anterior también lo fueron en este. La disminución en la abundancia de dos especies es causada por la limpieza del sitio arqueológico donde estas serpientes eran muy comunes hace más de 10 años.

Martínez-Solano *et al.* (2003) compararon la densidad larval y el número de sitios empleados para la reproducción de la comunidad de anfibios (9 especies) de montaña en el Parque Natural Peñalara (España central) en dos periodos de tiempo independientes: 1982-1986 y 1999. No se encontraron diferencias en la composición específica. Sin embargo, un análisis por separado de cada especie mostró que bajo esta aparente estabilidad había tendencias poblacionales significativas opuestas en seis especies. Tres especies aumentaron, mientras que otras tres mostraron serias reducciones en sus poblaciones y áreas de distribución. La densidad larval aumentó en estanques con elevaciones altas, disminuyendo en estanques con elevaciones bajas y, aún más, en estanques temporales que en permanentes. Concluyeron que es necesario analizar cada especie por separado para evaluar el estado de conservación de agrupaciones multiespecíficas de anfibios.

Ramírez-Bautista (1999) desarrolló un listado herpetofaunístico, obteniendo su diversidad por tipos de vegetación en la zona árida de la región “El Huizache”, San Luis Potosí, México. El estudio se dividió en dos fases: la primera de 1996 a 1997, y la segunda de 1998 a 1999. Los muestreos se llevaron a cabo en diferentes tipos de vegetación (bosque de encino, bosque de cedro, pastizal, chaparral, mezquital, matorral submontano, matorral xerófilo micrófilo, matorral xerófilo rosetófilo y zonas de cultivo). Reportó 52 especies (1,147 registros), nueve especies (17%) de anfibios y 43 (83%) reptiles; de estas especies 13 fueron endémicas a México. La diversidad de anfibios fue representada en su mayoría por especies no-endémicas a México (88.9%), siendo la mayor diversidad de especies de anfibios de origen

neártico. Concluyó que la distribución de especies está influenciada por factores bióticos, abióticos, intrínsecos y por los tipos de microhábitats, dado que las condiciones de la región hacen que los anfibios tengan menos posibilidades de dispersión, a diferencia de los reptiles, los cuales se distribuyen en los diferentes tipos de vegetación que proporciona la zona. Por ello, la mayoría de la herpetofauna encontrada es exclusiva de desiertos o de zonas áridas, sobresaliendo así el grupo de los reptiles. La reproducción está sujeta a la temperatura y precipitación, teniendo que los anfibios son ovíparos y se reproducen durante las lluvias, y los reptiles presentan reproducción ovípara y vivípara.

Venegas (2005) realizó un estudio general de la herpetofauna en la ecorregión del bosque seco Ecuatorial de la Vertiente del Pacífico de Perú (BSEVOC). El muestreo fue realizado entre el 2001 y 2005 en dos tipos de hábitats (bosque seco de sabana-BSS y bosque seco de colina-BSC). La herpetofauna estuvo compuesta por 39 especies, seis de anfibios y 33 de reptiles, de las cuales dos especies de anfibios y 13 especies de reptiles fueron endémicas a esta ecorregión. La herpetofauna presenta una distribución regida por dos tipos de hábitats (BSS y BSC), estando relacionada a los intervalos de altitud de dichos hábitats. Tres especies de anfibios y 16 de reptiles habitaron ambos hábitats, siete especies de reptiles estuvieron restringidas al BSS y tres especies de anfibios y 10 de reptiles habitaron el BSC. Concluyó que la herpetofauna posee un limitado intervalo de distribución, restringidas en su mayoría al noroeste de Perú y sur de Ecuador, no obstante, casi la mitad de las especies fueron

endémicas al BSEVOC, por lo que resalta la importancia biogeográfica de la herpetofauna de esta ecorregión.

Riojas-López y Mellink (2006) evaluaron el efecto de los hábitats modificados sobre la herpetofauna en el Rancho Las Papas, Jalisco, Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, México. Inventariaron los anfibios y reptiles entre 1999 y 2005, a través de varios tipos de hábitats (hábitat de pastizal, nopaleras silvestres y cultivadas, matorral xerófilo en una cañada y cuerpos de agua efímeros y permanentes). Registraron 18 especies herpetofaunísticas en total, cinco anfibios y 13 reptiles. Concluyeron que la riqueza herpetofaunística se debe a las diferentes topoformas y tipos de vegetación más representativos de la región, y que las áreas relativamente pequeñas y sujetas a la agricultura y ganadería tienen un potencial de conservación para anfibios y reptiles bajo ciertas pautas de manejo.

Loehle *et al.* (2005) estudiaron las relaciones entre la riqueza herpetofaunística y las características del hábitat en cuatro cuencas en Arkansas, las cuales se encontraban bajo diferente intensidad de manejo. El muestreo fue realizado entre el 1995 y 1999. Registraron 19 anfibios y 32 reptiles (10 especies de ranas y sapos, ocho salamandras, siete lagartijas, dos tortugas y 23 serpientes). La riqueza de los tres grupos: anfibios, reptiles y total de la herpetofauna, fue mayor en los bosques de madera dura que en bosques de pino o mixto de pino-madera dura. Para los tres grupos, la clase de bosque de edad más joven ( $\leq 20$ ) fue el más rico en especies. Para los anfibios y la herpetofauna total, la riqueza disminuyó cuando

la edad aumentó. Los reptiles tuvieron la más alta riqueza en los puntos de muestreo con el área basal más baja, mientras que los anfibios fueron más ricos en los puntos con el área basal alta. Las dos cuencas manejadas más intensivamente tuvieron una mayor riqueza de especies. Concluyeron que en donde las influencias urbanas y agrícolas fueron mínimas, no se observaron impactos negativos del manejo forestal y las actividades asociadas, y la heterogeneidad del hábitat local creada por la silvicultura a menudo tuvo un efecto positivo sobre la riqueza de especies herpetofaunísticas.

Renken *et al.* (2004) evaluaron los impactos del manejo de bosques sobre la abundancia relativa de anfibios y reptiles en los bosques Ozark, Missouri (E.U.A.). El muestreo realizado en 1992-1995 (antes del tratamiento) y 1997-2000 (después del tratamiento). No se detectaron efectos significativos de los tratamientos de manejo de edad uniforme o dispar sobre la abundancia de la herpetofauna a escala de paisaje, pero sí afectó significativamente la abundancia de una especie. En los sitios de manejo de edad uniforme, la mayoría de las especies de anfibios disminuyó y algunas especies de reptiles incrementaron en relación con las abundancias previas al tratamiento dentro de los claros talados. Concluyeron que la tala en sitios de edad uniforme afectó localmente a las especies de anfibios y reptiles, pero a una mayor escala espacial no se detectaron impactos significativos entre el manejo de sitios de edad uniforme y dispar. Estos hallazgos representan datos de corto plazo, pero sugieren que la gestión de bosques y el mantenimiento de la biodiversidad podrían ser compatibles cuando se perturban superficies relativamente pequeñas del paisaje.

Cisneros-Heredia (2006) presentó información actualizada sobre los anfibios del Parque Nacional Machalilla (PNM), provincia de Manabí, ubicado en la costa oeste de Ecuador. El estudio se llevó a cabo en 1995, 1998-2000, 2002 y 2005. Obtuvo un total de 15 especies de anfibios, todas las especies de anfibios fueron anuros, cinco especies endémicas a Ecuador, siete presentaron distribución restringida a la región de Tumbesina y uno a la región oeste Ecuatoriana. Concluyó la región Tumbesina es muy rica en especies endémicas locales, pero es vista como un espacio sin una fauna de anfibios definidos y pobre en anfibios únicos, y esto ha llevado a que los estudios científicos y estrategias de conservación se centren en otros aspectos.

### ***Estudios que integran factores abióticos***

Respecto a los estudios abióticos y particularmente climáticos a largo plazo relacionados con la diversidad herpetofaunística, no se reporta actualmente ningún estudio, por lo que a continuación se describen los trabajos que relacionan algún factor climático con la diversidad.

Lemos-Espinal y Rodríguez-Loeza (1984) realizaron una comparación de la comunidad herpetofaunística de dos zonas (alterada y no alterada) en un bosque templado de Cahuacán, Estado de México. Obtuvieron un total de 12 especies (dos anfibios y 10 reptiles) y

encontraron mayor número en la zona alterada. La diversidad varió durante el año observándose la más alta diversidad en verano-otoño, probablemente debido a que en este periodo se presentó la mayor precipitación pluvial. La zona alterada registró el valor más alto de diversidad en el mes de julio y, en la zona no alterada lo fue en el mes de noviembre. Correlacionaron la diversidad con la precipitación y obtuvieron valores altos para la zona alterada y bajos para la no alterada. En la zona alterada existió una mayor abundancia de reptiles y en la no alterada se observó una mayor abundancia de anfibios. Concluyeron que la composición faunística fue similar en ambas zonas, sin embargo, la más alta diversidad y densidad de reptiles se encontró en la zona alterada, en donde existió una mayor cantidad de hábitats disponibles y, la diferencia que se observó en la diversidad estacional entre las dos zonas estuvo determinada por las fluctuaciones de los factores físicos y la heterogeneidad espacial del hábitat.

Lemos-Espinal y Amaya-Elías (1985) en la Vertiente Oriental del Volcán Iztaccíhuatl realizaron un estudio de la repartición de recursos en una comunidad de anfibios y, compararon las diversidades mensuales en relación con la temperatura y la precipitación. Reportaron un total de 10 especies (dos anfibios y ocho de reptiles), con 2,606 organismos observados sobre un gradiente altitudinal que va de 3,200 a 4,500 msnm. Encontraron que la comunidad herpetofaunística estuvo integrada por grupos especialistas en la distribución altitudinal, debido a que existieron especies como *Sceloporus grammicus microlepidotus* y *Sceloporus aeneus bicanthalis* que solo se distribuyen desde los 3,200 hasta más de 4,200 msnm.,

además de ser poblaciones abundantes dentro de la comunidad. Registraron la diversidad más alta en agosto y septiembre, y la menor en febrero. Observaron que la mayor diversidad se presentó entre abril y septiembre, periodo donde se registró la mayor precipitación. La época de secas (fría) presentó la diversidad más baja y la época de lluvias (caliente) presentó una diversidad ligeramente más alta. Concluyeron que tanto la temperatura como la precipitación son factores que determinaron la abundancia, ya que algunos anuros esperan a que las condiciones climatológicas sean óptimas para salir de los refugios, o para reproducirse.

Owen (1989) realizó un estudio de los patrones de la riqueza de especies de herpetofauna y su relación con el ambiente físico (temperatura, precipitación y la variación en la elevación), en Texas. Registraron 201 especies de anfibios y reptiles. Los datos herpetofaunísticos se dividieron en los siguientes taxones: las salamandras (20 especies), ranas y sapos (40 especies), las tortugas (27 especies), lagartos (46 especies), y las serpientes (67 especies); los cocodrilos no se incluyeron. Encontró que la variación en la elevación fue significativa para cada taxón de reptil y fue más importante para las lagartijas y las serpientes. La precipitación media anual fue significativa para cada taxón, pero fue un predictor fuerte para las salamandras, ranas y sapos, y tortugas. El intervalo de la temperatura media anual fue significativo, con coeficientes negativos para las ranas y sapos, tortugas y lagartijas, y fue consistente con la hipótesis de estabilidad. La variabilidad media intermensual de la precipitación, tuvo una relación positiva y significativa para las serpientes y fue



contradictorio con la hipótesis de estabilidad. Los índices de la variabilidad climática mostraron sólo un control débil sobre la densidad de especies de la herpetofauna. Concluyó que la estabilidad climática y la hipótesis de perturbación intermedia de la riqueza de especies, como se interpretó y probó, a menudo funcionan en direcciones que no concuerdan con la teoría y no son satisfactorias como explicaciones generales de la riqueza biótica de estos grupos de vertebrados.

Valdespino (1998) analizó la distribución, abundancia relativa y diversidad por tipo de vegetación y épocas climáticas (lluvias y secas) de una comunidad herpetofaunística en la Sierra del Carmen, al sureste del Estado de México. El muestreo se realizó de 1995 a 1997 en tres tipos de vegetación (bosque tropical caducifolio-BTC, bosque mixto de *Juniperus*-BMJ y bosque de encino-pino-BEP). Registró 42 especies de anfibios y reptiles, 13 anfibios (caudados y anuros) y 29 reptiles (tortugas, lagartijas y serpientes). El grupo más representativo fue el de las serpientes con 16 especies, seguido por los anuros y lagartijas con 12 especies. El BTC y el BMJ albergaron al mayor número de individuos y especies. La época de lluvias presentó mayor número de especies. El BTC y el BMJ constituyeron las regiones más ricas de la Sierra y aquellas con el menor cambio faunístico, siendo mayor la diversidad en época de secas para el BTC, mientras que para el BMJ la diversidad fue alta en lluvias. Concluyó que la más alta diversidad fue obtenida en la selva baja caducifolia y en la zona de transición, y consideraron que a altitudes menores e intermedias existió una mayor riqueza de especies. En la época de secas se observó la diversidad más elevada. Se

observaron tres patrones de distribución de las especies, que estuvo determinada al conjugar varios factores como: condiciones climáticas locales, la estructura vegetal, disposición del microhábitat y la perturbación de la zona.

Mata (2000) comparó la densidad absoluta, diversidad y dominancia de la herpetofauna en tres zonas con diferente grado de alteración en el municipio de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. El estudio se efectuó en 1998 en tres zonas (zona 1-poco alterada y mayor cobertura vegetal, zona 2-alterada y menor cobertura vegetal que la zona 1, y zona 3-muy alterada y menor cobertura). Obtuvo 32 especies, siete de anfibios (22%) y 25 de reptiles (78%), de las cuales 27 (84%) fueron endémicas a México. Las zonas 1 y 2 fueron las que presentaron mayor número de especies. La diversidad más alta en la zona 1 fue de abril a julio, en la zona 2 fue en abril y, en la zona 3 fue en octubre. La dominancia más alta en la zona 1 fue en septiembre, en la zona 2 fue en mayo y en la zona 3 fue en abril. Los valores de diversidad mensual para las tres zonas presentaron mayor relación con la precipitación promedio mensual. Las zonas 1 y 2 fueron las que presentaron mayor número de microhábitats y densidad. La mayor densidad absoluta se presentó en la zona 1 durante todos los meses, y disminuyó conforme aumentó la degradación de las zonas, siendo junio el mes con el valor más alto para las tres zonas, coincidiendo con el inicio de la época de lluvias y con el valor más alto de precipitación. Concluyó que el área de estudio presentó una alta riqueza herpetofaunística que fue dada por la gran heterogeneidad de espacios, la riqueza específica fue disminuyendo conforme aumentó el grado de alteración de las zonas, ya que se van

homogeneizando los espacios que utilizaron las diferentes especies, además de que se eliminan o modifican los hábitats que se caracterizan por presentar ciertas condiciones climáticas y microclimáticas. La diversidad y densidad parecen estar determinadas por la precipitación más que por la temperatura.

Ruthven *et al.* (2002) evaluaron la variación estacional de la abundancia y diversidad de la herpetofauna en las llanuras del sur de Texas. El muestreo se efectuó de 1996 a 1997. Encontraron que la riqueza de especies, diversidad, y equitatividad variaron entre estaciones, la riqueza de especies y diversidad fueron mayores en la primavera y verano, y la mayor disminución ocurrió en el invierno. La equitatividad fue similar entre estaciones con excepción del invierno. Los anfibios se encontraron frecuentemente durante el verano, las serpientes se encontraron más en la primavera y las lagartijas estuvieron activas en la primavera, verano y otoño. Siete especies mostraron diferencias significativas en abundancia. Los individuos capturados fueron similares durante la primavera y el verano, sin embargo, las tasas de captura se redujeron durante el otoño. Concluyeron la disminución en las presas disponibles y un incremento en la temperatura pueden ser responsables para el declive en la abundancia de serpientes de la primavera al verano. Por lo que la variación en la temperatura en el sur de Texas puede influenciar en la actividad de la herpetofauna.

Arias (2004) analizó la riqueza y distribución de la herpetofauna por hábitats, la abundancia relativa y la diversidad entre épocas climáticas (secas y lluvias) en el bosque tropical

caducifolio y vegetación circundante en el Municipio de Jungapeo, Michoacán. El estudio se efectuó del 2003 al 2004 en diferentes tipos de vegetación (bosque tropical caducifolio-BTC, zona urbana-URB, vegetación riparia-VR y zona de cultivos-ZC). Registró 32 especies, ocho anfibios y 24 reptiles; el grupo más representativo fue el de las lagartijas con 13 especies, seguido por las serpientes con 10 especies, los anuros con ocho especies y las tortugas con una especie. La época de lluvias presentó 10 especies exclusivas y la de secas siete especies. La época de secas tuvo una mayor abundancia y la época de lluvias tuvo un mayor número de especies, sin embargo, ambas épocas presentaron el mismo valor de diversidad. Se observó que los anfibios estuvieron presentes en casi todo el año, los lacertilios no presentaron una preferencia hacia una época del año, mientras que las serpientes contaron con pocos registros, limitándose a uno o dos meses. Concluyó que los lacertilios fue el grupo con mayor representación y el BTC fue el hábitat con más riqueza. Un total de 16 especies fueron endémicas para México, la mayoría de las especies se encontraron durante todo el año, el 47% de la abundancia fueron raras y solo el 6% fueron abundantes. Ambas épocas presentaron diversidad semejantes, por lo que se consideró que el clima no afectó la diversidad herpetofaunística.

Flores (2006) analizó la estructura de la comunidad herpetológica en tres ambientes con distintos grados de perturbación en la Reserva Forestal del Nuevo Centro de Población Ejidal Reforma Agraria, Chiapas. El estudio se efectuó del 2003 al 2004 durante dos épocas climáticas (lluvias y secas) en tres hábitats (selva, selva-cacao, cacao-selva). Encontró 24

especies, seis anfibios y 18 reptiles. Obtuvo una densidad de 1,260 ind./ha, correspondiente 368 ind./ha a los anfibios y 892 ind./ha a los reptiles. El ambiente selva-cacao presentó la densidad más alta. La riqueza general fue alta y el ambiente cacao-selva presentó la mayor riqueza. La diversidad obtenida para la Reserva fue media. La mayor diversidad se presentó en selva-cacao y cacao-selva. Se encontró una fuerte relación entre las comunidades herpetológicas de los ambientes cacao-selva y selva-cacao (sistemas alterados), por lo que existieron dos comunidades herpetofaunísticas, una perteneciente al ambiente alterado y semialterado, y la otra exclusiva a la selva no perturbada. Las épocas climáticas influenciaron a la comunidad herpetofaunística, ya que durante las lluvias hubo un mayor número de individuos (58%) y diversidad. La temperatura se correlacionó más con la biomasa y menos con la diversidad. La precipitación total mensual presentó mayor correlación con la densidad y menor correlación con la diversidad. Concluyó que la densidad y biomasa de la herpetofauna fueron lo suficiente para establecer la importancia de la comunidad en sostener la producción secundaria de zonas selváticas, la riqueza y diversidad fue adecuada para establecer la conservación de estos sistemas. Estableció dos comunidades herpetofaunísticas (ambiente de selva virgen y ambientes selváticos perturbados) y dos épocas climáticas que influyeron directamente en la comunidad perteneciente a lugares perturbados y en menor medida a la comunidad perteneciente a la selva virgen. Encontró que las principales causas que determinaron el funcionamiento de la comunidad en los ambientes perturbados fueron los factores abióticos, mientras que en la comunidad de ambiente virgen fueron las interacciones interespecíficas.

Gross (2009) determinó el estatus poblacional de seis especies de anfibios anuros del Páramo de Mucubají, Edo. Mérida, Venezuela. El monitoreo se realizó entre el 2005 y el 2006, y se consideraron diferentes microhábitats y parches (rocas, bajo rocas cercanas al agua, en vegetación y en vegetación cercanas al agua; y dos tipos de parches: vegetación compuesta por helechos, gramíneas y musgos, y vegetación compuesta por frailejones y gramíneas). Encontró un total de 44 organismos (28 en 2005 y 16 en 2006). Los meses de enero y marzo del 2006 fueron los que presentaron la mayor riqueza de especies. En los meses de abril y mayo del 2005 y junio de 2006 no se logró captura. La temperatura del aire pudo haber sido mayor a la exhibida en años anteriores, los valores de humedad relativa disminuyeron con la elevación, la humedad relativa y la temperatura del aire medidas en 2006 parecen ser más alta y baja, respectivamente, que las registradas en 2005. Concluyó que las irregularidades en la precipitación y el cambio y aumento de temperatura son un factor fundamental para la desaparición de algunas especies de anfibios, esto debido a que los periodos de sequía han afectado de manera negativa a las poblaciones de anfibios en esta región. Tanto la gran cantidad de humedad y capturas en un mes seco y la irregularidad mensual entre los valores máximos y mínimos de la humedad relativa, pueden sugerir sobre como los patrones de precipitación en la región actualmente se presentan alterados; asimismo, se corrobora la tendencia en la región hacia un aumento de temperatura.

Con respecto a los estudios desarrollados en la Sierra Nevada, y en particular para el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan, no se reportan trabajos herpetofaunísticos a largo plazo o que vinculen la influencia del clima y vegetación sobre la diversidad de anfibios y reptiles. No obstante, sólo algunas investigaciones indican de forma muy somera que la riqueza y densidad de los anfibios y reptiles observados se deben a los cambios estacionales (lluvias y secas), sin realizar un seguimiento a largo plazo (más de 5 años). De ahí la relevancia de efectuar este tipo estudios en áreas con gran potencial de riqueza y endemidad herpetológica, que permitan determinar las tendencias en la variabilidad de la diversidad herpetofaunística en ambientes de bosques templados de gran altitud.

## **Pregunta de investigación**

---

¿Cuál es la relación entre los patrones de variabilidad climática y de vegetación con la diversidad herpetofaunística de un bosque templado en la Sierra Nevada de México a dos niveles de resolución temporal: intra-anual y tendencias a largo plazo?

## **Hipótesis**

---

1. Las comunidades herpetofaunísticas de los bosques templados de gran altitud presentarán a largo plazo una variación en su diversidad, siendo esta dinámica en el tiempo.
2. En comunidades herpetológicas de bosques templados de gran altitud, el clima y la vegetación influenciarán a largo plazo la diversidad de anfibios y reptiles.
3. Los patrones intra-anales de la diversidad herpetofaunística estarán asociados con la variabilidad climática y de vegetación que ocurren por época climática.



## Objetivos

---

### OBJETIVO GENERAL

- Analizar los patrones de la dinámica temporal (intra-anual y a largo plazo) de la diversidad de la comunidad herpetofaunística y su relación con el clima y la vegetación de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar los patrones inter-anales de la riqueza, densidad y diversidad de los anfibios y reptiles de un bosque templado en la Sierra Nevada de México durante 17 años.
- Analizar los patrones intra-anales (secas y lluvias) de la riqueza, densidad y diversidad de los anfibios y reptiles de un bosque templado en la Sierra Nevada de México durante 17 años.
- Evaluar la variabilidad del clima (precipitación y temperatura) y de la vegetación (cubierta foliar) y su influencia en la riqueza, densidad y diversidad herpetofaunística de un bosque templado en la Sierra Nevada de México durante 17 años.

## Área de estudio

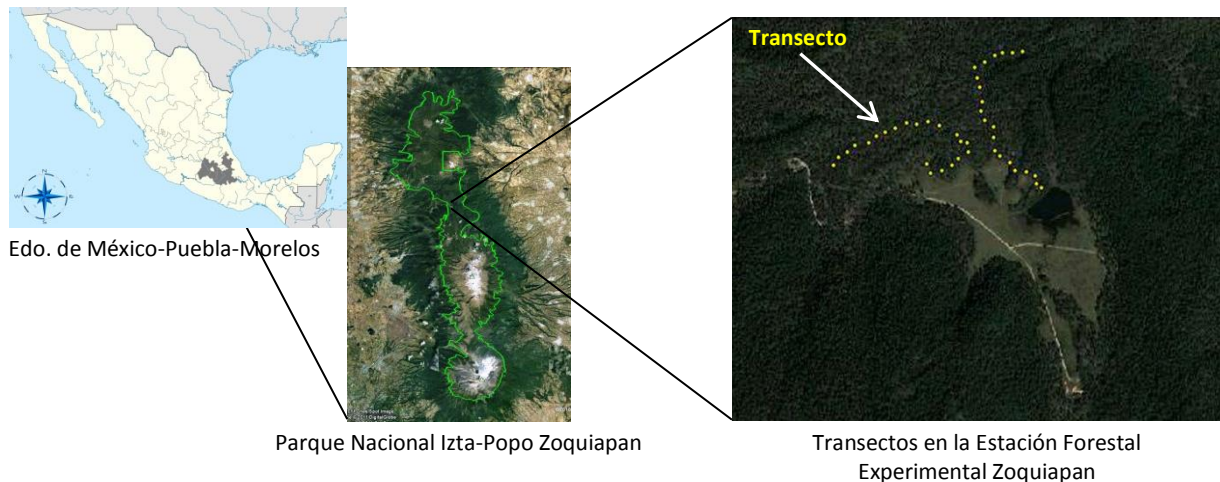
---

La Sierra Nevada representa un área de gran importancia desde el punto de vista biogeográfico, puesto que es una cadena montañosa que forma parte del Eje Neovolcánico Transversal (Bojorges, 2004), mismo donde convergen las regiones biogeográficas neártica y neotropical. Asimismo, en ella se han citado valores altos de riqueza y endemismos, y presenta un amplio gradiente altitudinal con distintos tipos de vegetación y microhábitats (Arriaga *et al.*, 2000). La Sierra Nevada se encuentra ubicada en el centro del país y separa el Valle de México de Puebla, limita hacia el sureste con el Valle de Cuautla (Morelos) y hacia el norte con los llanos de Tlaxcala e Hidalgo (Estrada-Martínez *et al.*, 2009). Se localiza entre los paralelos 18° 54' 39" y 19° 33' 00" de latitud Norte, y entre los meridianos 98° 31' 11" y 98° 48' 10" de longitud Oeste (Estrada-Martínez *et al.*, 2009). Cuenta con una superficie de 1,227 km<sup>2</sup> y está conformada por los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl, el cerro Tláloc y Telapón (Hernández-García y Granados-Sánchez, 2006). Asimismo, está cubierta en sus partes superiores por bosques templados de pino-encino, oyameles, pinares alpinos y, entre los 4,000 msnm se desarrollan praderas alpinas (Estrada-Martínez *et al.*, 2009).

En la parte sur de la Sierra Nevada, en el extremo oriente de la Cuenca de México, se encuentra el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan (PNIPZ), a solo 60 km al sureste del centro de la Ciudad de México. Este parque forma parte del Estado de México, Puebla y Morelos, y se encuentra incorporado por algunos pequeños municipios tales como: Texcoco, Ixtapaluca,

Chalco, Tlalmanalco y Amecameca en el Estado de México; Chiautzingo, Huejotzingo, San Nicolás de los Ranchos y Tochimilco en Puebla; y Tetela del Volcán en Morelos. Los puntos más altos que conforman este parque son el Popocatepetl (5,452 msnm), el Iztaccíhuatl (5,230 msnm), el Tláloc (4,120 msnm), Telapón (4,060 msnm), el Papayo (3,600 msnm) y el Yolotxóchitl (3,900 msnm). Esta región se distingue por sus barrancas, cubierta de nieve permanente, valles, precipicios rocosos, altiplano y profundos cañones.

Dentro del Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan (PNIPZ) se encuentra la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ), zona donde se centró el estudio (Fig. 1), (CONANP, 2011). La EFEZ se localiza dentro de los municipios de Tlahuapan en el Estado de Puebla, y Tlalmanalco en el Estado de México, al norte del PNIPZ, entre las coordenadas geográficas 19° 12' 30" y 19° 20' 00" de latitud Norte, y 98° 42' 30" y 98° 30' 00" de longitud Oeste (Rey, 1975; Maass *et al.*, 1981); comprende una superficie de 2,683.5 ha (Del Rivero, 1973).



**Figura 1.** Ubicación de transectos dentro de la EFEZ, localizada dentro del Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan.

### *Clima*

De acuerdo al Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por García (1973) para la República Mexicana, el tipo de clima de la zona es C (w''2) (w) (b') ig, que corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano, con un cociente P/T mayor de 55.0, por lo que es el más húmedo de los climas C (w), (Maass *et al.*, 1981).

La precipitación media anual es de 1,169.3 mm, con canícula en el mes de agosto. Presenta la mayor concentración de la precipitación en los meses de abril a octubre, con la máxima en los meses de julio y septiembre, y la mínima en marzo y diciembre (García, 1973; Zavala, 1984). Asimismo, presenta un porcentaje de lluvia invernal menor al 5% de la anual, dos máximos de lluvia separados por dos estaciones secas, una larga en la mitad fría del año y, una corta, en la mitad de la época de lluvias, con verano fresco y largo (Maass *et al.*, 1981).

La temperatura media anual es de 11.1 °C (variando entre 5 °C y 12 °C), la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es menor de 5 °C (por lo que se considera isotermal), la temperatura media del mes más frío es inferior a 18 °C pero superior a -3 °C y la del mes más caliente entre 6.5 °C y 22 °C (Maass *et al.*, 1981; Zavala, 1984). Las mayores temperaturas se presentan en los meses de abril a agosto, con la máxima en abril durante el inicio de la época de lluvias y con las mínimas de diciembre a febrero. Los días con heladas se registran durante los meses de octubre a marzo, siendo insignificantes en los meses de abril a septiembre

debido a que se presenta el verano con las mayores temperaturas (Zavala, 1984); la marcha de la temperatura es de tipo Ganges, dado que el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano (Maass *et al.*, 1981). Dada su cercanía con el volcán Iztaccíhuatl, en la zona se presentan ocasionales nevadas (Rodríguez, 1975; Rey, 1975).

En esta zona montañosa generalmente existe humedad relativa alta, debido a la cubierta de bosque que atenúa las oscilaciones de los valores mensuales y a la presencia de niebla que también contribuye al mantenimiento de las características de humedad relativa. Esto último explica el por qué es tan alta la humedad relativa en el mes de noviembre, el cual muestra un valor bajo de precipitación (Zavala, 1984).

### *Hidrología*

El drenaje del parque tiene un patrón dendrítico, típico de rocas volcánicas, aunque en algunas partes no está bien definido, ya que debido a formaciones litológicas recientes, los arroyos se pierden en pequeñas cuencas cerradas o se hacen subterráneos, ya que predomina la infiltración. Los ríos más importantes tienen un régimen perenne; sus fuentes de alimentación son las lluvias veraniegas y las aguas subterráneas durante el periodo de estiaje; además, hay otras corrientes menos importantes cuyo régimen es temporal, es decir, solo llevan agua en la época de lluvias (Oropeza, 1980).

En la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ) existen pocas corrientes de aguas superficiales, éstas son fundamentalmente temporales que se forman durante la época de lluvias a partir de escurrimientos de las partes más altas y por consecuencia más frías (Zavala, 1984).

Son tres los arroyos que se encuentran, dentro de estos el Arroyo Aculco nace en la parte suroeste del área en las estribaciones del Iztaccíhuatl, corre en dirección sur-noreste y atraviesa gran parte del área de muestreo en el embalse del Llano de Aculco, y desemboca en la parte noreste cerca del Llano Tlalpuente (Rodríguez, 1975).

### *Geología*

En el parque, los afloramientos más abundantes son los de origen volcánico por la predominancia de rocas volcánicas, que en ocasiones se encuentran fuertemente intemperizadas y erosionadas, y por la gran extensión que cubren los derrames lávicos (basaltos y andesitas), siendo la andesita Iztaccíhuatl la roca más abundante de todo el parque (Castillo, 1976; Maass *et al.*, 1981).

### *Topografía*

La EFEZ comprende un área de forma rectangular e irregular; el relieve es predominantemente montañoso, con excepción de los llanos intermontanos; las pendientes varían desde 0%, en las partes más planas, hasta más de 50%, en las porciones montañosas

(Rey, 1975). Incluye altitudes de 3,080 msnm en el Llano Tlalpuente sobre la porción noreste del Campo, hasta 3,690 msnm en el Cerro Tres Cruces (Zavala, 1984).

Asimismo, se localizan algunos llanos, entre los cuales se encuentran el Llano de Aculco (donde se encuentra el área de muestreo) que es el de mayor extensión en la parte oeste (Maass *et al.*, 1981; Zavala, 1984).

### *Edafología*

La zona se encuentra comprendida por diferente tipo de suelo como los Andosoles, Regosoles, Litosoles y Fluvisoles. Los Andosoles sustentan una vegetación de bosque de coníferas (pinos y oyameles), de bosque mixto (pinos, encinos, ailes, etc.) y de pastizal; en tanto que los Regosoles y Litosoles carecen de vegetación o ésta es herbácea y rala; y los Fluvisoles son utilizados para la agricultura o tiene una cubierta de gramíneas (Oropeza, 1980).

Estos suelos derivan de cenizas volcánicas, poseen un desarrollo pedogenético incipiente, poseen un adecuado nivel de fertilidad, así como susceptibilidad a la erosión (Rey, 1975; Maass *et al.*, 1981; Zavala, 1984).

### Flora

Según Beaman (1962) la vegetación que se encuentra en el PNIPZ está constituida por comunidades de Alta Montaña florísticamente pobres, dominada principalmente por *Pinus hartwegii*, aunque también existen otras especies importantes con diferentes grados de dominancia (*P. montezumae*, *Abies religiosa*, *Calamagrostis* spp., *Festuca* spp., *Muhlenbergia* spp. y *Alnus firmifolia*), las cuales forman asociaciones vegetales dominadas por una o dos especies, o mezclas de hasta cuatro especies.

El bosque de pino es el que cubre la mayor superficie (aproximadamente el 60%) y es en éste hábitat donde se llevó el muestreo de la herpetofauna. El bosque de oyamel ocupa el segundo lugar (aprox. el 30%), siguiéndole el pastizal (aprox. el 2.5%) y por último el bosque de aile (aprox. el 1%), (Zavala, 1984). El bosque de pino se distribuye de los 3,000 msnm, sobre terrenos con poca pendiente, hasta cerca de los 3,700 msnm. La especie dominante es *Pinus hartwegii* (frecuentemente la única), aunque se llega a presentar asociado con *Alnus firmifolia* entre los 3,100 a 3,400 msnm, de preferencia sobre laderas con pendiente poco pronunciada y exposición Norte a Noreste, formando ambas especies una asociación muy común en el área.

El estrato arbustivo del bosque de pino se presenta con poca densidad o está ausente. En las áreas más perturbadas se encuentran manchones de *Senecio cinerarioides* o *Penstemon gentianoides*. La presencia de *Senecio angulifolius* suele ser muy importante, principalmente



donde *Pinus hartwegii* se asocia a *Alnus firmifolia*. Mientras que el estrato herbáceo es el más denso y está representado principalmente por especies de gramíneas amacolladas. Entre las especies más frecuentes se encuentran *Muhlenbergia quadridentata*, *M. macroura*, *Festuca tolucensis*, *F. hephaestophila* y *Piptochaetium fimbriatum*.

### *Fauna*

Dado que el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan se encuentra en una zona en la que convergen dos regiones biogeográficas (la neártica y la neotropical), la fauna que existe en el área de la EFEZ es principalmente de origen neártico (Maass *et al.*, 1981).

En un estudio realizado por Maass *et al.* (1981) en el área de la EFEZ, mencionan que la clase Amphibia se encuentra representada por tres familias y seis especies; la clase Reptilia por cinco familias y ocho especies; la clase Aves por 16 familias y 31 especies; siendo la clase Mammalia la más rica en especies, con 12 familias y 38 especies.

Mamíferos.- El 73% de la mastofauna registrada en el área de estudio es de afinidad neártica, 8% neotropical y 19% endémica. Se encuentra representada por los órdenes: Marsupialia, Insectívora, Chiroptera, Edentata, Lagomorpha, Rodentia, Carnívora y Artiodactyla (Maass *et al.*, 1981). Las especies endémicas son *Romerolagus diazi*, *Neotomodon alstoni* y *Cratogeomys merriami* (Goldman y Moore, 1946).

Aves.- En cuanto a la comunidad ornitológica, el 92% es neártica y 8% endémica; entre las especies endémicas se encuentran *Dendrortyx macroura*, *Dendrocopos stricklandi*, *Oriturus superciliosus* y *Ergaticus ruber*. Asimismo, está compuesta por los órdenes Falconiformes, Galliformes, Strigiformes, Caprimulgiformes, Apodiformes, Piciformes y Passeriformes (Maass *et al.*, 1981).

Anfibios y Reptiles.- En general, los anfibios y reptiles son de afinidad neártica, sin embargo, existen especies de la zona que son endémicas del Eje Neovolcánico, tales como: *Rhyacosiredon leorae*, *Hyla eximia* e *Hyla plicata* (Maass *et al.*, 1981).

Sin embargo, hoy en día no existe un estudio completo que proporcione una lista taxonómica actualizada de la herpetofauna del Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan, esto debido a la poca atención que ha recibido el parque, en particular la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, a pesar de pertenecer a la Universidad Autónoma Chapingo.

Uribe-Peña *et al.* (1999) proporcionan una lista de las especies herpetofaunísticas presentes en las Serranías que rodean el Distrito Federal por el suroeste, sur y sureste (Sierra de las Cruces, Sierra del Ajusco y Sierra Nevada, respectivamente) y, debido a que el área de estudio está comprendida en el área de influencia de la Sierra Nevada, se hará uso de esta lista.

De acuerdo con Uribe-Peña *et al.* (1999), en las Serranías del Distrito Federal la herpetofauna consta de 44 especies y subespecies, 14 anfibios y 30 reptiles. Del total de esta herpetofauna, 12 especies fueron tomadas de registros en la literatura. De los anfibios, la Familia Plethodontidae es la más diversificada (cinco especies), le siguen la Ambystomatidae e Hylidae (tres y cuatro, respectivamente), y por último la Familia Ranidae (dos especies).

De los reptiles, la Familia Colubridae es la que posee la mayor riqueza específica (12 especies), le sigue la Phrynosomatidae (10 especies), seguido por la Viperidae y Anguidae (ambas con tres especies), y por último la Familia Scincidae (una especie).

De las 44 especies herpetofaunísticas reportadas para las Serranías del Distrito Federal solo 23 especies se han registrado para el Parque Nacional Zoquiapan (Tabla 1).

**Tabla 1.-** Lista de especies de anfibios y reptiles reportadas para el Parque Nacional Zoquiapan por Uribe-Peña *et al.* (1999).

Reino	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género y especie		
A n i m a l i a	C h o r d a t a	Amphibia	Caudata	Ambystomatidae	<i>Ambystoma altamiranoi</i>		
				Plethodontidae	<i>Pseudoeurycea altamontana</i>		
					<i>Pseudoeurycea belli</i>		
					<i>Pseudoeurycea cephalica</i>		
					<i>Pseudoeurycea leprosa</i>		
							<i>Chiropterotriton chiropterus</i> ♣ <i>C. orculus</i>
		Reptilia	Anura	Hylidae		<i>Hyla eximia</i>	
						<i>Hyla plicata</i>	
					Phrynosomatidae	<i>Sceloporus aeneus</i>	
						<i>Sceloporus bicanthalis</i>	
<i>Sceloporus grammicus</i>							
Squamata (Lacertilia)	Anguidae	<i>Barisia imbricata</i>					
		<i>Barisia rudicollis</i>					
Squamata (Serpentes)	Scincidae		<i>Eumeces copei</i> ♣ <i>Plestiodon copei</i>				
		Colubridae	<i>Conopsis biserialis</i>				
			<i>Conopsis nasus</i>				
			<i>Storeria storerioides</i>				
			<i>Thamnophis eques</i>				
<i>Thamnophis melanogaster</i>							
			<i>Thamnophis scaliger</i>				
Viperidae		<i>Crotalus triseriatus</i>					
		<i>Sistrurus ravus</i> ♣ <i>Crotalus ravus</i>					

♣ Especies que se han actualizado taxonómicamente de acuerdo a Lemos-Espinal y Smith (2007) y Ramírez-Bautista *et al.* (2009).

## Métodos

---

El estudio se basó en la compilación de datos obtenidos desde el año 1995 hasta el 2010 durante dos épocas climáticas (lluvias y secas) y, del trabajo en campo durante el 2011 bajo los mismos lineamientos y criterios de muestreo. Esto con el fin de determinar la variabilidad intra-anual e inter-anual de la diversidad de la comunidad herpetofaunística, de un bosque templado de Pino en la Sierra Nevada de México, en el cual se encuentra el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan.

### TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron muestreos sistemáticos de 7 días de duración para cada época climática (secas y lluvias), estableciendo un programa de muestreo al azar simple en el hábitat de Pino (*Pinus hartwegii*). Este tipo de vegetación es predominante en el 60% de la zona de estudio y se encuentra a una altitud de 3,360 msnm. Se utilizó el método de muestreo por estimaciones y se emplearon dos transectos en banda por día de 1,000 m de largo por 10 m de ancho, subdividido en 20 segmentos de 50 m cada uno (Brower *et al.*, 1997).

Cada transecto se recorrió de inicio a fin el primer día y de fin a inicio al siguiente día para establecer con ello una réplica (Burnham *et al.*, 1980; Brower *et al.*, 1989). El muestreo se realizó en las horas de mayor actividad de la herpetofauna (10:00 a 17:00 hrs), con el fin de

registrar la mayor cantidad de organismos. En cada transecto se realizó una búsqueda activa. Se buscó, capturó, procesó y liberó a cada organismo en los diferentes microhábitats potenciales, y se le tomó a cada individuo capturado los datos rutinarios que en todo estudio herpetológico se evalúan (Casas-Andréu *et al.*, 1991), (Tabla 2).

**Tabla 2.-** Características morfométricas, datos específicos y variables ambientales básicos a evaluar de cada organismo capturado.

<b>Característica</b>	<b>Datos de cada organismo a obtener</b>
Especie	Se identificó a nivel de especie de acuerdo al morfotipo utilizando claves taxonómicas y guías de campo.
Sexo	Se definió de acuerdo al dimorfismo sexual que presentó cada especie basado en la presencia de: hemipenes, poros femorales, coloraciones y características específicas.
Edad	Se catalogó en tres clases: crío, subadulto y adulto, basándose en el estado de madurez y en el tamaño del ejemplar.
Temperaturas	Se registraron con un termómetro electrónico de respuesta rápida, obteniendo: dorso, vientre y corporal, así como del sustrato, microhábitat y ambiente.
Longitud hocico-cloaca	Comprendió desde la punta del hocico hasta el orificio de la cloaca.
Longitud cloaca-cola	Comprendió del orificio cloacal al extremo máximo de la cola.
Longitud anca	Comprendió desde la base del anca hasta la punta del dedo mas largo del ejemplar.
Peso	Se tomó por medio de pesolas de distinto gramaje.
Muda	Se observó por el desprendimiento de piel (ecdisis), así como, por la presencia de una capa blanquecina en los ojos.
Laceraciones	Se refirió a la presencia de heridas, golpes, mutilaciones o de cicatrices en el ejemplar.
Parásitos	Fueron ectoparásitos adheridos en las escamas y en los pliegues corporales.
Condición reproductiva	Se evaluó por un ligero abultamiento en la región ventral en las hembras adultas, mediante su observación o palpación.
Microhábitat	Sustrato específico donde se encontró el ejemplar.
Segmento	Parte específica del transecto, donde se encontró el ejemplar.
Observaciones	Registros adicionales no previstos en la hoja de campo.

## **ANÁLISIS DE DATOS**

Para evaluar la dinámica temporal de la diversidad, clima y vegetación, los datos se analizaron a dos niveles de resolución: intra-anual (por época climática) e inter-anual (entre años).

### **Análisis de la diversidad de la herpetofauna**

#### *Composición taxonómica*

Se analizó a nivel de orden, familias, géneros y especies.

#### *Riqueza*

Se determinó con base en el número de especies (*S*).

#### *Densidad*

Se calculó a partir de los valores de abundancia de cada especie (obtenidos del valor máximo de organismos registrados durante los muestreos) mediante la estimación por transecto propuesta por Davis y Winstead (1980; p: 240).

$$P = \frac{A * Z}{2 * Y * X}$$

Donde:

$P$  = densidad de la población.

$A$  = representa el área total estudiada (10,000 m<sup>2</sup>).

$Z$  = número de individuos observados dentro de los límites.

$Y$  = promedio de las distancias de escape (2.5 m).

$X$  = longitud de la franja (1,000 m).

#### *Curvas de rango-abundancia*

Para comparar los patrones de densidad y equidad de especies se elaboraron curvas de rango-abundancia (Whittaker) usando el número de especies y de individuos por especie registrados en cada año. Éstas se graficaron de acuerdo con el logaritmo de la proporción de cada especie  $p_i(n_i/N)$ , es decir, la abundancia relativa de las especies en escala logarítmica, y los datos se ordenaron de acuerdo con el rango ocupado por cada especie, de la más abundante a la menos abundante (Magurran, 1989).

#### *Diversidad*

Se emplearon dos de los índices más apropiados para determinar la diversidad de acuerdo a las especificaciones de Magurran (1989; p: 88):



- La diversidad con base a la uniformidad, a partir del índice de Shannon (Shannon y Weaver, 1949), cuyo intervalo oscila de 1.5 a 3.5, y raramente sobrepasa 4.5 (Margalef, 1972).

$$H' = - \sum p_i * \ln p_i$$

Donde:

$H'$  = índice de diversidad de Shannon basado en la uniformidad.

$p_i$  = proporción de individuos hallados en la especie  $i$ -ésima, y se estima mediante  $n_i/N$ .

$n_i$  = número de individuos de la especie  $i$ -ésima.

$N$  = número total de individuos de todas las especies.

- La diversidad con base a la dominancia, a partir del recíproco del índice de Simpson (Simpson, 1949).

Índice de dominancia de Simpson:

$$\lambda = \frac{1}{\sum p_i^2}$$

Donde:

$\lambda$  = índice de dominancia de Simpson.

$p_i$  = proporción de individuos de la especie  $i$ -ésima.

Índice de diversidad de Simpson:

$$\text{Recíp. } \lambda = \frac{1}{\lambda}$$

Donde:

*Recíp.  $\lambda$*  = índice de diversidad de Simpson basado en la dominancia.

$\lambda$  = índice de dominancia de Simpson.

### *Similitud*

Se empleó el índice de similitud de Morisita-Horn (Horn, 1966), que de acuerdo con Smith (1986) y Wolda (1981), es el más satisfactorio de todos los índices disponibles ya que no se encuentra influenciado por la riqueza de especies y el tamaño muestral.

$$C_{M-H} = \frac{2\sum(an_i * bn_i)}{(da + db)aN * bN}$$

Donde:

$C_{M-H}$  = índice de similitud de Morisita-Horn.

$an_i$  = número de individuos de la  $i$ -ésima especie de la comunidad  $a$ .

$bn_i$  = número de individuos de la  $i$ -ésima especie de la comunidad  $b$ .

$$da = \sum an_i^2 / aN^2$$

$$db = \sum bn_i^2 / bN^2$$

$aN$  = número total de individuos de la comunidad  $a$ .

$bN$  = número total de individuos de la comunidad  $b$ .

Dado que existe un gran número de años a comparar, éstos se representaron de forma gráfica mediante dendrogramas. Dicho procedimiento inició con una matriz de similitud entre cada uno de los pares de años y a partir de ella se determinaron los grupos de años con diversidad más similar empleando un análisis de *clasificación multivariada*, mediante el método de agrupamiento de pares con media aritmética no ponderada (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean, UPGMA*), que es uno de los métodos más ampliamente usados en ecología (Pielou, 1984) y cuyo intervalo de variación queda comprendido entre 0 y +1:

$C_{M-H}$  igual ó cercano a 1 indica alta similitud.

$C_{M-H}$  igual ó cercano a 0 indica baja similitud.

### **Análisis del clima - vegetación**

Paralelamente se obtuvieron los registros de la temperatura y precipitación de la Estación Meteorológica Ixtapaluca (ubicada a una altitud de 3,000 msnm) ubicada aproximadamente a unos 20 km de la zona de estudio, mediante los datos del Sistema Meteorológico Nacional, el cual compila la información generada por esta estación. Se seleccionó esta estación meteorológica debido a que en los alrededores del área de estudio no se contó con alguna que tuviera registros de datos climatológicos de los años muestreados. Además no existe un

obstáculo geográfico importante entre la estación y el área de estudio que pudiera llevar a una diferencia del clima de ambas zonas y, porque la base de datos está prácticamente completa.

### *Climograma*

Con los datos climáticos se determinó el patrón de comportamiento mensual de la temperatura media y la precipitación total a partir de un climograma. Este es un gráfico en el que se representaron de manera resumida los valores de la precipitación y temperatura promedio del área de estudio (con base en datos de 29 años y por periodos mensuales), obtenidos de la Estación Meteorológica Ixtapaluca.

### *Relación clima - vegetación vs diversidad*

Se emplearon dos pruebas estadísticas para determinar la relación de la diversidad con el clima-vegetación:

- *Coefficiente de correlación de Pearson (r)*: Esta prueba determina si dos variables se relacionan entre sí. Esta correlación está estructurada de manera que el signo de  $r$  indica la dirección de la relación.

Donde:

$r > 0$  cuando la relación entre las dos variables es directa (positiva).

$r < 0$  cuando la relación entre las dos variables es inversa (negativa).

$r \approx 0$  cuando la relación entre las dos variables no es clara.

El valor absoluto de  $r$  indica la fuerza de la relación y cuyo intervalo de variación queda comprendido entre -1 y +1:

$r = -1$  para la relación más fuerte o perfectamente inversa (negativa) y

$r = +1$  para la relación más fuerte o perfectamente directa (positiva).

- *Modelo de regresión lineal ( $R^2$ )*: El modelo de regresión bivariado es una prueba que determina la relación -dependencia- entre dos variables, mediante la construcción de una línea recta. Este modelo es generalmente representado como:

$$y = a + bx$$

Donde:

$y$  = variable dependiente.

$a$  = intercepto, o el valor de la variable dependiente ( $y$ ) cuando la regresión lineal intercepta el eje  $y$ , o el valor de la variable dependiente ( $y$ ) en la regresión cuando la variable independiente ( $x$ ) es igual a 0.

$b$  = pendiente de la línea de tendencia, o la tangente del ángulo entre el eje  $x$  y la línea de tendencia, o bien, la tasa de cambio de la variable dependiente ( $y$ ) por unidad de cambio de la variable independiente ( $x$ ).

$x$  = variable independiente.

De igual manera se obtuvo una *línea de tendencia* (lineal) de una serie de datos obtenidos a través de un largo periodo. Esta puede informar si la diversidad, clima y vegetación han aumentado o disminuido a través del tiempo. Se obtuvo trazando simplemente una línea recta sobre los datos previamente graficados.

#### *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)*

Se evaluó la dinámica de la vegetación a través del índice de vegetación normalizado (NDVI). Esto con el fin de determinar la posible afectación en la vegetación (cubierta foliar) debido a las actividades antropogénicas tales como: tala, pastoreo e incendios, entre los principales; de manera que se puedan considerar como otros posibles factores que pudiese explicar la dinámica temporal de la diversidad herpetofaunística durante el periodo de estudio (1995-2011).

El índice de vegetación normalizado es un parámetro que, por un lado, permite evaluar y determinar el estado de salud de la vegetación en base a la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan y, por el otro lado, puede ser usado como un posible indicador de

riesgo de incendios y de las anomalías climáticas (Manzo-Delgado, 2009). Asimismo, permite conocer las características de la vegetación relacionadas con la biomasa foliar, la actividad fotosintética y el contenido de agua del dosel forestal (Reed *et al.*, 1994).

El índice se obtiene a partir de los valores de reflectancia de las bandas espectrales del rojo y el infrarrojo cercano de cualquier sensor satelital, cuyo valor de intervalo de variación, al estar normalizado, queda comprendido entre -1 y +1 (Rouse *et al.*, 1973):

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)}$$

Donde:

*NDVI* = índice de vegetación de diferencia normalizada.

*IR* = valor de reflectancia de la banda espectral del infrarrojo cercano.

*R* = valor de reflectancia de la banda espectral del rojo.

Las áreas con vegetación presentan valores positivos de *NDVI*, mientras que las nubes, los cuerpos de agua y la nieve tienden a registrar valores negativos, las rocas y suelo desnudo presentan valores cercanos a cero. Se ha señalado como umbral mínimo para cubiertas vegetales un valor de *NDVI* en torno a 0.1 y para la vegetación densa un valor de *NDVI* de 0.5 (Holben, 1986).

La variabilidad del índice de vegetación normalizado (*NDVI*) se evaluó a través de imágenes satelitales de la superficie terrestre. Las imágenes se obtuvieron a partir de los satélites *Landsat (Land Satellite) 4 y 5* con el sensor *TM (Thematic Mapper)* y del satélite *Landsat 7* con el sensor *ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)*. La interpretación de las imágenes satelitales fue de forma cualitativa (visualización directa de las imágenes) y por medio de construcción de gráficas (valores de *NDVI* graficados) para observar el comportamiento del *NDVI* a través del tiempo. La evaluación cualitativa se basó en las diferencias de color. Los colores verdes en las imágenes ya procesadas están asociados a una mayor actividad fotosintética y biomasa foliar (fase de crecimiento y madurez), en tanto que los colores cafés están relacionados con una baja actividad fotosintética y menor densidad foliar (fase de senescencia y caída del follaje). Las gráficas del *NDVI*, permitieron analizar cuantitativamente la dinámica o la variabilidad de la vegetación en valores de *NDVI* (Reed *et al.*, 1994).



### **Análisis general de la diversidad**

#### *Composición taxonómica*

Para la herpetofauna registrada durante 17 años de investigación (1995-2011) en el bosque de Pino en la Sierra Nevada (Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan), se reportó un total de 19 especies, 5 de la clase Amphibia y 14 de la clase Reptilia. Los anfibios presentaron un orden más que los reptiles, a pesar de presentar menor número de familias, géneros y especies (Tabla 3).

Dentro de la clase Amphibia cada orden presentó una familia; sin embargo, la Plethodontidae presentó dos géneros (con tres especies), mientras que la Familia Hylidae presentó dos especies pertenecientes a un solo género. Para la clase Reptilia, se reportaron dos subórdenes (Lacertilia y Serpentes) del orden Squamata, con tres y dos familias representadas por siete especies. Las serpientes estuvieron representadas por cuatro géneros y los lacertilios por tres. Cabe señalar que dentro de este último la Familia Phrynosomatidae presentó la mayor cantidad de especies pertenecientes al género *Sceloporus*.

**Tabla 3.-** Herpetofauna de un bosque templado en la Sierra Nevada de México, en el periodo 1995-2011.

REINO	PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE			
A n i m a l i a	C h o r d a t a	Amphibia	Caudata	Plethodontidae	<i>Pseudoeurycea</i>	<i>cephalica leprosa</i>			
					<i>Chiropterotriton</i>	<i>orculus</i>			
			Anura	Hylidae	<i>Hyla</i>	<i>eximia plicata</i>			
		Reptilia	Squamata (Lacertilia)	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>aeneus</i>	<i>bicanthalis</i>	<i>grammicus</i>	<i>mucronatus</i>
						Anguidae	<i>Barisia</i>	<i>imbricata</i>	<i>rudicollis</i>
						Scincidae	<i>Plestiodon</i>	<i>copei</i>	
			Squamata (Serpentes)	Colubridae	<i>Conopsis</i>	<i>biserialis</i>			
					<i>Storeria</i>	<i>storerioides</i>			
					<i>Thamnophis</i>	<i>eques</i>	<i>melanogaster</i>	<i>scaliger</i>	
					Viperidae	<i>Crotalus</i>	<i>ravus</i>	<i>triseriatus</i>	

#### *Diversidad de la herpetofauna*

La densidad máxima herpetofaunística alcanzada en los 17 años de estudio fue  $D = 462$  ind./ha, con un promedio  $D = 236$  ind./ha. Por grupo taxonómico, la densidad máxima de los anfibios fue  $D = 101$  ind./ha y en promedio  $D = 49$  ind./ha. Para los reptiles la densidad máxima fue  $D = 361$  ind./ha, con un promedio  $D = 187$  ind./ha. Los anfibios representaron el 22%, mientras que los reptiles resultaron ser dominantes al representar el 78% (Tabla 4).

La diversidad obtenida en los 17 años de estudio fue de  $H' = 2.08$  y de *Recíp.*  $\lambda = 4.92$ , obtenido con base a la uniformidad y la dominancia respectivamente, y resultó ser una diversidad herpetofaunística media, de acuerdo a los intervalos de los índices evaluados (Tabla 4).

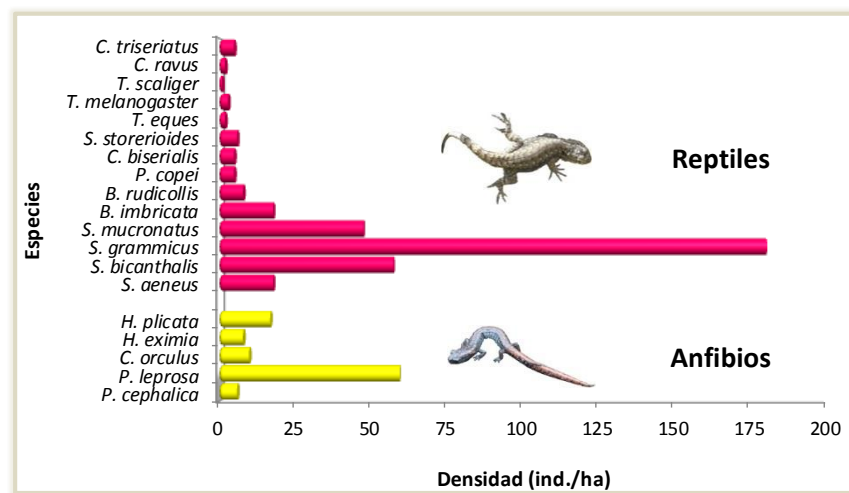
**Tabla 4.-** Diversidad de la herpetofauna de un bosque templado en la Sierra Nevada de México, durante el periodo 1995-2011.

Taxón	Diversidad			
	Riqueza (S)	Densidad (D)	Diversidad de Shannon (H')	Diversidad de Simpson (Recíp. $\lambda$ )
Herpetofauna	19	462	2.08	4.92
Anfibios	5	101	1.21	2.53
Reptiles	14	361	1.65	3.31

#### *Densidad específica de la herpetofauna*

La densidad reportada para las 19 especies que componen la herpetofauna del bosque de Pino denota que los reptiles dominan en número sobre los anfibios ( $D = 361$  ind./ha y  $D = 101$  ind./ha, respectivamente). La clase Lacertilia fue el suborden que predominó en cuanto a la densidad con el 73%. Mientras que para los anfibios una especie de cada familia (Plethodontidae e Hylidae) resultó ser dominante, al representar cada una el 79% y 68% respectivamente ( $D = 60$  ind./ha y  $D = 17$  ind./ha; Fig. 2).

Se encontraron 9 especies raras, de las cuales 7 especies pertenecieron al suborden Serpentes. Por lo que este suborden fue el representante con más especies raras y menos número de individuos. Asimismo, una especie del suborden Lacertilia y del orden Caudata también resultó ser rara con menos de 6 ind./ha. Aproximadamente la mitad de la herpetofauna registrada (47%) fueron especies raras y el 21% fueron especies comunes.



**Figura 2.-** Densidad específica de la herpetofauna durante 17 años de estudio para la herpetofauna, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

### Análisis inter-anual de la diversidad

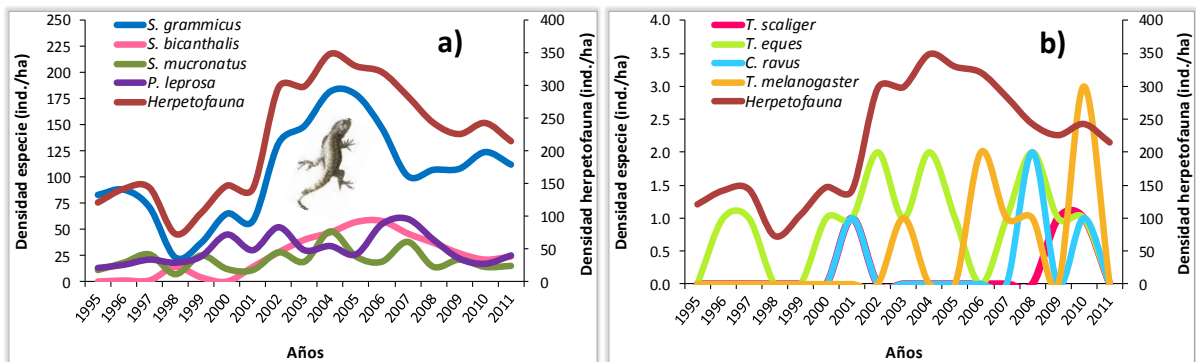
#### *Densidad específica inter-anual*

En la densidad inter-anual por especie se observó que a lo largo de los 17 años las especies comunes (Fig. 3a) se presentaron continuamente en mayor número respecto a las especies raras (Fig. 3b). Para el caso de los anfibios *P. leprosa* y para el caso de los reptiles *S.*

*grammicus*, fueron las especies que presentaron la mayor densidad en la mayoría de los años analizados, fluctuando sus densidades inter-anualmente.

En cuanto a las especies raras, éstas siempre presentaron densidades bajas a lo largo de los años de estudio (Fig. 3b), corroborando un patrón en el número de individuos de las mismas.

La densidad general de la herpetofauna a lo largo de los 17 años de estudio estuvo determinada por la especie dominante *S. grammicus* (Fig. 3a), dado que el patrón de la densidad herpetofaunística fue semejante a la de esta especie.

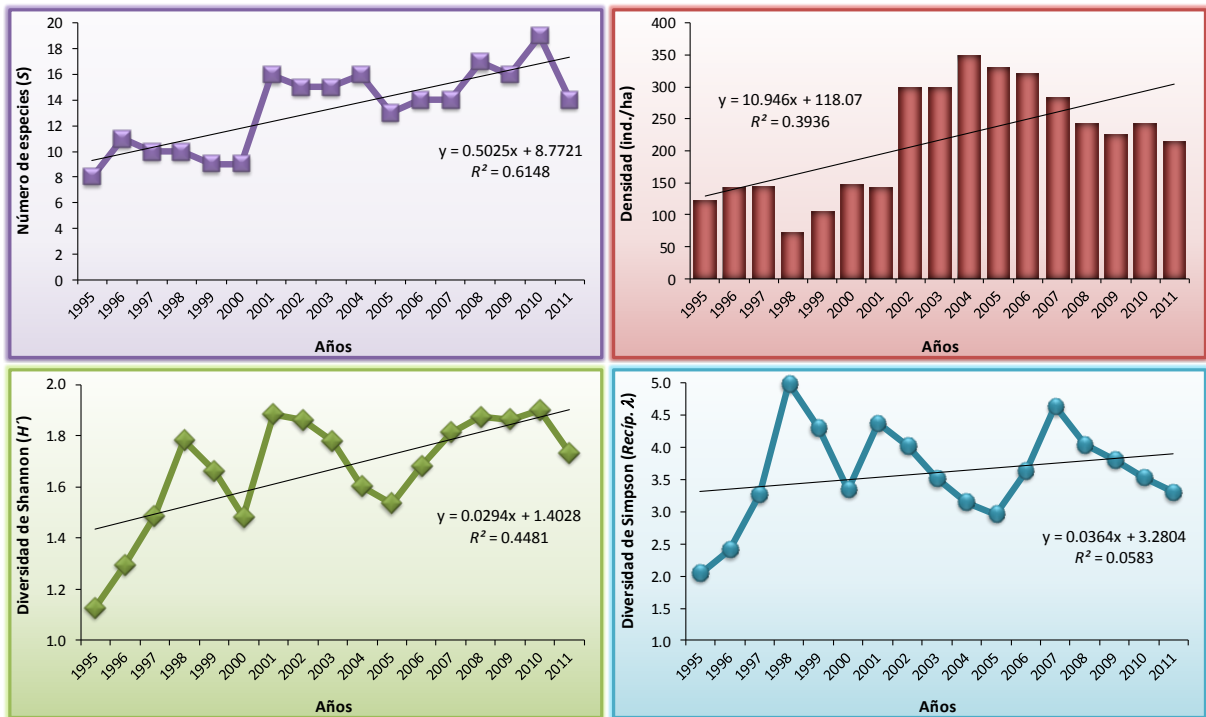


**Figura 3.-** Comparación inter-anual de la densidad herpetofaunística con la densidad de las especies a) comunes y b) raras durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

*Diversidad inter-anual de la herpetofauna*

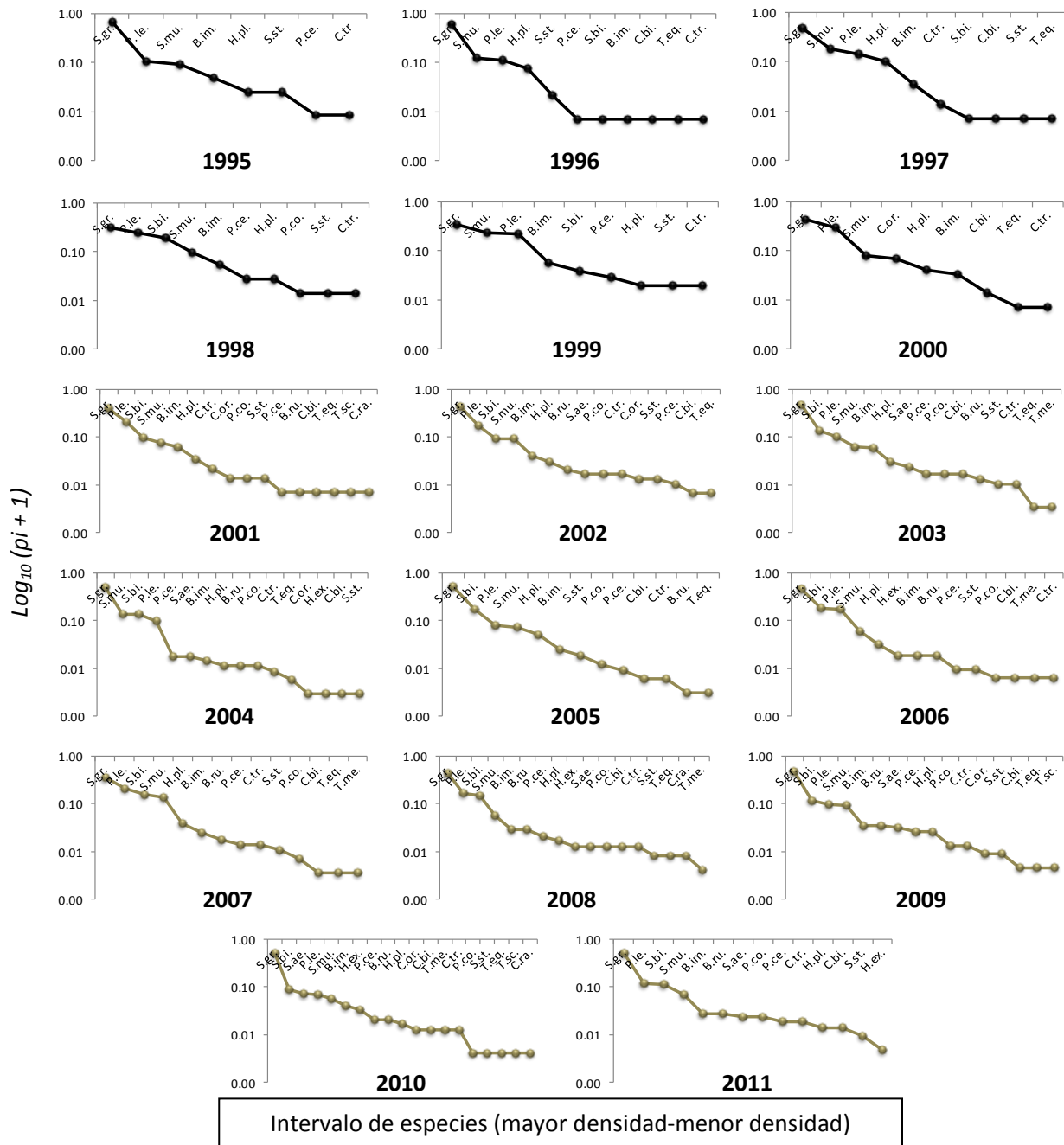
El análisis inter-anual de la herpetofauna del bosque de Pino en la Sierra Nevada (Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan) mostró un aumento paulatino en la riqueza de especies de anfibios y reptiles a través de tres ciclos (Fig. 4). El primero correspondiente de 1995 al 2000 (presentando los valores más bajos, ocho a 11 especies); el segundo, del 2001 al 2007 (13 a 16 especies), con un aumento muy marcado y, el tercero del 2008 al 2011 (14 a 19 especies). La densidad analizada inter-anualmente mostró una tendencia a la mínima durante los primeros 7 años de estudio (1995-2001) con valores no mayores a 150 ind./ha, por lo que a partir del 2002 ocurrió un aumento marcado en la densidad herpetofaunística fluctuando entre 200 a 400 ind./ha, con una disminución paulatina a partir del 2007 a la actualidad, siendo el año 2004 con mayor densidad.

La diversidad herpetofaunística inter-anual basada en la uniformidad y dominancia ( $H'$  y  $Recíp. \lambda$ ) mostró, al igual que la riqueza, tres patrones a lo largo de los 17 años de estudio, presentándose las cúspides durante los años 1998, 2001 y 2007-2010, y sus valles iniciando en el año 1995, para el 2000, 2005 y finalmente en el 2011 (Fig. 4). Se observa para cada parámetro comunitario una tendencia al aumento a través del tiempo (a excepción de la diversidad basada en la dominancia). Sin embargo esta tendencia no es marcada, por lo que la diversidad herpetofaunística presenta un aumento paulatino.



**Figura 4.-** Comportamiento inter-anual de la riqueza, densidad, diversidad de Shannon y Simpson de la herpetofauna durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Los patrones de densidad específica durante cada año analizado mostraron en general dos comportamientos diferentes, el primero durante el inicio del muestreo (1995-2000) y el segundo en los últimos años (2001-2011): En el primer periodo se presentaron pocas especies (ocho a 11 sp.), mientras que en el segundo periodo se presentaron la mayor cantidad de especies (13 a 19 sp.). La especie *S. grammicus* presentó el valor más alto de densidad en ambos periodos de estudio, mientras que *P. leprosa*, *S. mucronatus* y *S. bicanthalis* presentaron densidades altas solo en ciertos años (Fig. 5).



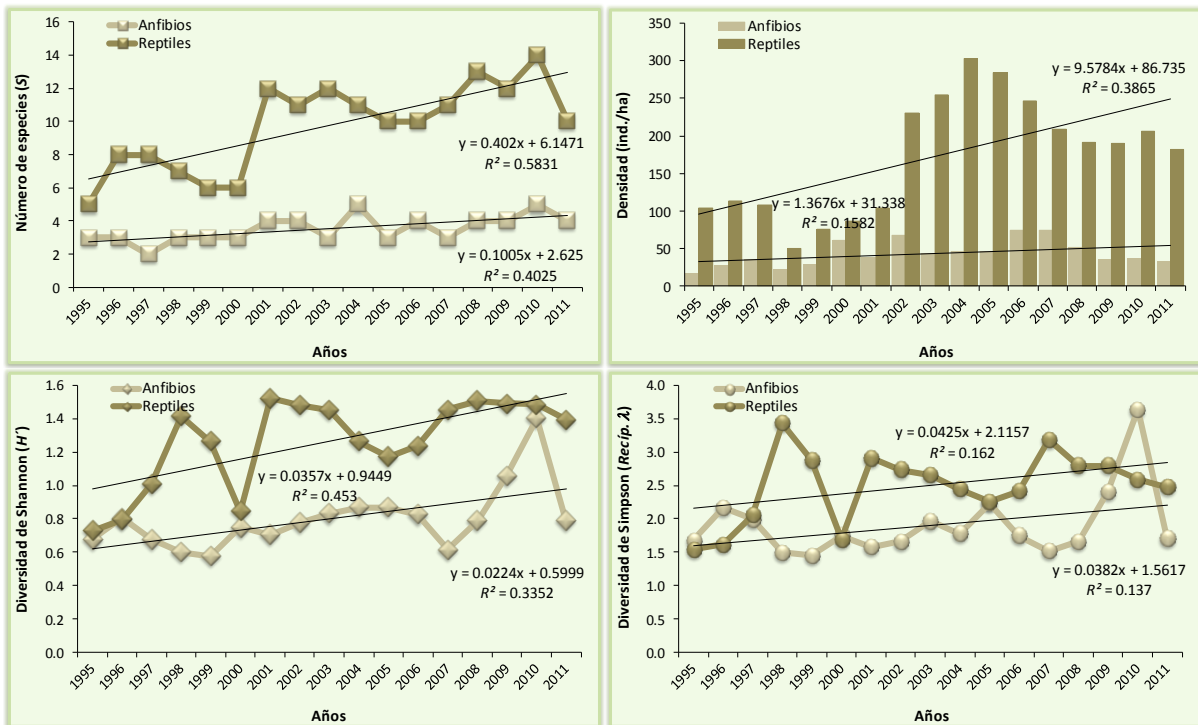
**Figura 5.-** Curvas de rango-abundancia de la herpetofauna por año de estudio (1995-2011), de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.



*Diversidad inter-anual por grupo taxonómico*

En la figura 6 se muestra la riqueza, densidad y diversidad basada en la uniformidad y dominancia ( $H'$  y  $Recíp. \lambda$ ), determinadas para cada grupo taxonómico durante cada año de estudio, en la cual se denota claramente que los reptiles fue el grupo que presentó un comportamiento inter-anual similar al de la comunidad herpetofaunística en general. Mientras que los anfibios no mostraron marcadas variaciones en la riqueza y densidad de forma inter-anual, y a diferencia de los reptiles éstos no presentaron el mismo patrón general de la herpetofauna.

Tanto los anfibios como los reptiles presentaron fluctuaciones inter-anales en la diversidad ( $H'$  y  $Recíp. \lambda$ ), siendo relativamente más bajas para los anfibios, a excepción de los años 1996 y 2010, donde incluso presentaron ligeramente una mayor diversidad (Fig. 6). Estas fluctuaciones se mantuvieron bajo ciertos límites (de baja a media diversidad), con una ligera tendencia al aumento hacia los años más recientes, siendo marcada para el grupo de los reptiles.

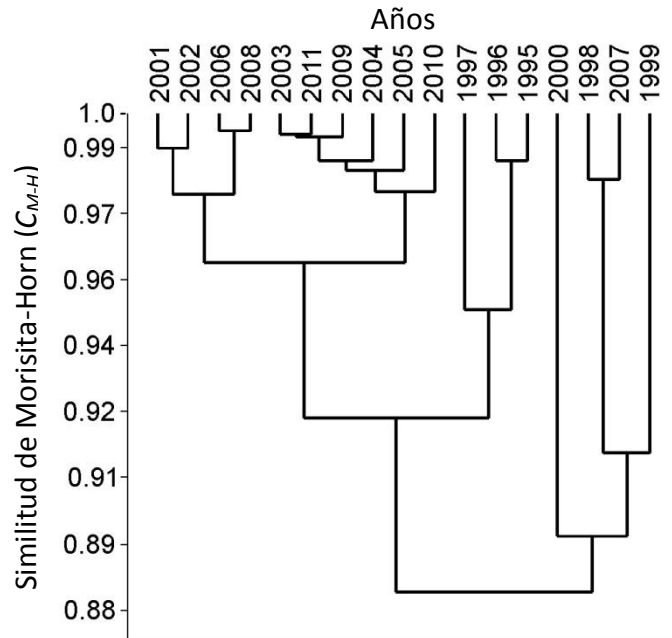


**Figura 6.-** Comportamiento inter-anual de la riqueza, densidad, diversidad de Shannon y Simpson por grupo taxonómico durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

#### *Similitud inter-anual de la herpetofauna y por grupo taxonómico*

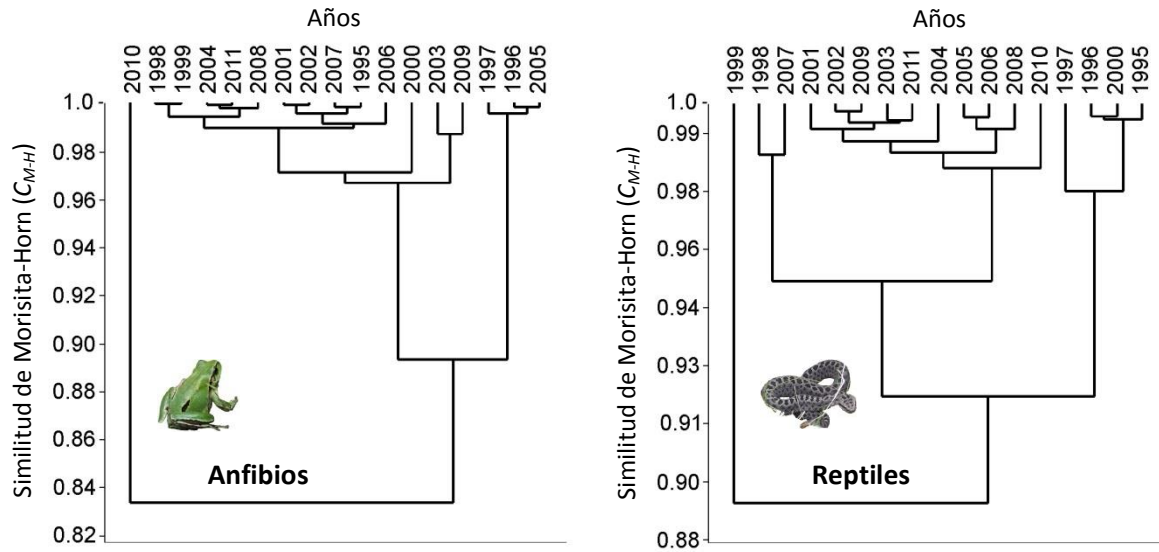
La comunidad herpetofaunística del bosque de Pino en la Sierra Nevada (Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan), presentó a lo largo de los 17 años una similitud alta, con valores por arriba de  $C_{M-H} = 0.88$  (Fig. 7). Por lo que a pesar de observarse cambios en la riqueza, densidad y diversidad, la similitud herpetofaunística inter-anual resultó ser alta, debido a que las especies dominantes de la comunidad (*S. grammicus* y *P. leprosa*) se mantuvieron con altas densidades en prácticamente todos los años y dado que el índice de Morisita-Horn es

sensible a los cambios en la densidad de las especies dominantes, no se vieron reflejadas las variaciones presentadas en la diversidad a través del tiempo.



**Figura 7.-** Dendrograma de similitud inter-anual para la herpetofauna durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México (criterio de agrupamiento: *UPGMA*).

Por grupo taxonómico, tanto los anfibios como los reptiles presentaron una alta similitud comunitaria inter-anual (Fig. 8). Sin embargo, los reptiles se agruparon de forma semejante al patrón obtenido por la herpetofauna (Fig. 7), dado que es el grupo que predominó en cuanto a densidad sobre los anfibios, definiendo a la comunidad herpetofaunística en general.



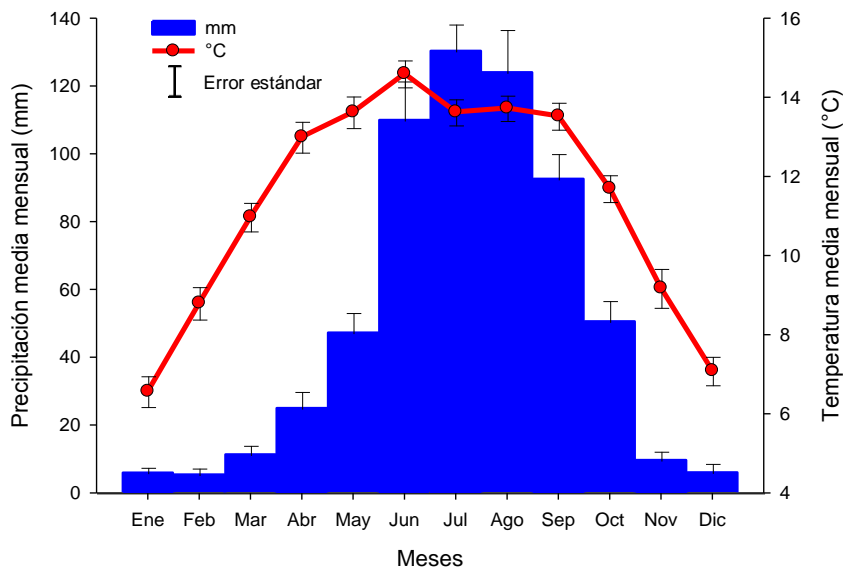
**Figura 8.-** Dendrograma de similitud inter-anual por grupo taxonómico durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México (criterio de agrupamiento: *UPGMA*).

### Análisis inter-anual de la diversidad y su relación con el clima

#### *Climograma de la Estación Meteorológica Ixtapaluca, Estado de México*

Antes de dar inicio a la evaluación de la relación del clima con la diversidad de la herpetofauna, se obtuvo el climograma a partir de la información generada por la Estación Meteorológica Ixtapaluca del Edo. de México (Fig. 9). En ella se expresa la precipitación y la temperatura promedio de forma mensual obtenida durante 29 años (1981-2009).

Se observaron dos patrones bien definidos, uno de noviembre a abril correspondiente a la época de secas, en la cual se observó un mínimo de precipitación así como de temperatura; obteniendo en los meses de mayo a octubre los mayores valores de precipitación como de temperatura. Por lo que se presentaron dos épocas climáticas, la correspondiente a lluvias que ocurre de mayo a octubre y la de secas que ocurre de noviembre a abril.



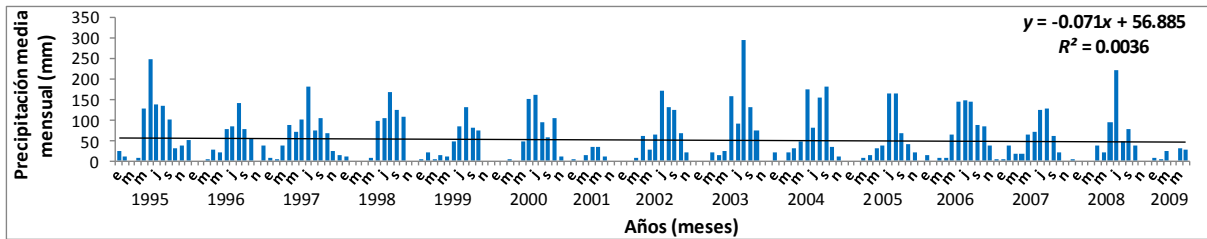
**Figura 9.-** Climograma para la Estación Meteorológica Ixtapaluca, Edo. de México con base en datos de 29 años (1981-2009).

#### *Comportamiento inter-anual de la precipitación y temperatura*

El análisis inter-anual de la precipitación y la temperatura ocurrida mensualmente durante el periodo de estudio (15 años), mostró una variabilidad en ambos elementos climáticos. Las máximas lluvias ocurrieron durante los años 1995, 1997, 2003, 2004 y 2006 y, las mínimas en

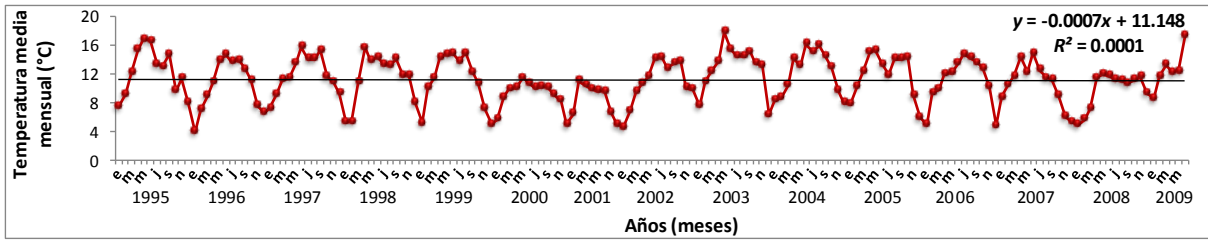
los años 1998, 1999 y 2000. No obstante, se percibe una ligera tendencia a la disminución a través del tiempo, que no es significativa (Fig. 10).

Cabe señalar que para el 2001 y 2009 la estación meteorológica proporcionó datos climáticos incompletos (6 meses), mientras que para los años 2010 y 2011 no se contaron con datos. Por lo que no se pudo establecer la precipitación y temperatura durante los años antes mencionados.



**Figura 10.-** Comportamiento inter-anual de la precipitación con base en datos de 15 años (1995-2009).

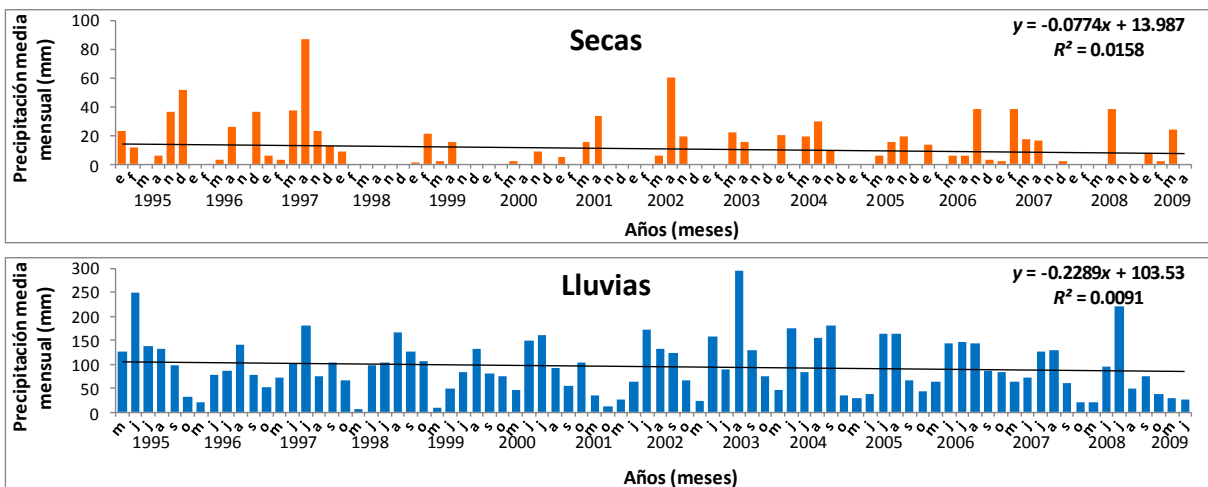
En lo que respecta a la temperatura (Fig. 11), al igual que en la precipitación se observan fluctuaciones periódicas a través del tiempo. Presentándose en los años 2000 y 2008 las temperaturas más bajas, mientras que los valores altos se presentaron en los años 1995, 1997 y 2003. Aunque si bien no se percibe alguna tendencia.



**Figura 11.-** Comportamiento inter-anual de la temperatura con base en datos de 15 años (1995-2009).

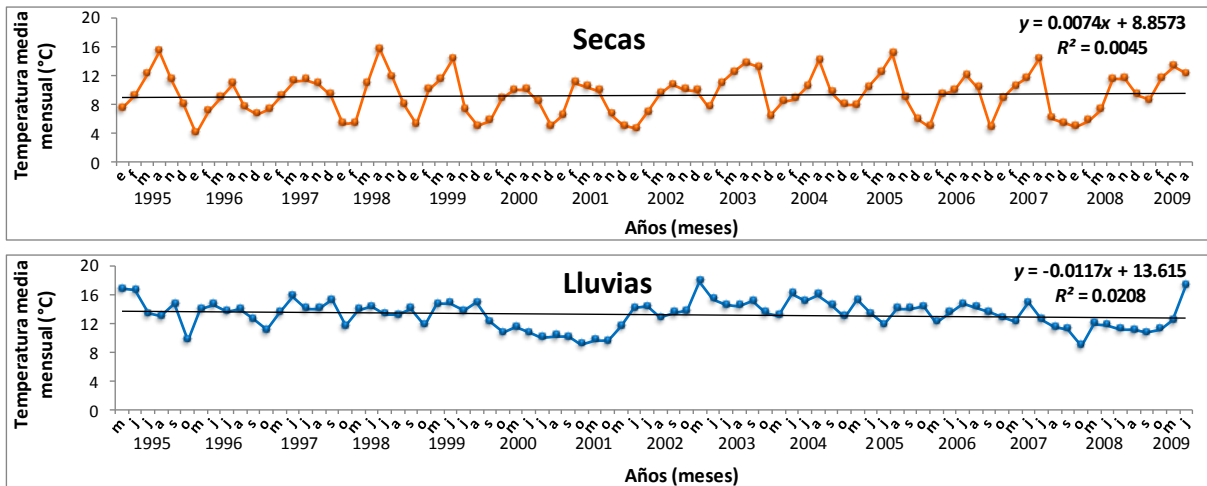
*Comportamiento inter-anual de la precipitación y temperatura por época climática*

Se presentaron dos épocas climáticas definidas, valores altos de temperatura y precipitación durante las lluvias y valores bajos en secas. Las fluctuaciones en la precipitación (Fig. 12) fueron más acentuadas durante la época de secas. Los años 1998, 1999, 2000 y 2008 fueron los más secos, presentándose una ligera tendencia de disminución hacia los años más recientes en ambas épocas climáticas, siendo más marcado en la época de secas.



**Figura 12.-** Comportamiento inter-anual de la precipitación durante la época de secas y lluvias con base en datos de 15 años (1995-2009).

Respecto a la temperatura se observó dos patrones, en la época de secas se percibió un ligero aumento hacia la actualidad, aunque no fue relevante. La temperatura más alta ocurrió en el año 1998, y las más bajas en el 2001-2002 y 2007-2008. En la época de lluvias se observó una tendencia de disminución, observándose en el año 2000 y 2007-2008 bajas temperaturas (Fig. 13).



**Figura 13.-** Comportamiento inter-anual de la temperatura durante la época de secas y lluvias con base en datos de 15 años (1995-2009).

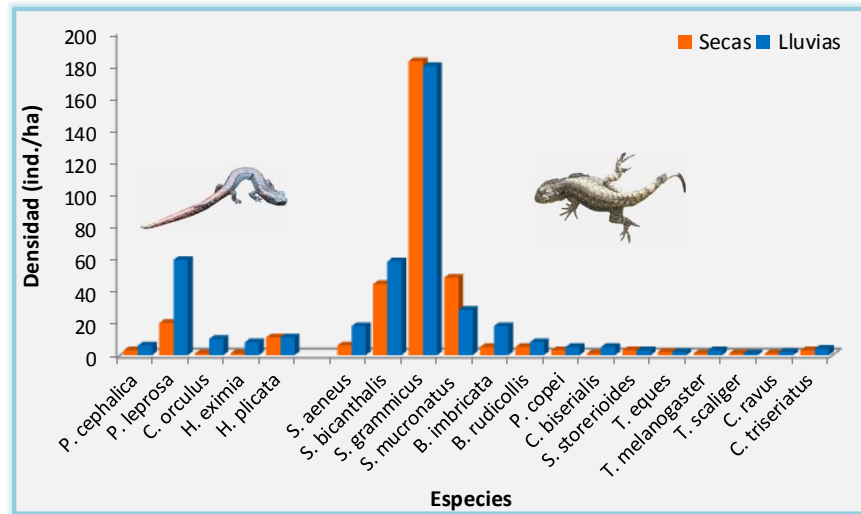
#### *Densidad específica intra-anual (por época climática)*

La densidad de especies obtenida durante los 17 años de estudio para cada época climática (Fig. 14), permitió observar un aumento en el número de individuos por hectárea para la mayoría de las especies en la época de lluvias. La mayoría de las especies de anfibios presentaron un aumento en su densidad durante las lluvias, principalmente la especie



*Pseudoeurycea leprosa*; mientras que algunas especies de reptiles (*S. grammicus* y *S. mucronatus*) presentaron un ligero aumento durante la época de secas.

Cabe mencionar que para las especies raras ocurrió un aumento no mayor de 4 ind./ha durante la época de lluvias, a excepción de dos especies de serpientes, cuyos valores se mantuvieron constantes (*Thamnophis eques* y *Thamnophis scaliger*).

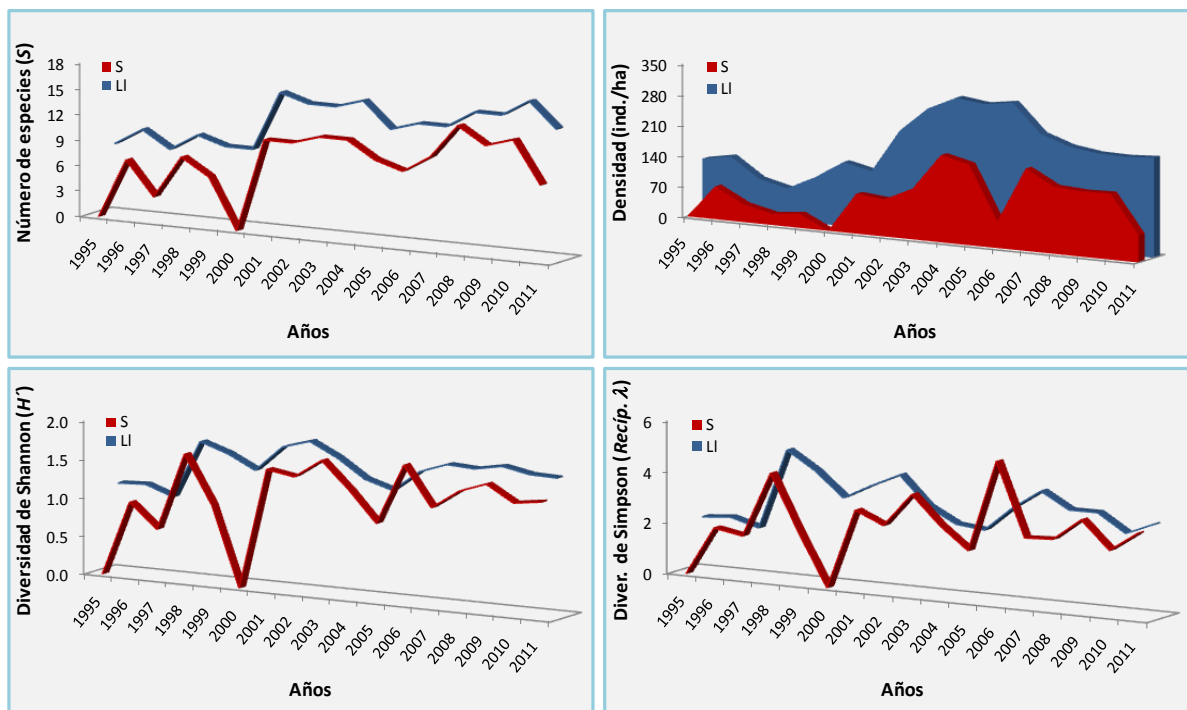


**Figura 14.-** Densidad específica de la herpetofauna por época climática durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

#### Diversidad inter-anual de la herpetofauna por época climática

En el análisis inter-anual de la herpetofauna por época climática, se observó los valores más altos de riqueza, densidad y diversidad basada en la uniformidad y dominancia ( $H'$  y  $Recíp. \lambda$ ) durante la época de lluvias para todos los años (Fig. 15). La riqueza en el 2008 se comportó

de manera muy similar en ambas épocas, mientras que la densidad más alta se presentó en el año 2006 durante la época de lluvias. La diversidad de Shannon y Simpson durante 1998, 2003 y 2006 presentaron un aumento durante la época de secas, siendo marcado para el 2006. Por lo que se puede decir que la comunidad fluctuó con base a la época climática (intra-anual) que se presentó año con año.



**Figura 15.-** Comportamiento inter-anual de la riqueza, densidad, diversidad de Shannon y Simpson de la herpetofauna por época climática durante 17 años de estudio, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

*Similitud intra-anual de la herpetofauna para cada año*

Con base al índice de Morisita-Horn, se encontró una alta similitud comunitaria intra-anual (secas y lluvias) para cada año estudiado, presentándose valores arriba de  $C_{M-H} = 0.72$ . No obstante, por grupo taxonómico, los anfibios presentaron una baja similitud entre ambas épocas climáticas durante los años 1996 y 1997 ( $C_{M-H} = 0.27$  y  $C_{M-H} = 0.01$  respectivamente); mientras que los reptiles presentaron una similitud alta entre ambas épocas de cada año analizado, a pesar de observarse los valores más altos de riqueza, densidad y diversidad en la época de lluvias. Esto es debido a que el índice de Morisita-Horn está fuertemente influenciado por la densidad de las especies más comunes, y por lo tanto no se detectaron diferencias en la diversidad entre las épocas climáticas de cada año.

*Similitud inter-anual de la herpetofauna y por grupo taxonómico para cada época climática*

Al analizar la similitud herpetofaunística entre los 17 años de estudio (inter-anual) por época climática de forma independiente, se encontró para la época de lluvias una similitud comunitaria alta con valores superiores a  $C_{M-H} = 0.86$ , y durante la época de secas se presentó una baja similitud ( $C_{M-H} = 0.48$ ) entre los años 1998 y 2006 con los años restantes.

Por grupo taxonómico, tanto anfibios como reptiles presentaron una alta similitud comunitaria inter-anual durante ambas épocas climáticas (superiores a  $C_{M-H} = 0.84$ ); a excepción de un caso reportado en la época de secas para ambos grupos, donde se reportó

una baja similitud comunitaria, que en el caso de los reptiles fue de  $C_{M-H} = 0.72$  y para los anfibios fue de  $C_{M-H} = 0.56$ .

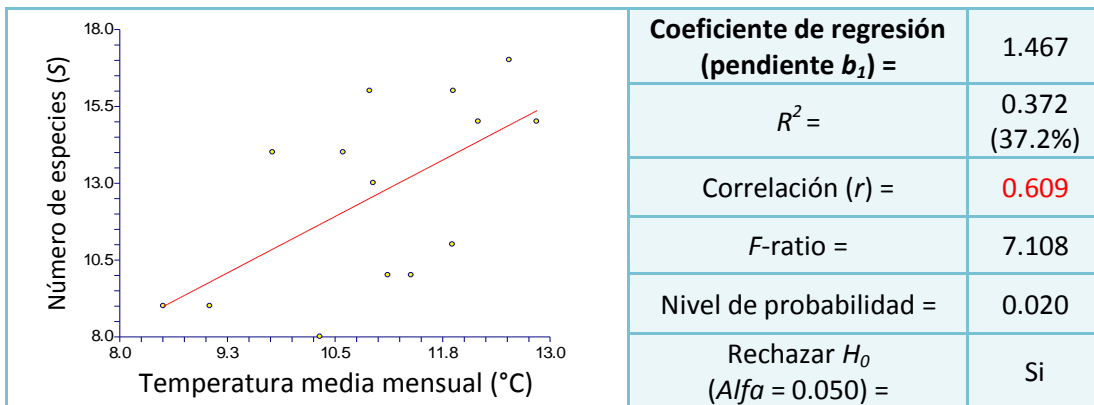
*Relación inter-anual de la diversidad con la precipitación y temperatura por época climática*

Inter-anualmente se presentaron dos épocas climáticas definidas (secas y lluvias), este patrón determinó la estructura comunitaria, ya que la diversidad ( $S$ ,  $D$ ,  $H'$  y  $Recíp. \lambda$ ) se comportó de acuerdo a la época (valores bajos en secas y altos en lluvias).

Al analizar inter-anualmente la relación de la diversidad herpetofaunística con los elementos climáticos (Tabla 5), se encontró una relación inversa entre la diversidad ( $H'$ ) y la precipitación ( $r = -0.50$ ,  $p = 0.062$ ). Esto posiblemente es debido a que existe un retraso en la respuesta de la riqueza, densidad y diversidad ( $H'$  y  $Recíp. \lambda$ ) herpetofaunística con respecto a la temperatura y precipitación (ver desfase temporal en Tabla 5). Se observó que la riqueza se correlacionó con la temperatura en una relación de  $r = 0.61$ ,  $p = 0.020$  y se obtuvo una dependencia de la riqueza con relación a la temperatura de  $R^2 = 0.37$  (Fig. 16).

**Tabla 5.-** Relación ( $r$ ) inter-anual de la diversidad herpetofaunística vs los elementos climáticos durante 15 años, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Diversidad	T (°C)	T (°C) Desfase 1 año	PP (mm)	PP (mm) Desfase 1 año
Riqueza ( $S$ )	-0.04	0.61	-0.37	0.08
Densidad (ind./ha)	0.28	0.39	0.17	0.19
Diversidad de Shannon ( $H'$ )	-0.18	0.26	-0.50	-0.04
Diversidad de Simpson (Recíp. $\lambda$ )	-0.29	-0.08	-0.42	-0.14



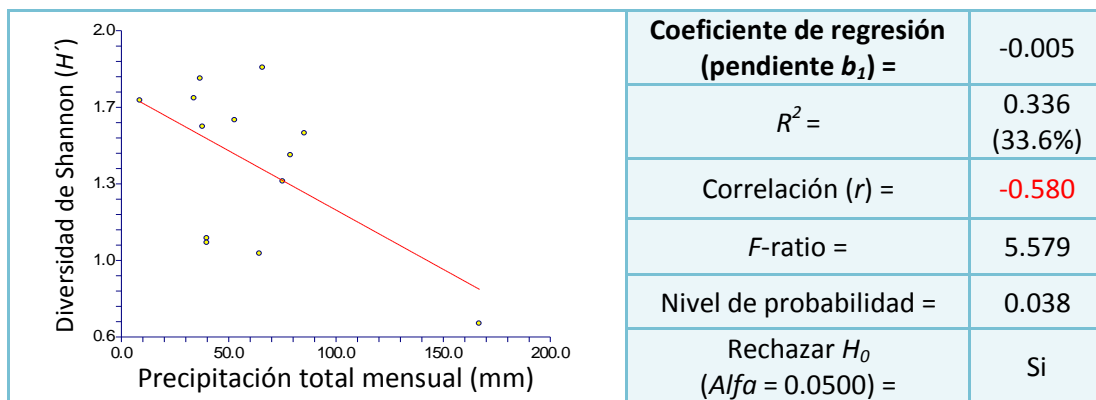
**Figura 16.-** Dependencia ( $R^2$ ) de la riqueza herpetofaunística vs la temperatura, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Al evaluar la relación de la diversidad herpetofaunística con los elementos climáticos inter-anualmente pero por época climática (Tabla 6), se observó un patrón similar en las correlaciones al análisis antes descrito. La relación de la diversidad ( $H'$ ) con la precipitación aumentó de forma inversa ( $r = -0.58$ ,  $p = 0.038$ , para la época de secas) y se observó una

dependencia de  $R^2 = 0.34$  (Fig. 17). La relación de la riqueza con la temperatura disminuyó en secas ( $r = 0.45$ ,  $p = 0.138$ ) y lluvias ( $r = 0.44$ ,  $p = 0.114$ ), manteniéndose las demás correlaciones del clima con la diversidad poco variables (Tabla 6).

**Tabla 6.-** Relación ( $r$ ) inter-anual de la diversidad herpetofaunística vs los elementos climáticos por época climática durante 15 años, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Diversidad	Época climática	T (°C)	T (°C) Desfase 1 año	PP (mm)	PP (mm) Desfase 1 año
Riqueza (S)	Secas	0.19	0.45	-0.50	-0.04
	Lluvias	-0.04	0.44	-0.36	0.09
Densidad (ind./ha)	Secas	0.36	0.15	-0.11	-0.10
	Lluvias	0.26	0.20	0.16	0.10
Diversidad de Shannon ( $H'$ )	Secas	0.14	0.25	-0.58	0.00
	Lluvias	-0.21	0.05	-0.36	-0.03
Diversidad de Simpson (Recíp. $\lambda$ )	Secas	0.15	0.04	-0.40	0.02
	Lluvias	-0.29	-0.16	-0.28	-0.07



**Figura 17.-** Dependencia ( $R^2$ ) de la diversidad ( $H'$ ) herpetofaunística vs la precipitación durante la época de secas de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

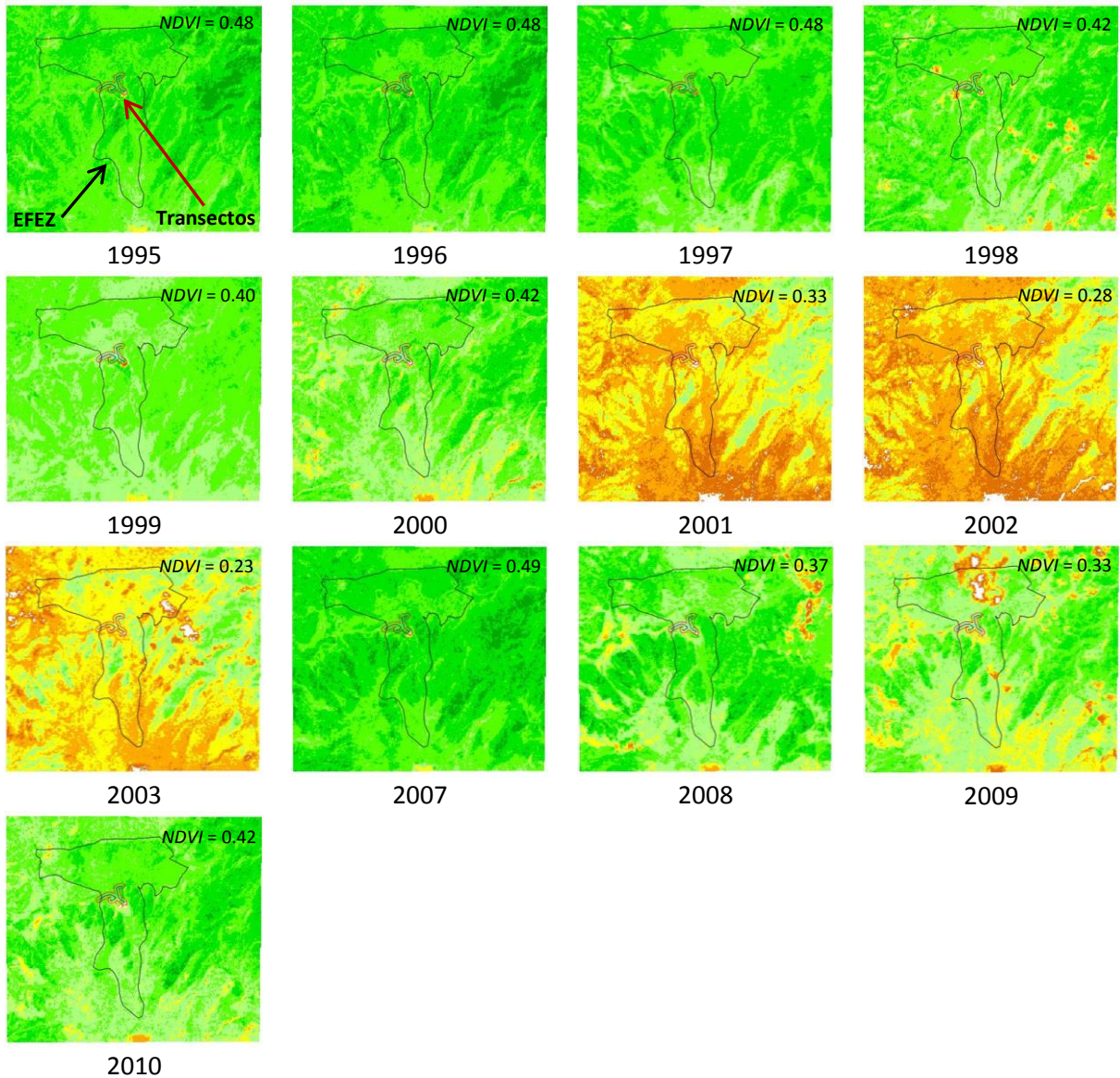
Tanto la temperatura como la precipitación influenciaron de forma diferencial a la diversidad herpetofaunística. Así, la temperatura conllevó a un aumento en la riqueza -por ser los anfibios y reptiles organismos ectotermos-, mientras que la precipitación llevó a una disminución de la diversidad de la herpetofauna con base a la uniformidad ( $H'$ ). Por lo que para la densidad y diversidad basada en la dominancia (*Recíp.  $\lambda$* ) probablemente otros factores están influenciándolos. Además se observa que la precipitación tiene una relación inmediata y la temperatura lo tuvo con un año de retraso.

### **Análisis inter-anual de la diversidad y su relación con la vegetación**

#### *Comportamiento inter-anual de la vegetación*

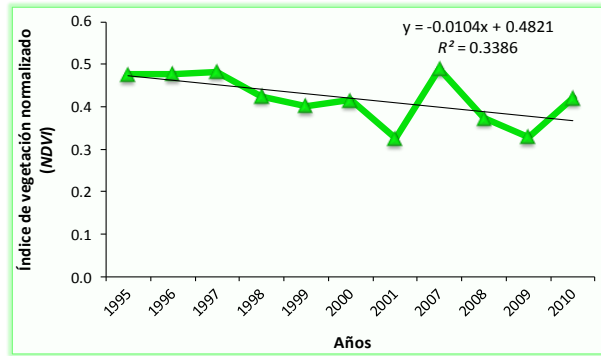
En el análisis cualitativo (ver imágenes en la figura 18) y gráfico del índice de vegetación normalizado (*NDVI*) a través del tiempo, se observa una disminución paulatina de los valores de *NDVI* (Fig. 19) hacia la actualidad en el área de estudio (transectos), fluctuando de *NDVI* = 0.48 a 0.40 en los primeros años y de *NDVI* = 0.42 a 0.33 en los últimos años. Esto sugiere que existe un cierto nivel de daño en la vegetación ligado a la deforestación (tala, quema, etc.), a una disminución en la precipitación o a otros posibles factores. Cabe mencionar que para los años 2002 y 2003 las imágenes fueron obtenidas de otro sensor satelital (*L7 SLC*), por lo que se obtuvieron valores de *NDVI* menores en comparación con los otros años y no fueron tomados en cuenta para el análisis gráfico. Asimismo, para el 2001,

2009 y 2010 no se obtuvieron las suficientes imágenes satelitales para hacer una idónea comparación inter-anual del *NDVI* gráficamente. Mientras que para el resto de los años no se contaron con imágenes.



**Figura 18.-** Serie de tiempo del *NDVI* durante 11 años, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

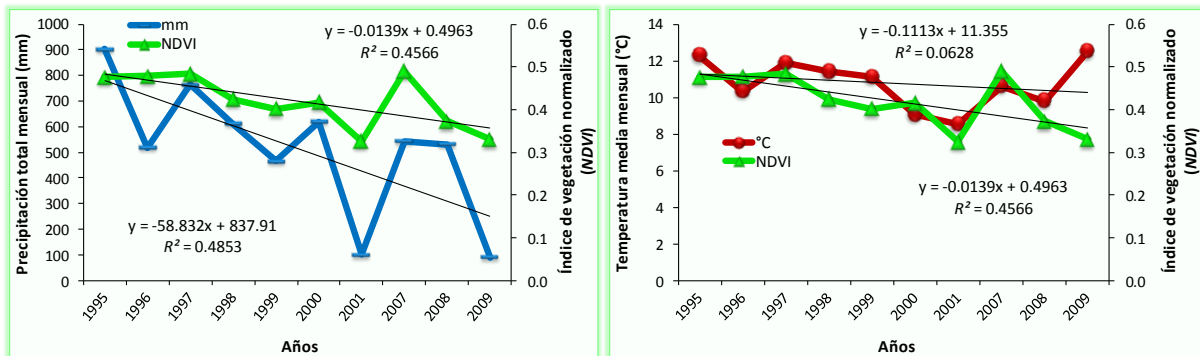




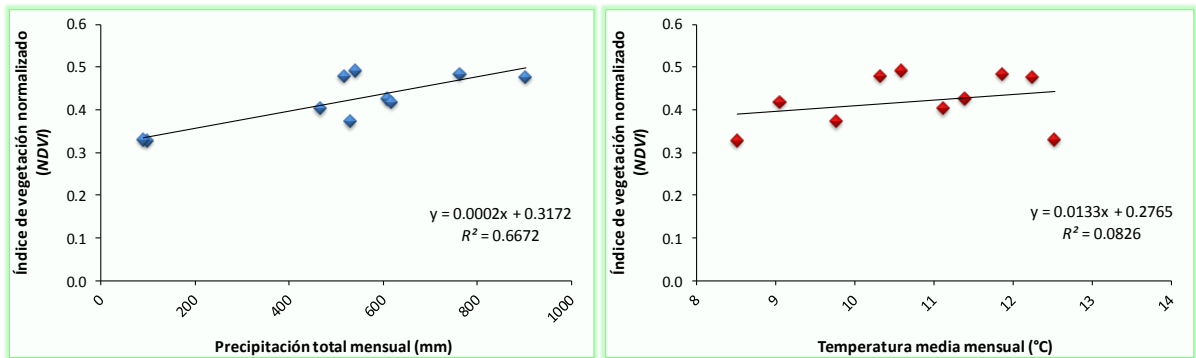
**Figura 19.-** Comportamiento inter-anual (11 años) del NDVI, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

*Relación inter-anual de la vegetación con el clima y diversidad de la herpetofauna*

Al relacionar inter-anualmente el índice de vegetación normalizado (NDVI) con los elementos climáticos (Fig. 20), se obtiene una relación alta ( $r = 0.82$ ,  $p = 0.004$ ) con la precipitación, mientras que con la temperatura no se observó una relación significativa ( $r = 0.29$ ,  $p = 0.419$ ). Lo que nos indica una dependencia de la vegetación respecto a la precipitación ( $R^2 = 0.67$ ) ya que ésta propicia el crecimiento de la misma (Fig. 21).



**Figura 20.-** Comparación inter-anual (10 años) del NDVI con la precipitación y temperatura, de un bosque templado en la Sierra Nevada.



**Figura 21.-** Dependencia ( $R^2$ ) del NDVI vs la precipitación y temperatura, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

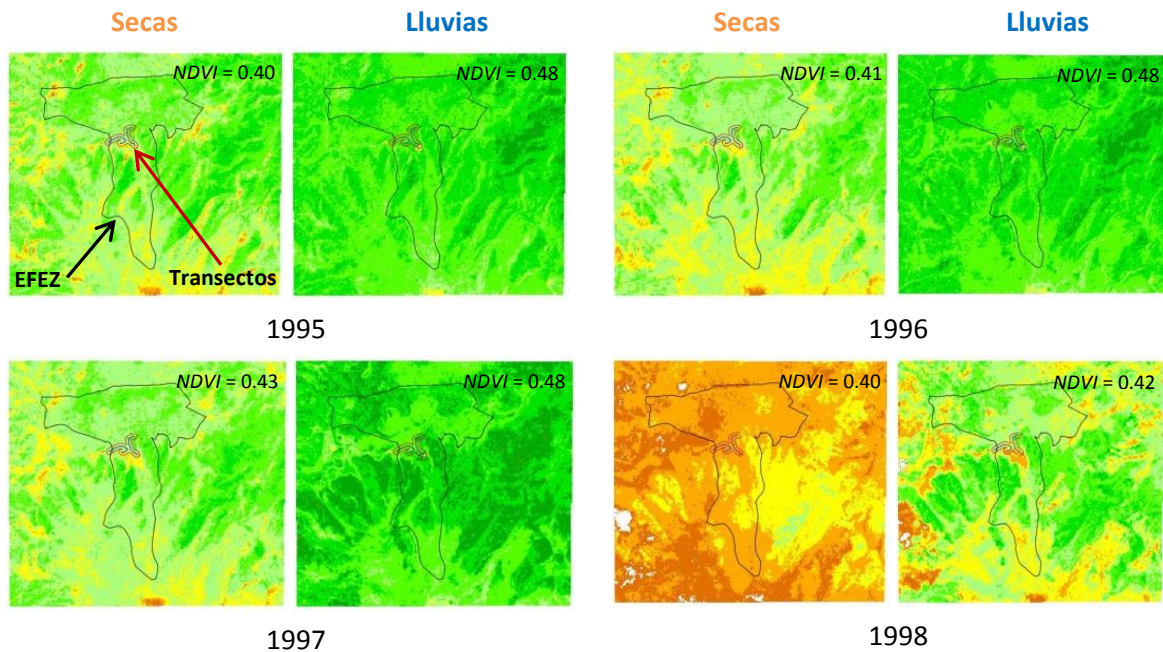
Al relacionar el NDVI con la diversidad herpetofaunística se observó una relación inversa, siendo más alta esta relación con la diversidad basada en la uniformidad ( $H'$ )  $r = -0.63$  y un valor medio de relación con la riqueza  $r = -0.52$ . Lo que indica una influencia de la vegetación sobre la diversidad pero de forma inversa (ver tabla 7).

**Tabla 7.-** Relación ( $r$ ) inter-anual de la diversidad herpetofaunística vs el NDVI durante 10 años, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

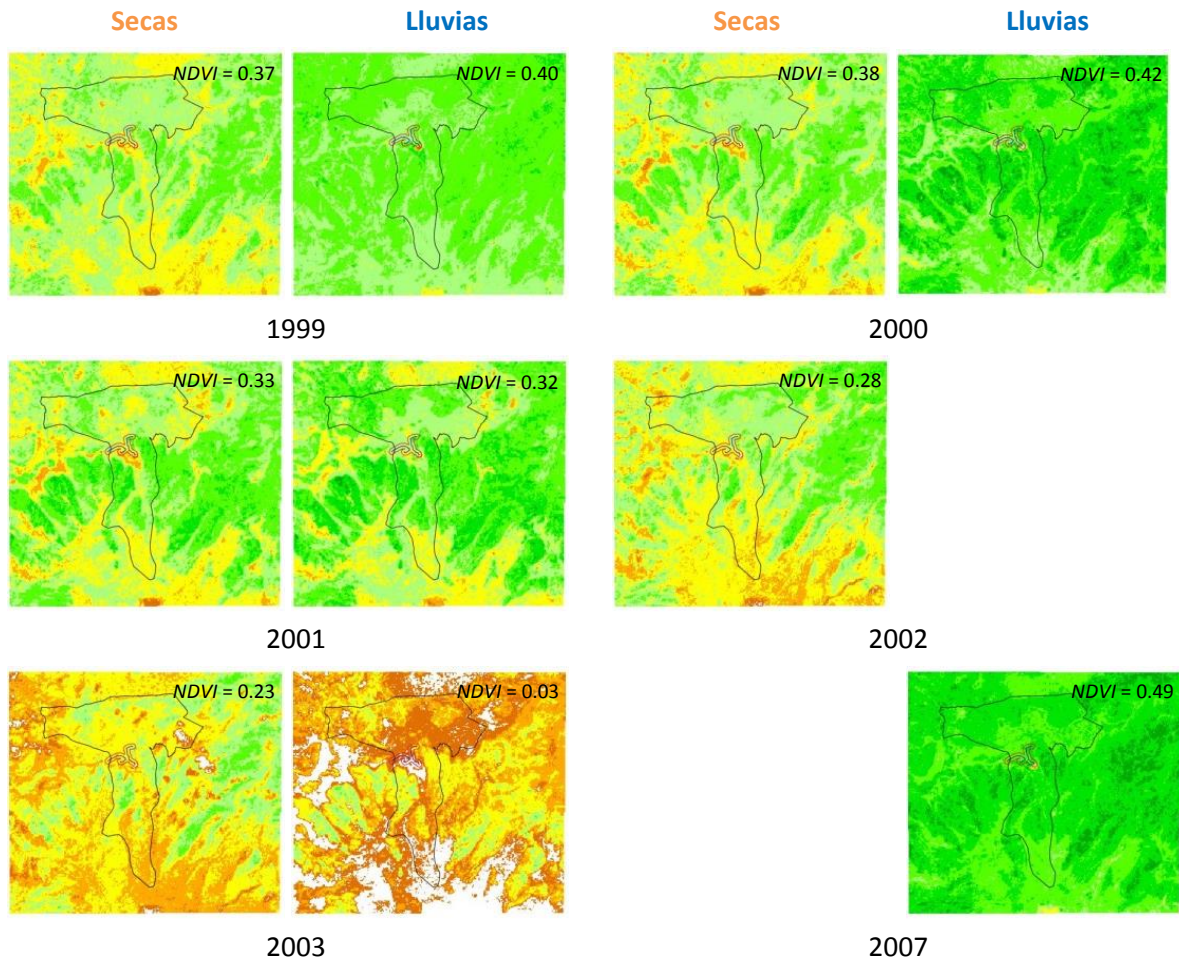
	Diversidad			
	Riqueza (S)	Densidad (D)	Diversidad de Shannon ( $H'$ )	Diversidad de Simpson (Recíp. $\lambda$ )
NDVI ( $r$ ) =	-0.52	-0.07	-0.63	-0.41
Prob. ( $p$ ) =	0.105	0.829	0.039	0.209

*Comportamiento inter-anual de la vegetación por época climática*

Al analizar el índice de vegetación normalizado (*NDVI*) cualitativa y gráficamente a través del tiempo por época climática (ver imágenes en la figura 22), se observan los valores de *NDVI* más altos durante la época de lluvias, aunque la diferencia intra-anual del *NDVI* (entre ambas épocas de cada año) no es marcada, se denota que la estacionalidad del clima influye en la dinámica estacional de la vegetación dado que el comportamiento de ésta guarda una estrecha relación con las variaciones estacionales de temperatura y precipitación (Manzo-Delgado, 2009). Cabe señalar que en la época de lluvias el valor del *NDVI* tendió a una ligera disminución hacia los años más recientes (Fig. 23).



**Figura 22.-** Serie de tiempo del *NDVI* durante 11 años por época climática, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.



**Figura 22.-** (continuación) Serie de tiempo del *NDVI* durante 11 años por época climática, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

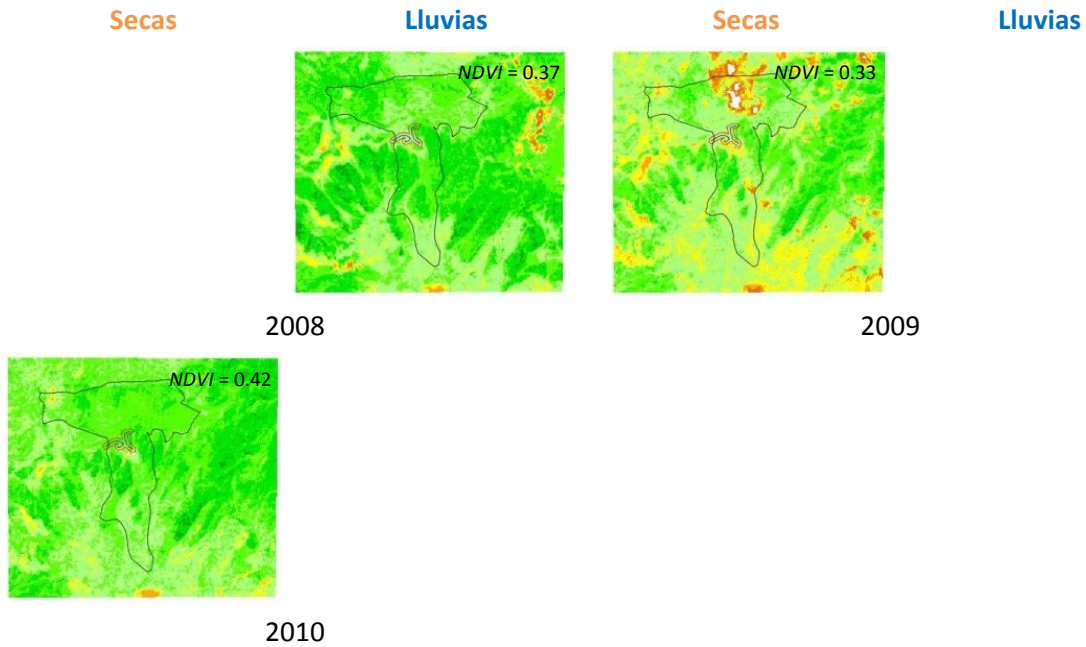


Figura 22.- (continuación) Serie de tiempo del *NDVI* durante 11 años por época climática, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

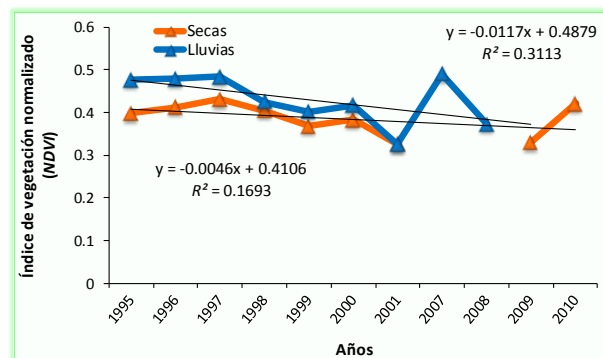
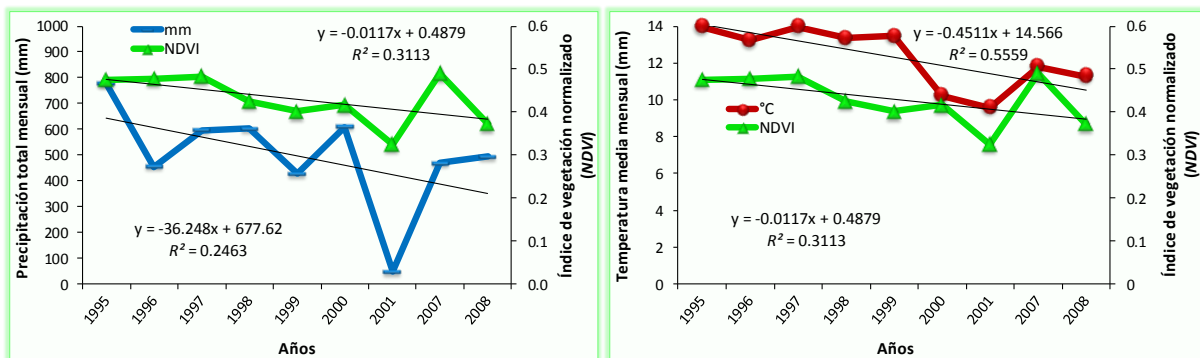


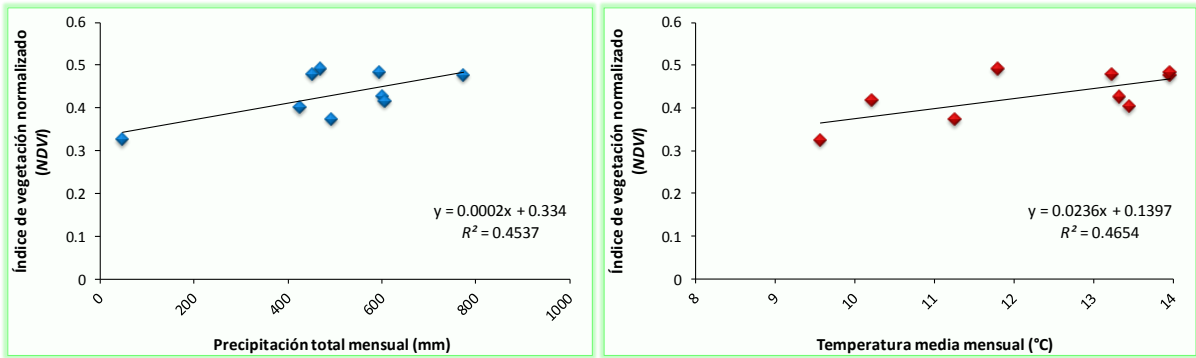
Figura 23.- Comportamiento inter-anual (11 años) del *NDVI* por época climática, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

*Relación inter-anual de la vegetación con el clima y diversidad de la herpetofauna por época climática*

Al efectuar un análisis de relación inter-anual del índice de vegetación normalizado (*NDVI*) con los elementos climáticos por época climática (Fig. 24), se encontró para la época de lluvias una alta relación con la precipitación ( $r = 0.67$ ,  $p = 0.047$ ) y con la temperatura ( $r = 0.68$ ,  $p = 0.043$ ). No obstante, a diferencia del análisis inter-anual (sin tomar en cuenta las épocas), la dependencia del *NDVI* con la precipitación disminuyó pero con la temperatura aumentó, con una  $R^2 = 0.45$  y de  $R^2 = 0.47$ , respectivamente (Fig. 25).

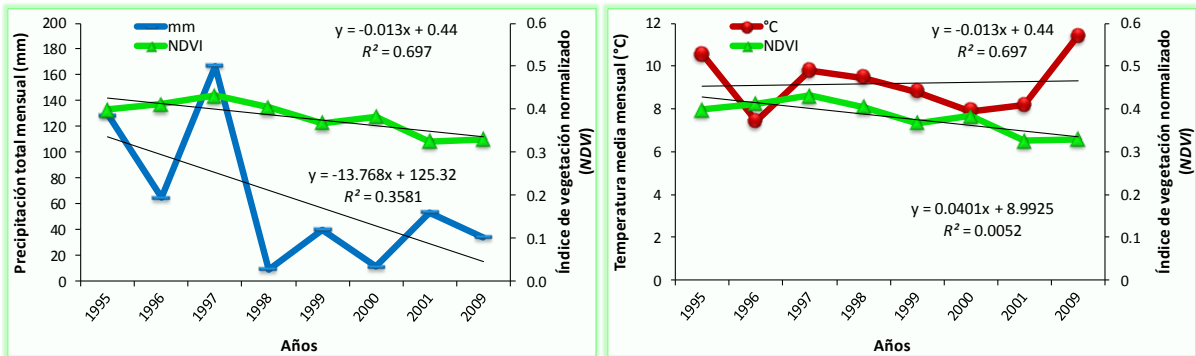


**Figura 24.-** Comparación inter-anual (nueve años) del *NDVI* con la precipitación y temperatura durante la época de lluvias, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

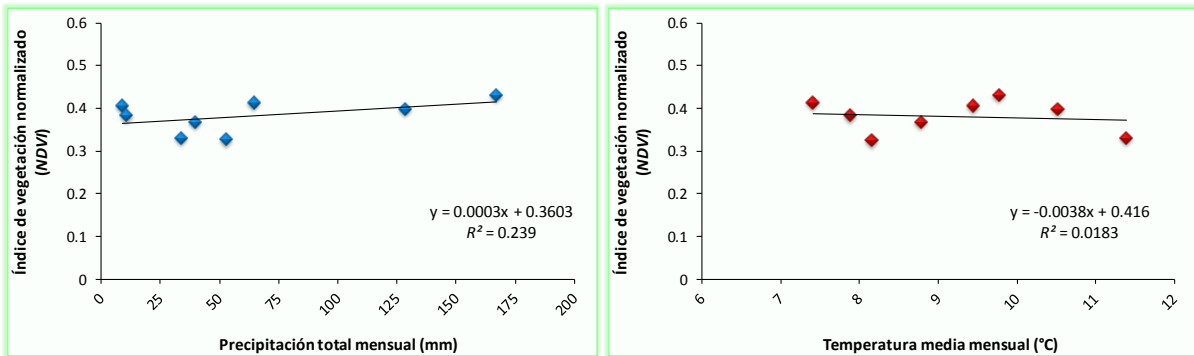


**Figura 25.-** Dependencia ( $R^2$ ) del *NDVI* vs la precipitación y temperatura durante la época de lluvias, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Para la época de secas (Fig. 26) se observó una disminución en la relación del *NDVI* con la precipitación ( $r = 0.49$ ,  $p = 0.219$ ), careciendo de relación con la temperatura ( $r = -0.14$ ,  $p = 0.750$ ). Por lo que no se encontró para esta época una dependencia del *NDVI* hacia la precipitación y temperatura (Fig. 27), con una  $R^2 = 0.24$  y de  $R^2 = 0.018$  respectivamente.



**Figura 26.-** Comparación inter-anual (ocho años) del *NDVI* con la precipitación y temperatura durante la época de secas, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.



**Figura 27.-** Dependencia ( $R^2$ ) del NDVI vs la precipitación y temperatura durante la época de secas, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Cabe señalar que en ambas épocas climáticas los valores de *NDVI*, precipitación y temperatura tendieron a una ligera disminución a través del tiempo. Sin embargo, ésta fue más acentuada para la precipitación durante la época de secas.

En las tablas 8 y 9 se observa la relación del *NDVI* con la diversidad herpetofaunística para ambas épocas climáticas, observándose una mayor relación -aunque inversa- durante las lluvias, siendo más alta la relación con la diversidad basada en la uniformidad ( $H'$ )  $r = -0.55$  y  $r = -0.64$ , para secas y lluvias respectivamente. Por lo que la variabilidad estacional de la vegetación influye en la diversidad herpetofaunística.



**Tabla 8.-** Relación ( $r$ ) inter-anual de la diversidad herpetofaunística vs el  $NDVI$  durante nueve años en la época de lluvias, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Diversidad				
Lluvias				
	Riqueza ( $S$ )	Densidad ( $D$ )	Diversidad de Shannon ( $H'$ )	Diversidad de Simpson ( $Recíp. \lambda$ )
$NDVI (r) =$	-0.59	-0.01	-0.64	-0.49
$Prob. (p) =$	0.096	0.988	0.065	0.185

**Tabla 9.-** Relación ( $r$ ) inter-anual de la diversidad herpetofaunística vs el  $NDVI$  durante ocho años en la época de secas, de un bosque templado en la Sierra Nevada de México.

Diversidad				
Secas				
	Riqueza ( $S$ )	Densidad ( $D$ )	Diversidad de Shannon ( $H'$ )	Diversidad de Simpson ( $Recíp. \lambda$ )
$NDVI (r) =$	-0.44	-0.29	-0.55	-0.43
$Prob. (p) =$	0.325	0.525	0.199	0.332

### Análisis general

Las 19 especies reportadas durante 17 años resultaron ser un número representativo de la herpetofauna del bosque de Pino en el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan (área de influencia de la Sierra Nevada) que se encuentra en un área boscosa a una altitud mayor de los 3,360 msnm, manteniendo una diversidad considerable, a pesar de estar en una zona de gran influencia de una de las metrópolis más grandes del planeta. Esto aunado a las actividades ilícitas de uso de los recursos boscosos y fauna, las cuales han generado perturbaciones sobre la misma que en las últimas décadas se han incrementado (Sánchez-González y López-Mata, 2003). De las investigaciones sobre riqueza herpetofaunística en áreas boscosas, Renken *et al.* (2004) reportaron para diferentes tipos de bosques un número inferior al obtenido en la presente investigación (13 especies) y Hernández (1992) encontró para bosque de pino-encino 26 especies; mientras que en trabajos como el de Sánchez-Trejo *et al.* (1997) y Sánchez-Trejo *et al.* (2009) registraron 10 y 24 especies de anfibios y reptiles para un hábitat de humedal y de selva alta perennifolia, respectivamente. Por lo que la riqueza encontrada en el presente estudio fue alta en relación a los estudios descritos anteriormente. Sin embargo, la riqueza resultó ser baja con respecto a otros trabajos realizados en diversos tipos de bosques, como los reportados por Andreone *et al.* (2003), Venegas (2005), Loehle *et al.* (2005), Ramírez-Bautista (1999), Ramanamanjato *et al.* (2002) y

Santos-Barrera *et al.* (2008); seguramente debido a la ubicación y altitud a la que se encuentra el área de estudio. Lo anterior muestra la relevancia de su conservación, dada la alta riqueza específica reportada.

La clase Reptilia siempre fue dominante sobre la clase Amphibia; este mismo patrón se reportó en los trabajos anteriormente citados, lo que corrobora la conspicuidad y la adaptabilidad de los primeros y la rareza de ciertas especies en los últimos. En años recientes se ha registrado un fuerte declive en las poblaciones de anfibios (Parra-Olea *et al.*, 1999; Alford y Richards, 1999). Al respecto, Wake y Vredenburg (2008) mencionan que los anfibios están sufriendo una de las peores crisis de extinción. Su tasa de extinción supera a la de otros vertebrados (Collins y Storfer, 2003; Young *et al.*, 2004). De acuerdo con Parra-Olea *et al.* (2014) y Parra-Olea *et al.* (1999) la deforestación y transformación de la vegetación es el factor más importante para la disminución de las poblaciones de anfibios mexicanos.

Por otra parte, se ha observado que los bosques templados llegan a albergar un número considerable de especies de reptiles comparado con otras zonas del país (Canseco-Márquez *et al.*, 2004; Flores-Villela y Martínez-Salazar, 2009), lo cual puede deberse a que los ambientes templados presentan los requerimientos bióticos y abióticos necesarios para albergar una alta riqueza de especies, así como de endemismos (Wilson *et al.*, 2010).

La dominancia de la clase Reptilia puede deberse a la perturbación que se está dando en la zona de estudio (Arriaga *et al.*, 2000; De la Lanza y García-Calderón, 2002; Cabrales, 2007), debido a que las perturbaciones conducen a una mayor variedad de microhábitats, aumentando con ello la cantidad de microhábitats disponibles y por tanto el número de recursos espaciales potenciales para ciertas especies (Ortega, 2000, Gutiérrez y Sánchez-Trejo, 1990; Lemos-Espinal y Amaya-Elías, 1985), aunado a que los reptiles tienden a ser más tolerantes a las variaciones de los factores abióticos en este tipo de ambiente (Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012).

A pesar de presentar los Amphibia menor número de familias, géneros y especies, la presencia de incluso un orden más que los Reptilia habla por sí sola de la notable aportación a la diversidad que hace este grupo, por lo que la relevancia y aporte de la Sierra Nevada (Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan) a la composición taxonómica se torna aún más notable.

El hecho de que la Familia Plethodontidae presentara más géneros y especies en relación a las demás familias de anfibios, habla del gran aporte en composición taxonómica que hace la Sierra Nevada a la Cuenca de México, ya que ésta familia es considerada una de las más diversas en el mundo y en el país por presentar una alta riqueza de especies (Parra-Olea *et al.*, 2005; García-Vázquez *et al.*, 2006; Parra-Olea *et al.*, 2014). Asimismo, el Eje Neovolcánico

Transversal es considerado una región fisiográfica muy importante en el aporte de especies de pletodóntidos del país (Flores-Villela, 1993; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004).

Sin embargo, no por ello deja de ser relevante la protección de las especies de la Familia Hylidae, ya que en ésta se presenta una especie endémica a la Cuenca de México (*Hyla plicata*), reportada en este trabajo. Aunado a que en más de la mitad de los trabajos realizados en áreas boscosas de gran altitud, no se reportaron especies endémicas y por otro lado, dicha especie resultó estar amenazada de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), siendo relevante la protección de ésta especie.

Dentro de la clase Reptilia, el suborden Serpentes (víboras y culebras) no solo presentó el mismo número de especies que el suborden Lacertilia (lagartijas), sino además el mayor número de géneros (cuatro), a pesar de considerarse este suborden con una alta rareza. Lo que demuestra, al igual que los Amphibia, la importancia de la Sierra Nevada en el aporte de especies con respecto a otras zonas, esto debido a que forma parte del Eje Neovolcánico Transversal, el cual es considerado como la región con mayor diversidad herpetofaunística (Spencer y Redmond, 1997; Valiente-Banuet *et al.*, 2009; Granados-Sánchez *et al.*, 2009; Flores-Villela, 1991).

Lo dicho anteriormente indica que la Sierra Nevada presenta una gran riqueza y endemidad herpetofaunística de las áreas boscosas de gran altitud de la Cuenca de México, debido a su

posición geográfica dentro del Eje Neovolcánico Transversal, encontrándose dentro de éste último gran parte de las especies endémicas del país (Flores-Villela, 1991) y especies con algún tipo de categoría de riesgo que debe ser atendido (Flores-Villela y Gerez, 1994).

Por otra parte, el género *Sceloporus*, dentro de la Familia Phrynosomatidae, presentó más especies que las registradas para otras familias y géneros (tanto de anfibios como de reptiles), lo que indica el gran éxito que presentan dado su generalismo y por tanto su adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales. Ortega *et al.* (1982) mencionan que la distribución y la frecuencia de ocurrencia de especies de lacertilios son principalmente el resultado de la distribución espacial y la frecuencia de ocurrencia de algunos de los microhábitats o sustratos para dichas especies, es decir, que estas lagartijas no presentan especificidad de hábitat pero sí presentan una especificidad de microhábitat, por lo que se le puede encontrar en cualquier hábitat a condición de que el sustrato al que se limitan esté presente. De igual manera, Macip-Ríos y Muñoz-Alonso (2008) determinaron para distintos tipos de bosques que el género *Sceloporus* presenta una elevada amplitud del nicho espacial, es decir, que explota una mayor cantidad de recursos, por lo que se presenta en mayor cantidad.

En cuanto a la densidad herpetológica, se denotó la dominancia de los Reptilia sobre los Amphibia, en donde éstos últimos son considerados más vulnerables a los cambios ambientales y la mayoría como especies raras, como lo corroboran Vargas y Bolaños (1999),

quienes argumentan que los anfibios son sensibles a los cambios en el ambiente, por lo que su presencia es menor en comparación con los reptiles que presentan mayor capacidad de adaptación a las variaciones climáticas. Asimismo, la baja densidad de los anfibios puede deberse a que éstos tienden a preferir zonas con más humedad, contrario a los reptiles que no requieren tanto de zonas húmedas, por lo que se les puede encontrar en más de un tipo de microhábitat (Campbell, 1998).

Nuevamente el suborden Lacertilia fue el que más individuos por hectárea presentó, lo que señala el amplio generalismo que estas especies despliegan, ya que pueden invadir refugios o microhábitats que se encuentran dentro y en la periferia del tipo de vegetación boscosa, como lo mencionan Macip-Ríos y Muñoz-Alonso (2008) respecto a las lagartijas en fragmentos de bosque primario y cafetales. Este patrón ha sido encontrado en algunos trabajos como los de Arias (2004), Carmona (2005), Sánchez-Trejo *et al.* (2009), Casas-Andréu *et al.* (1996), Vargas (1998), Sánchez-Trejo *et al.* (1997) y Villar (2007), quienes han reportado una elevada abundancia de los lacertilios. Asimismo, la densidad de las lagartijas puede estar influida por el tipo de hábitos, dieta y microhábitats a utilizar (Vitt y Caldwell, 2009), y la alta densidad encontrada para este suborden es el reflejo de una alta explotación de tipos de microhábitats disponibles en el medio, ya que si el número de microhábitats es alto, también lo será la densidad de dichas especies (Cruz-Elizalde y Ramírez-Bautista, 2012).

Asimismo, las culebras y víboras (Serpentes), fueron las que menor número de individuos presentaron a pesar de mostrar la misma riqueza que los Lacertilia, convirtiéndolas en especies raras que deben ser atendidas. Este patrón es consistente con la mayoría de los estudios analizados (Ryan *et al.*, 2002; Urbina-Cardona y Reynoso, 2005). Esta baja densidad de serpientes es debido, en mayor medida, a que las poblaciones en distintos ambientes, como los templados, son bajas de forma natural o tienen hábitos hipogeos (Vitt y Caldwell, 2009). Asimismo, los lacertilios presentan una mayor adaptabilidad a la perturbación, mientras que las serpientes y anfibios son los grupos más afectados, siendo el impacto específico a ciertas especies y no a toda la comunidad, ya que cada una responde de manera diferente (Flores, 2006).

### **Análisis inter-anual**

A lo largo de los 17 años de investigación no hubo cambios inter-anales en la composición taxonómica de la herpetofauna, al reportar continuamente las mismas familias y géneros año con año. Aunque si bien, se observaron variaciones en la riqueza y diversidad herpetofaunística. Esta variación fue presentada también por la densidad aunque con una mayor fluctuación, lo que conlleva a definir un comportamiento diferencial de la diversidad. Desafortunadamente no se cuenta con algún trabajo hasta ahora que haya hecho semejantes investigaciones a largo plazo; sin embargo, para estudios a mediano plazo, Dodd (1992) encontró variaciones en la riqueza y diversidad de la herpetofauna entre los años que



muestreó, aunque las variaciones no presentaron diferencias significativas. Andreone *et al.* (2003) y Gillespie *et al.* (2005) encontraron variaciones en la riqueza herpetofaunística entre los años que analizaron. Hanlin *et al.* (2000) y Filippi y Luiselli (2006) encontraron diferencias en la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios y de serpientes respectivamente, entre los periodos que muestrearon.

El índice de similitud de Morisita-Horn indicó que existe una alta similitud inter-anual en la comunidad herpetofaunística del bosque de Pino en la Sierra Nevada a lo largo de los 17 años de estudio, a pesar de observarse variaciones entre dos grupos de años: uno correspondiente a los primeros 7 años de estudio (1995-2001) y el otro perteneciente a los últimos años (2002-2011). Esto se debe a que este índice es sensible a los cambios en la densidad de las especies dominantes. Por lo que se observó que la comunidad herpetológica presentó una variación inter-anual, mostrando así a largo plazo una dinámica temporal.

No obstante, por grupo taxonómico tanto los anfibios como los reptiles presentaron una similitud inter-anual alta. Sin embargo, los reptiles se agruparon como la herpetofauna en general, confirmando con ello la dominancia de este grupo.

En cuanto a la densidad específica inter-anual, se observó una constante dominancia de las especies *S. grammicus* y *P. leprosa* para el grupo de los reptiles y anfibios respectivamente, en todos los años analizados. Al igual que para las especies raras, las cuales obtuvieron

valores de densidad mínimos a lo largo de los 17 años. Lo que corrobora una estructura herpetofaunística específica, debido a la alta similitud entre todos los años de estudio.

La dominancia inter-anual por parte de la especie *S. grammicus*, se debe a su generalismo y hábitos oportunistas (Gutiérrez y Sánchez-Trejo, 1990; Leyte-Manrique *et al.*, 2006; Durán, 2012), que hacen de ella una especie más adaptable a las condiciones cambiantes del ambiente, al emplear una gran variedad de los microhábitats disponibles y de usar de forma oportunista el alimento disponible, lo que conlleva a que sea una especie muy abundante respecto a las demás. Esto ha sido demostrado por Lemos-Espinal y Amaya-Elías (1985), quienes mencionan que esta especie presenta una plasticidad ecológica, dado que aprovecha más número de microhábitats, se le puede observar durante todo el año con una frecuencia alta y con un intervalo de distribución altitudinal más amplio; y por Sánchez-Trejo *et al.* (1997) quienes determinaron que esta especie resultó ser la más ampliamente distribuida, frecuente y con mayor abundancia por microhábitat, considerándola como una población dominante.

De acuerdo con Magurran (1989) la dominancia puede ser un indicador de perturbaciones en el ambiente, las cuales han ido en aumento en los últimos años en la zona de estudio de acuerdo con Arriaga *et al.* (2000), De la Lanza y García-Calderón (2002) y Cabrales (2007). Por tanto, la dominancia de *S. grammicus* también puede ser debida a las perturbaciones que se han observado en el lugar (tala, incendios, entre otros), ya que es una especie tolerante

ante las mismas e incluso se puede ver favorecida. Lemos-Espinal y Amaya-Elías (1986) mencionan que gracias a su gran plasticidad ecológica, sustentada en su abundancia, su amplia distribución y su adaptabilidad a múltiples condiciones ambientales, *S. grammicus* es de las lagartijas que han logrado hacer de la coexistencia con el hombre todo un éxito, siendo común observarles en las cercanías de las viviendas de zonas rurales y en las grandes urbes como la ciudad de México. Asimismo, *S. grammicus*, es un habitante típico de los ecosistemas forestales de clima templado del centro de la República que puede llegar a encontrarse hasta altitudes francamente hostiles para organismos ectotérmicos.

Algunas perturbaciones pueden promover más tipos de microhábitats disponibles para ciertas especies, tales como *P. leprosa*, que al quedar troncos tirados y éstos al empezar el proceso de putrefacción, se convierten en microhábitats idóneos para el pletodóntido, ya que se especializa en el uso de sustratos húmedos. Elosa (1990) menciona que la presencia de un mayor número de organismos de *P. leprosa*, probablemente es debido a que los intervalos de humedad de los bosques templados permiten que un mayor número de recursos espaciales potenciales (microhábitats) presenten condiciones favorables para la presencia de dicha especie, aunado a que estos organismos tienden a concentrarse y a depender de lugares fríos, húmedos y protegidos de la luz directa del sol (Parra-Olea *et al.*, 1999).

La dominancia de *P. leprosa* dentro del grupo de los anfibios, indica que no necesariamente una especie generalista siempre es exitosa, ya que otras especies también lo son dependiendo de las circunstancias que rodean al hábitat. Ribera (1995) menciona que una alta diversidad puede ser debida a la gran variedad de microambientes presentes en una zona.

Esta especie es considerada una de las más abundantes y ampliamente distribuidas, encontrándose en las montañas de la parte central y este del Eje Neovolcánico Transversal (Vega y Álvarez, 1992) y habitando principalmente en áreas cubiertas por bosques de pino (Ramírez-Bautista *et al.*, 1991; Uribe-Peña *et al.*, 1999).

### **Análisis intra-anual**

Se observó un aumento de individuos determinado por la época climática, ya que durante las lluvias aumentó la densidad en la mayoría de las especies, en particular para el grupo de los anfibios, sucediendo lo mismo solo para ciertas especies de reptiles (*S. grammicus* y *S. mucronatus*). Cabe señalar que para las especies raras ocurrió un mínimo aumento en el número de individuos durante la época de lluvias (a excepción de dos especies de serpientes). El incremento en la diversidad en época de lluvias es debido a que los recursos tróficos aumentan durante dicha época (Gutiérrez y Sánchez-Trejo, 1990), y para maximizar el uso de los recursos tróficos disponibles, ocurren la mayoría de los nacimientos de la

herpetofauna en esta época. Situación por la cual, fue durante la época de lluvias cuando se presentó la mayor riqueza, densidad y por consiguiente diversidad herpetofaunística.

Con base en lo anterior, se puede observar un patrón intra-anual, tanto para los elementos climáticos como para la diversidad, en donde los valores máximos de ambas se presentaron durante la época de lluvias. Dicho patrón definió la estructura comunitaria dentro de cada año, ya que dependiendo de la fluctuación intra-anual del clima, se comportó la diversidad (valores bajos en secas y altos en lluvias). Por lo que la diversidad de la herpetofauna de bosques templados de gran altitud de la Sierra Nevada, es periódica intra-anualmente (presentando un patrón estacional) ya que fluctuó en base a cada época climática.

No obstante, por grupo taxonómico, los anfibios presentaron una baja similitud intra-anual posiblemente debido a los fenómenos meteorológicos ocurridos en cierto periodo. Como lo fue el fenómeno del ENOS (El Niño) durante el periodo 1997-1998, el cual ocasionó una intensa sequía provocando múltiples incendios forestales en el área (Manzo-Delgado, 2009; Ayala, 2013), y dada su gran sensibilidad a los cambios ambientales (Suazo y Alvarado, 2004) probablemente se vieron más influenciados que los reptiles. Dicha vulnerabilidad de los anfibios se ha demostrado ampliamente en el mundo, en particular para aquellos de zonas tropicales y desérticas, estando los de zonas boscosas posiblemente menos afectados. Christian *et al.* (1988) indican que los anfibios de zonas bajas tienen un intervalo más pequeño de tolerancia a la temperatura que las especies de zonas altas, debido a la ausencia

de una amplia gama de temperaturas ambientales en las zonas bajas, al presentar una mayor estabilidad climática (dado que no existen variaciones bruscas de temperatura) donde el entorno es constante (Pianka, 1966; Rohde, 1978; Krebs, 1986; Begon *et al.*, 1988; Rosenzweig, 1992; Sánchez-Cordero, 2001); por lo tanto los anfibios de las zonas bajas no toleran un intervalo amplio de temperaturas ambientales. Por lo que se puede inferir que hay una influencia diferencial de los elementos climáticos por grupo taxonómico. Sin embargo, estas variaciones no llevaron a un cambio en la estructura de la comunidad herpetológica. El efecto diferencial puede ser porque los bosques montanos presentan un entorno más severo, ya que las condiciones climáticas son más drásticas y existe una mayor presión selectiva en los anfibios por la rigurosidad climática y por el efecto de factores físicos del entorno. Esto es respaldado por la limitada plasticidad fisiológica de los anfibios y la limitación que las condiciones climáticas extremas imponen sobre la disponibilidad de lugares reproductivos, el tiempo de desarrollo de los embriones, entre los más importantes (Moore, 1939; Zweifel, 1968; Lynch y Duellman, 1997; Köhler, 2000).

### **Análisis clima - vegetación**

Se observó una relación inter-anual alta entre el clima y la vegetación, en particular la precipitación con el *NDVI*, mientras que con la temperatura no se observó. Esto se debió a que la vegetación está relacionada directamente con la precipitación (Manzo-Delgado, 2009). Asimismo, el índice de vegetación normalizado, al igual que la precipitación y temperatura,

permitió observar un patrón intra-anual en el comportamiento de la vegetación, ocasionado por las dos épocas climáticas. Este patrón intra-anual que presentó la vegetación se debe a que guarda una estrecha relación con las variaciones estacionales de la precipitación y temperatura, ya que el *NDVI* registró los valores más altos durante la época de lluvias, debido al desarrollo y a la producción de la biomasa foliar de la vegetación, mientras que en la época de secas presentó valores bajos debido a la senescencia y caída del follaje (Manzo-Delgado, 2009). Por lo tanto existe una dependencia de la vegetación con respecto a la precipitación, que en última instancia influyó a la herpetofauna; lo cual se corrobora al observarse una relación, aunque de forma inversa, entre el *NDVI* y la diversidad herpetofaunística (misma relación encontrada con la precipitación). Esto es debido a que en la época de lluvias -donde existe mayor disponibilidad de recursos- la especie oportunista *S. grammicus* aumenta su densidad explotando la variedad de recursos tróficos (Gutiérrez y Sánchez-Trejo, 1986). Lo que indica que el aumento de la precipitación influencia a la vegetación propiciando su crecimiento, y ésta a su vez genera más disponibilidad de recursos tróficos que conlleva a un aumento de la dominancia de ciertas especies (debido al incremento en la densidad de las especies generalistas) y a una consecuente disminución de la diversidad de la comunidad herpetofaunística.

Al analizar inter-anualmente la relación de la diversidad con el clima, ésta tuvo una menor influencia en la diversidad de la comunidad herpetofaunística -que con la obtenida con el *NDVI*- con un retraso en el tiempo en la respuesta de los anfibios y reptiles en lo que

respecta a la riqueza y diversidad. La temperatura influyó a la riqueza (con un desfase de un año), mientras que la precipitación de forma inversa a la diversidad basada en la uniformidad ( $H'$ ). La influencia de la temperatura sobre la herpetofauna ha sido reportada para ciertos parámetros estructurales, como el encontrado por Pelcastre (1991) para el grupo de los reptiles, quien reportó que la temperatura afectó en mayor grado su distribución. Por lo tanto existe una influencia de la variabilidad climática sobre la diversidad de la comunidad herpetológica.

Aunado a esto, se observó una paulatina disminución de los valores de *NDVI* probablemente ocasionada por un aumento de la tala, pastoreo, ocoteo, resinaje, incendios, entre otros, que en los últimos años se han acentuado en el Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan (Maass *et al.*, 1981; Arriaga *et al.*, 2000; De la Lanza y García-Calderón, 2002; Cabrales, 2007). Esto ha tenido un impacto diferencial en la herpetofauna; por un lado aumentando la densidad de ciertas especies de reptiles tolerantes a las perturbaciones (actividades antropogénicas), como fue el caso de la especie *S. grammicus* que presenta mayor tolerancia ante éstas, provocando un aumento en la dominancia y por consiguiente una disminución en la diversidad. Contreras *et al.* (2010) encontró en un estudio realizado en diversos tipos de bosques que la especie *Sceloporus grammicus* no solo fue la más abundante en la mayoría de las comunidades vegetales, sino que incluso fue la más abundante dentro de áreas incendiadas, demostrando la tolerancia de esta especie a la perturbación.



Por otro lado, algunas especies de anfibios también se han visto influenciadas al aumentar sus densidades, como el caso de *Pseudoeurycea leprosa*, a pesar de que los anfibios son considerados más sensibles que los reptiles a los cambios ambientales (Vargas y Bolaños, 1999; Marco, 2003; Báez *et al.*, 2013).

Asimismo, los fenómenos meteorológicos inter-anualmente posiblemente influenciaron a la diversidad de la herpetofauna, en particular a los anfibios. Como lo ocurrido durante el fenómeno del ENOS (El Niño) en 1997-1998, que de acuerdo con Manzo-Delgado (2009) acrecentó las diferencias de calor, debido a que trajo consigo una intensa sequía la cual favoreció numerosos incendios en el área, ocasionados por los incrementos en la temperatura y bajas precipitaciones durante ese periodo (Manzo-Delgado *et al.*, 2004), corroborándose con el índice de vegetación normalizado (*NDVI*), al registrarse valores bajos durante dichos años. La herpetofauna se vio afectada a partir de esos años, observándose una disminución en la similitud de la comunidad herpetofaunística durante ese periodo de tiempo con respecto a los demás años. Estos cambios probablemente afectaron más al grupo de los anfibios al presentar la más baja similitud entre 1996 y 1997 con el resto de los años. Por lo que se observa que los factores clima-vegetación influyen diferencialmente en la comunidad herpetofaunística de zonas boscosas la cual, en consecuencia, resulta ser dinámica temporalmente en su diversidad.

## Análisis integral

La comunidad herpetológica del bosque de Pino en la Sierra Nevada de México, es dinámica temporalmente porque a nivel intra-anual el clima determinó las variaciones de la vegetación y ésta a su vez de la comunidad herpetológica, al establecer dos patrones definidos de diversidad, el de secas y lluvias, donde la riqueza, densidad y diversidad de la comunidad fluctuaron con respecto a la época climática. No obstante, esta influencia fue diferencial, atípica y específica porque la precipitación incidió en los patrones de diversidad negativamente, dado que al aumentar ésta disminuyó la diversidad de la comunidad; mientras que la temperatura influenció positivamente a la riqueza de especies principalmente, aunque con un retraso en el tiempo. Estas relaciones son debidas, como apunta Gutiérrez y Sánchez-Trejo (1990), a que al llegar las lluvias florece la vegetación y con ello aumenta la producción del alimento disponible (insectos), que en última instancia son el recurso trófico de la herpetofauna, en donde la especie generalista y oportunista *S. grammicus* aumenta su densidad utilizando la variedad de recursos tróficos, lo que aumenta su dominancia y por tanto disminuye la diversidad herpetofaunística.

Por grupo taxonómico, los anfibios podrían verse más influenciados por el clima y las perturbaciones en el ambiente (alteraciones antropogénicas) probablemente disminuyendo su densidad (a excepción de *P. leprosa*); mientras que el grupo de los reptiles tendería a verse menos influenciado por el clima, en tanto que las perturbaciones (tala, incendios,

resinaje, ocoteo, entre otros) conllevarían a un aumento en la densidad de las especies generalistas y oportunistas (*S. grammicus*). Tal incremento en la dominancia es un posible indicador del aumento de la perturbación antropogénica en el área. Por lo que de seguir esta tendencia, se verá afectada la diversidad de la comunidad, modificando la estructura-función de la comunidad herpetofaunística.

Es importante señalar que en los estudios de comunidades herpetológicas se deben considerar evaluaciones tanto a mediano como a largo plazo, ya que se tienen que determinar diferentes escalas de análisis, tanto a nivel temporal como espacial, y de esta forma se podrán percibir a corto plazo (intra-anual) los cambios de la diversidad de la comunidad herpetológica, y a largo plazo (inter-anual) las variaciones de la comunidad, que un estudio a corto plazo no permitiría observar. Por lo que se deberán cubrir en todo estudio de ecología de comunidades ambas partes de análisis, ya que llevarán a procesos y evaluaciones por tanto diferentes.

Finalmente sería importante además, evaluar otros parámetros estructurales tales como la frecuencia y biomasa, así como el funcionamiento de la comunidad, con lo cual se podría comprender cuál es la afectación a nivel de materia, energía e interacciones interespecíficas, logrando con esto vislumbrar tanto sus dinámicas, como el grado de afectación que ha tenido por lo ya señalado, estableciendo así fehacientemente la organización de las comunidades herpetológicas de los bosques templados de gran altitud de la Cuenca de México.

## Conclusiones

---

La comunidad herpetofaunística del bosque de Pino en la Sierra Nevada presentó una dinámica temporal en su diversidad al presentar intra-anualmente una periodicidad influenciada por el comportamiento de los elementos climáticos y a su vez por la vegetación, presentando un patrón estacional. Mientras que inter-anualmente presentó variaciones en la diversidad asociadas probablemente a eventos de variabilidad climática extremos que ocurrieron en ciertos años o a las perturbaciones antropogénicas que han ido en aumento hacia la actualidad. No obstante, se observó una respuesta diferencial a los cambios intra-anales e inter-anales por grupo taxonómico. Por lo que los elementos climáticos y la vegetación influenciaron a largo plazo la diversidad de la comunidad herpetofaunística, aunque con un retraso en el tiempo, estando además otros factores implicados, tales como las actividades antropogénicas. Por ello es necesario realizar investigaciones a largo plazo, así como de otros parámetros estructurales y funcionales que permitan establecer fehacientemente su dinámica y sus implicaciones en las comunidades herpetofaunísticas.

## Literatura citada

---

- Alford, R.A. and S.J. Richards, 1999. Global amphibian declines: A problem in applied ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30: 133-165.
- Andreone, F., F. Glaw, R.A. Nussbaum, C.J. Raxworthy, M. Vences and J.E. Randrianirina, 2003. The amphibians and reptiles of Nosy Be (NW Madagascar) and nearby islands: A case study of diversity and conservation of an insular fauna. *Journal of Natural History*, 37(17): 2119-2149.
- Arias, B.S.F., 2004. *Anfibios y reptiles del bosque tropical caducifolio y vegetación circundante del Municipio de Jungapeo, Michoacán*. Tesis de Licenciatura en Biología. FES-Iztacala, UNAM. México, 51p.
- Arriaga, C.L., J. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa, 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. CONABIO. México, D.F., 470p.
- Ayala, N.M., 2013. *Riesgo y gravedad de los incendios forestales y su relación con factores meteorológicos en la vertiente occidental del Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan*. Tesis de Licenciatura en Biología. UAM-X. México, 89p.

Báez, J.C., D. Romero y F. Ferri, 2013. Ranas, sapos y científicos. *Encuentros en la Biología*, 6(12): 11-13.

Beaman, J.H., 1962. The timberlines of Iztaccíhuatl and Popocatepetl, México. *Ecology*, 43: 377-385.

Begon, M., J. Harper y C. Townsend, 1988. La naturaleza de la comunidad. *In: Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades*. pp. 601-620. Parte 4. Capítulo 17. Editorial Omega, Barcelona.

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

Bojorges, B.J.C., 2004. Riqueza de aves de la región noreste de la Sierra Nevada, Estado de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(3): 15-29.

Brower, J.E., J.H. Zar and C.N. von Ende, 1989. *Field and laboratory methods for general ecology*. Third edition. Wm. C. Brown Publisher. USA, 237p.

Brower, J.E., J.H. Zar and C.N. von Ende, 1997. *Field and laboratory methods for general ecology*. Fourth edition. WCB/McGraw-Hill. Boston, 273p.

Burnham, K.P., D.R. Anderson and J.L. Laake, 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs*, 44: 1-202.

Cabrales, R., 2007. Volcanes: El bosque en peligro. *Matria*, 2: 8-9.

Campbell, J.A., 1998. *Amphibians and reptiles of Northern Guatemala, the Yucatan, and Belize*. University of Oklahoma Press. Norman, 380p.

Canseco-Márquez, L., F. Mendoza-Quijano y M.G. Gutiérrez-Mayén, 2004. Análisis de la distribución de la herpetofauna. *In: Luna, I., J.J. Morrone y D. Espinosa (Eds.), Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. pp. 417-437. Universidad Nacional Autónoma de México/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.

Carey, C. and M. Alexander, 2003. Climate change and amphibian declines: Is there a link? *Diversity and Distribution*, 9: 111-121.

Carmona, T.F.H., 2005. *Diversidad herpetofaunística de un remanente de selva alta perennifolia al sur de Veracruz y su afinidad con zonas cercanas*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 117p.

Casas-Andréu, G., F.R. Méndez-de la Cruz y J.L. Camarillo, 1996. Anfibios y reptiles de Oaxaca. Lista, distribución y conservación. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*, 69: 1-35.

Casas-Andréu, G., G. Valenzuela-López y A. Ramírez-Bautista, 1991. *Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles*. Cuadernos 10, Instituto de Biología, UNAM. México, 68p.

Castillo, T.Z.I., 1976. *Algunos aspectos del impacto ambiental en el Parque Nacional del Ajusco*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 68p.

Christian, K., F. Nunes, L. Clos and L. Díaz, 1988. Thermal relations of some tropical frogs along an altitudinal gradient. *Biotropica*, 20(3): 236-239.

Cisneros-Heredia, D.F., 2006. Amphibians, Machalilla National Park, province of Manabí, Western Ecuador. *Check List*, 2(1): 45-54.



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

CONANP, 2011. *Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan*. Disponible en: [http://iztapopo.conanp.gob.mx/imgs/map\\_reg.png](http://iztapopo.conanp.gob.mx/imgs/map_reg.png)

Contreras, L.J.A., D. Lazcano y A.J. Contreras, 2010. Estatus de la herpetofauna presente en el cerro El Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, XIII(2): 178-183.

Crump, M.L., 1974. Reproductive strategies in a tropical anuran community. *Miscellaneous Publications of the Museum of Natural History of the University of Kansas* 61: 1-68.

Cruz-Elizalde, R. y A. Ramírez-Bautista, 2012. Diversidad de reptiles en tres tipos de vegetación del estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 458-467.

Daszak, P. and A. Cunningham, 2002. Emerging infectious diseases. In: Aguirre, A., R. Ostfeld, G. Tabor, C. House and M. Pearl (Eds.), *Conservation Medicine, ecological health in practice*. pp. 40-60. Chapter 5. Oxford University Press, Inc. United States of America. 407p.

Davis, D.E. y R.L. Winstead, 1980. Estimación de tamaños de poblaciones de vida silvestre. *In:*

Rodríguez, T.R. (Ed.), *Manual de técnicas de gestión de vida silvestre*. pc: 239-240.

Cap. XIV. 4a edición. WWF, Canadá, 703p.

De la Lanza, E.G. and J.L. García-Calderón, 2002. Historical summary of the geology, climate,

hydrology, culture, and natural resource utilization in the basin of Mexico. *In:* Mark,

E.F., L.I. de Bauer and T. Hernández-Tejeda (Eds.), *Urban air pollution and forests,*

*Resources at risk in the Mexico City air basin*. pp. 3-23. Springer-Verlag. New York.

Del Rivero, O., 1973. Nueva etapa en la enseñanza de la Escuela Nacional de Agricultura.

*Bosques*, 10(1): 41-43.

Dodd, C.K.Jr., 1992. Biological diversity of a temporary pond herpetofauna in north Florida

sandhills. *Biodiversity and Conservation*, 1: 125-142.

Durán, S.S.L., 2012. Contribución al conocimiento de la alimentación de la lagartija

*Sceloporus grammicus* (Reptilia: Phrynosomatidae) en la localidad de la Palma,

Municipio de Isidro Fabela, Estado de México. *Revista de Zoología*, 23: 9-20.

- Eliosa, H.R., 1990. *Distribución de tres salamandras terrestres (Amphibia: Plethodontidae), en el Parque Nacional Zoquiapan*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 40p.
- Estrada-Martínez, E., G. Guzmán, D. Cibrián y R. Ortega, 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). *Interciencia*, 34(1): 25-33.
- Filippi, E. and L. Luiselli, 2006. Changes in community composition, habitats and abundance of snakes over 10+ years in a protected area in Italy: Conservation implications. *Herpetological Journal*, 16: 29-36.
- Flores, D.C., 2006. *Ecología y conservación de la herpetofauna en la Reserva Forestal Ejidal de Reforma Agraria Chiapas, México*. Tesis de Licenciatura en Biología. UAM-X. México, 85p.
- Flores-Villela, O.A., 1991. *Análisis de la distribución de la herpetofauna de México*. Tesis Doctoral en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 269p.
- Flores-Villela, O.A., 1993. Herpetofauna Mexicana. *Special Publication Carnegie Museum of Natural History*, 17: 1-73.

Flores-Villela, O.A. y L. Canseco-Márquez, 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 20(2): 115-144.

Flores-Villela, O.A. y P. Gerez, 1994. *Biodiversidad y conservación en México: Vertebrados, vegetación y uso de suelo*. CONABIO-UNAM. México, 439p.

Flores-Villela, O.A. y U.O. García-Vázquez, 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 467-475.

Flores-Villela, O.A. and E.A. Martínez-Salazar, 2009. Historical explanation of the origin of the herpetofauna of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80: 817-833.

Franklin, J.F., 1989. Importance and justification for long-term studies in ecology. *In*: Likens, G.E. (Ed.), *Long-term studies in ecology, Approaches and alternatives*. pp. 3-19. Springer-Verlag. New York.

García, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, UNAM. México, 246p.

García-Vázquez, U.O., Ma.G. Gutiérrez-Mayén, C.A. Hernández-Jiménez y V. Aurióles-López, 2006. Estudio de la densidad poblacional y algunos aspectos ecológicos de *Pseudoeurycea leprosa* en el Parque Nacional La Malinche, Tlaxcala, México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana*, 14(1): 10-17.

Gillespie, G., S. Howard, D. Lockie, M. Scroggie and Boeadi, 2005. Herpetofaunal richness and community structure of offshore islands of Sulawesi, Indonesia. *Biotropica*, 37(2): 279-290.

Goldman, E.A. and R.T. Moore, 1946. The biotic provinces of Mexico. *Journal of Mammalogy*, 26(4): 347-360.

Granados-Sánchez, D., G. López-Ríos y M.A. Hernández-García, 2009. *Valle de Tehuacán y Cañada de Cuicatlán: Historia, ecología y cultura*. Universidad Autónoma de Chapingo. Primera edición. México, 260p.

Gross, J., 2009. Declive en poblaciones de seis especies de anfibios anuros del Páramo de Mucubají, Estado de Mérida, Venezuela. *Herpetotropicos*, 5(1): 09-20.

Gutiérrez, M.Ma. y R. Sánchez-Trejo, 1986. *Repartición de los recursos alimenticios en la comunidad de lacertilios de Cahuacán, Estado de México*. Tesis de Licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala, UNAM. México, 190p.

Gutiérrez, M.Ma. y R. Sánchez-Trejo, 1990. Repartición de los recursos alimenticios en la comunidad de lacertilios de Cahuacán, Edo. de México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana*, 2(1): 3-8.

Halfpeter, G. (Comp.), 1992. La diversidad biológica de Iberoamérica. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*, volumen especial de 1992. CYTED-D, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Instituto de Ecología, A.C., Secretaría de Desarrollo Social. Xalapa, Veracruz. México, 389p.

Hanlin, H.G., F.D. Martin, L.D. Wike and S.H. Bennett, 2000. Terrestrial activity, abundance and species richness of amphibians in managed forests in South Carolina. *American Midland Naturalist*, 143(1): 70-83.

Hernández, M.J.C., 1992. Herpetofauna del Municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana*, 4(2): 33-40.

- Hernández-García, M.A. y D. Granados-Sánchez, 2006. El Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y el impacto ecológico-social de su deterioro. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(2): 101-109.
- Holben, B.N., 1986. Characteristics of maximum value composite image from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417-1434.
- Horn, H.S., 1966. Measurement of overlap in comparative ecological studies. *American Naturalist*, 100: 419-424.
- Krebs, Ch., 1986. Diversidad de especies (II). In: *Ecología: Análisis experimental de la distribución y abundancia*. pp. 507-533. Editorial Pirámide. Madrid, 782p.
- Köhler, J., 2000. *Amphibian diversity in Bolivia: A study with special reference to montane forest regions*. Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig. Bonn. 281p.
- La Marca, E., 2007. Estatus de poblaciones de ranas de la Familia Dendrobatidae (Amphibia: Anura) en sus localidades tipo en los Andes de Venezuela. *Herpetotropicos*, 2: 73-81.

Lemos-Espinal, J.A. y J. de J. Amaya-Elías, 1985. Observaciones generales sobre la comunidad de anfibios y reptiles de la Vertiente Oriental del Volcán Iztaccíhuatl. *Revista Ciencia Forestal*, 10(57): 44-64.

Lemos-Espinal, J.A. y J. de J. Amaya-Elías, 1986. Aspectos generales sobre la ecología poblacional de la lagartija *Sceloporus grammicus microlepidotus* (Lacertilia: Iguanidae), en la Vertiente Oriental del Volcán Iztaccíhuatl, Puebla. *Revista Ciencia Forestal*, 11(59): 127-151.

Lemos-Espinal, J.A. y J.L. Rodríguez-Loeza, 1984. *Estudio general de la comunidad herpetofaunística de un bosque templado (mezcla Quercus-Pino) del Edo. de México*. Tesis de Licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala, UNAM. México, 41p.

Lemos-Espinal, J.A. y H.M. Smith, 2007. *Anfibios y reptiles del Estado de Chihuahua, México*. UNAM y CONABIO. México, D.F., 613p.

Leyte-Manrique, A., U. Hernández-Salinas, E. Chávez-Calzada, M. del C. Sánchez, J.C. Marshall y A. Ramírez-Bautista, 2006. El complejo *Sceloporus grammicus*, un grupo de lagartijas en especiación. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana*, 14(1): 18-24.



Lips, K.R., 1998. Decline of a tropical montane amphibian fauna. *Conservation Biology*, 12: 106-117.

Lips, K.R., P. Burrowes, J. Mendelson III and G. Parra-Olea, 2005a. Amphibian declines in Latin America: Widespread population declines, extinctions, and impacts. *Biotropica*, 37: 163-165.

Lips, K.R., P. Burrowes, J. Mendelson III and G. Parra-Olea, 2005b. Amphibian population declines in Latin America: A synthesis. *Biotropica*, 37: 222-226.

Loehle, C., T. Bently, P.A. Shipman, S.F. Fox, S. Rutzmoser, R.E. Thill and M. Anthony, 2005. Herpetofaunal species richness responses to forest landscape structure in Arkansas. *Forest Ecology and Management*, 209: 293-308.

Lynch, J. and W. Duellman, 1997. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* in western Ecuador. Systematics, ecology, and biogeography. *Natural History Museum University Kansas Special Publication*, 23: 1-236.

Maass, M.J.M., R. Patrón, A.I. Suárez, S. Blanco, G. Ceballos, C. Galindo y A. Pescador, 1981. *Ecología de la Estación Experimental Zoquiapan: (Descripción general, vegetación y*

- fauna*). Colección Cuadernos Universitarios, Serie Agronomía No. 2. Dirección de Difusión Cultural y Departamento de Bosques, UACH. México, 114p.
- Macip-Ríos R. y A. Muñoz-Alonso, 2008. Diversidad de lagartijas en cafetales y bosque primario en el Soconusco Chiapaneco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79: 185-195.
- Magurran, E.A., 1989. *Diversidad ecológica y su medición*. Editorial Vedral. España, 200p.
- Manzo-Delgado, L., 2009. Análisis satelital multitemporal de la vegetación. In: Aguirre-Gómez, R. (Ed.), *Conceptos de geomática y estudios de caso en México*. pp. 241-260. Colección Geografía para el siglo XXI, Serie Libros de Investigación núm. 5., Instituto de Geografía, UNAM. México, 365p.
- Manzo-Delgado, L., R. Aguirre-Gómez and R. Álvarez, 2004. Multitemporal analysis of land surface temperature using NOAA-AVHRR: Preliminary relationships between climatic anomalies and forest fire. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 4417-4423.
- Marco, A., 2003. Impacto de radiación ultravioleta y contaminación en anfibios. *MUNIBE (Suplemento/Gehigarria)*, 16: 44-55.

Margalef, R., 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity.

*Trans. Connect. Acad. Arts Sci*, 44: 211-235.

Martínez-Solano, I., J. Bosch and M. García-París, 2003. Demographic trends and community stability in a montane amphibian assemblage. *Conservation Biology*, 17(1): 238-244.

Mata, S.V., 2000. *Estudio comparativo del ensamble de anfibios y reptiles en dos localidades de Zapotitlán de las Salinas, Puebla*. Tesis de Licenciatura en Biología. FES-Iztacala, UNAM. México, 62p.

McNeely, J.A., K.R. Miller, W.V. Reid, R.A. Mittermeier and T.B. Werner, 1990. *Conserving the world's biological diversity*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Gland Switzerland, 193p.

Mittermeier, R.A., 1988. Primate diversity and the tropical forest: Case studies from Brazil and Madagascar and the importance of megadiversity countries. *In*: Wilson, E.O. (Ed.), *Biodiversity*. pp. 145-154. National Academy Press, Washington, D.C. EUA.

Moore, J., 1939. Temperature tolerance and rates of development in the eggs of Amphibia. *Ecology*, 20: 459-478.

Oropeza, O.O., 1980. Geomorfología del Parque Nacional Zoquiapan. *Biología*, 10(1-4): 28-34.

Ortega, E.J., 2000. *Análisis herpetofaunístico en diferentes tipos de hábitat en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México*. Tesis de Licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala, UNAM. México, 60p.

Ortega, R.A., Ma.E. Maury and R. Barbault, 1982. Spatial organization and habitat partitioning in a mountain lizard community of Mexico. *Acta OEcologica/OEcologia Generalis*, 3(3): 323-330.

Owen, J.G., 1989. Patterns of herpetofaunal species richness: Relation to temperature, precipitation, and variance in elevation. *Journal of Biogeography*, 16: 141-150.

Parra-Olea, G., O.A. Flores-Villela y C. Mendoza- Almeralla, 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 460-466.

Parra-Olea, G., M. García-Paris and D.B. Wake, 1999. Status of some populations of Mexican salamanders (Amphibia: Plethodontidae). *Revista de Biología Tropical*, 47: 217-223.

Parra-Olea, G., E. Martínez-Meyer and G. Pérez-Ponce De León, 2005. Forecasting climate change effects on salamander distribution in the highlands of central Mexico.

*Biotropica*, 37: 202-208.

Pelcastre, V.L., 1991. *Anfibios y reptiles de Veracruz: Uso y Sistema de Información Climático-Cartográfica INIREB-IBM*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias,

UNAM. México, 75p.

Pianka, E., 1966. Latitudinal gradients in species diversity: A review of the concepts. *American*

*Naturalist*, 100: 33-46.

Pielou, E.C., 1984. *The interpretation of ecological data*. Wiley. New York.

Pough, F.H., R.M. Andrews, J.E. Cadle, M.L. Crump, A.H. Savitzky and K.D. Wells, 1998.

*Herpetology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.

Pounds, A. and M. Crump, 1994. Amphibian declines and climate disturbance: The case of the

golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology*, 8: 72-8.

Ramanamanjato, J-B., P.B. McIntyre and R.A. Nussbaum, 2002. Reptile, amphibian, and lemur diversity of the Malahelo Forest, a biogeographical transition zone in southeastern Madagascar. *Biodiversity and Conservation*, 11: 1791-1807.

Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa, 1998. *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM. México, 792p.

Ramírez-Bautista, A., 1999. *Herpetofauna de la región "El Huizache", San Luis Potosí*. Reporte Final del Proyecto R045. ENEP-Iztacala, UNAM. México, 150p.

Ramírez-Bautista, A., E. Godínez-Cano and J.L. Camarillo, 1991. Some amphibians and reptiles from Cahuacán, Transfiguración and Villa del Carbón, State of Mexico, with general comments on their ecology. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society*, 27: 171-188.

Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, U.O. García-Vázquez, A. Leyte-Manrique y L. Canseco-Márquez, 2009. *Herpetofauna del Valle de México: Diversidad y conservación*. UAEH y CONABIO. México, D.F., 213p.

- Reed, B.C., J.F. Brown, D. VanderZee, T.R. Loveland, J.W. Merchant and D.O. Ohlen, 1994. Measuring phonological variability from satellite. *Journal of Vegetation Science*, 5(5): 703-714.
- Renken, R.B., W.K. Gram, D.K. Fantz, S.C. Richter, T.J. Miller, K.B. Ricke, B. Russell and X. Wang, 2004. Effects of forest management on amphibians and reptiles in Missouri Ozark forests. *Conservation Biology*, 18(1): 174-188.
- Rey, C.J.A., 1975. Estudios de suelos de la Estación de Enseñanza, Investigación y Servicios Forestales de Zoquiapan. *Información Técnica de Bosques*, 1(4): 13-63.
- Ribera, M., 1995. Aspectos ecológicos, del uso de la tierra y conservación en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. In: Morales, C. (Ed.), *Caminos de Cotapata*. pp. 1-82. Capítulo I. Instituto de Ecología, FUNDECO, FONAMA-EIA. Artes Gráficas Latina. La Paz, 174p.
- Riojas-López, M.E. y E. Mellink, 2006. Herpetofauna del Rancho Las Papas, Jalisco, Llanuras de Ojuelos-Aguascalientes, México. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*, 22(3): 85-94.

Rodríguez, B.D., 1975. *Descripción general del área de Zoquiapan*. Mimeografiado inédito.

Departamento de Bosques, UACH. México.

Rohde, K., 1978. Latitudinal gradients in species diversity and their causes. I. A review of the hypotheses explaining the gradients. *Biologisches Zentralblatt*, 97: 393-403.

Rosenzweig, M., 1992. Species diversity gradients: We know more and less than we thought. *Journal of Mammalogy*, 73: 715-730.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schnell and D.W. Deering, 1973. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*, NASA/GSFC Type II, Progress report, Greenbelt, Maryland.

Ruthven, D.C., R.T. Kazmaier, J.F. Gallagher and D.R. Synatzske, 2002. Seasonal variation in herpetofauna abundance and diversity in the south Texas plains. *The Southwestern Naturalist*, 47(1): 102-109.

Ryan, T.J., T. Philippi, Y.A. Leiden, M.E. Dorcas, T.B. Wigley and J.W. Gibbons, 2002. Monitoring herpetofauna in a managed forest landscape: Effects of habitat types and census techniques. *Forest Ecology and Management*, 167: 83-90.



Sánchez-Cordero, V., 2001. Small mammal diversity along elevational gradients in Oaxaca, Mexico. *Global Ecology and Biogeography*, 10: 63-76.

Sánchez-González, A. y L. López-Mata, 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica*, 74(1): 47-71.

Sánchez-Trejo, R., A. Aguirre-León, A. Bernal-Becerra e I. Cabrera-Díaz, 1997. Comunidad ictiológica y herpetológica. *In: Barreiro-Güemes, M.T., R. Sánchez-Trejo, A. Aguirre-León y L.A. Ayala-Pérez (Eds.), Ecología del Humedal de San Pedro Tláhuac: Un sistema lacustre del Valle de México.* pp. 53-70. UAM-X. México, D.F., 122p.

Sánchez-Trejo, R., C. Flores-Domínguez, Ma.E. Castellanos y G. Garza, 2009. Diversidad herpetofaunística en hábitat selváticos del sureste mexicano. *In: Ayala, P.L., R. Gío y N. Trigo (Eds.), Contribuciones metodológicas al conocimiento de los recursos naturales.* pp. 177-188. UAM-X. México, D.F., 220p.

Santiago-Paredes, S. y E. La Marca, 2007. Comportamiento del clima a finales del siglo XX en los altos Andes venezolanos y el declive de *Atelopus mucubajiensis*. *Herpetotropicos*, 3(1): 7-20.

Santos-Barrera, G., J. Pacheco, F. Mendoza-Quijano, F. Bolaños, G. Cháves, G.C. Daily, P.R.

Ehrlich and G. Ceballos, 2008. Diversity, natural history and conservation of amphibians and reptiles from the San Vito Region, southwestern Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(2): 755-778.

SEMARNAT, 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección*

*ambiental, especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para la inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo.*

Diario Oficial de la Federación, 85p.

Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. *The mathematical theory of communication*. University

of Illinois Press. Urbana, 119p.

Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.

Smith, B., 1986. *Evaluation of different similarity indices applied to data from the Rothamsted*

*insect survey*. Unpublished MSc Thesis. University of York.

Spencer, Ch.S. and E.M. Redmond, 1997. Archeology of the Cañada de Cuicatlán Oaxaca.

*Anthropological Paper of the American Museum of Natural History*, 80: 1-642.

Suazo, O.I. y J. Alvarado, 2004. Anfibios: Centinelas de la biodiversidad. *Ciencia y Desarrollo*, 30(178): 6-13.

Urbina-Cardona, J.N. y V.H. Reynoso, 2005. Recambio de anfibios y reptiles en el gradiente potrero-borde-interior en Los Tuxtlas, Veracruz, México. In: Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff y A. Melic (Eds.), *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma*. pp. 191-207. Vol. 4. Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Diversitas/Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, Zaragoza, 242p.

Uribe-Peña, Z., A. Ramírez-Bautista y G. Casas-Andréu, 1999. *Anfibios y reptiles de las Serranías del Distrito Federal, México*. Cuadernos 32. Instituto de Biología, UNAM. México, 119p.

Valdespino, T.C.S., 1998. *Anfibios y reptiles de la Sierra del Carmen, Edo. de México*. Tesis de Licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala, UNAM. México, 92p.

Valiente-Banuet, A., L. Solís, P. Dávila, M. del C. Arizmendi, C. Silva, J. Ortega-Ramírez, J. Treviño, S. Rangel-Landa y A. Casas, 2009. *Guía de la Vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. CONABIO, Fundación para la Reserva de la Biósfera Cuicatlán, A. C., IE, CIEco, UBIPRO-FES-Zaragoza, UNAM. México, 206p.

Vargas, S.F., 1998. *Estudio herpetofaunístico en el Playón de Mexiquillo y áreas adyacentes en la costa sur del Estado de Michoacán, México*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 111p.

Vargas, S.F. y Ma.E. Bolaños, 1999. Anfibios y reptiles presentes en hábitats perturbados de selva lluviosa tropical en el bajo Anchicayá, Pacífico Colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, XXIII: 499-511.

Vega, L.A. y S.T. Álvarez, 1992. Herpetofauna de los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 15: 1-25.

Venegas, P.J., 2005. Herpetofauna del bosque seco ecuatorial de Perú: Taxonomía, ecología y biogeografía. *Zonas Áridas*, 9: 9-26.

Villar, R.M., 2007. *Análisis de la composición y diversidad de anfibios y reptiles, en áreas con características de corredores biológicos en "Los Tuxtlas", Veracruz*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. México, 98p.

Vitt, L.J. and J.P. Caldwell, 2009. *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. Third edition. Academic, New York, 697p.

- Wake, D.B., 1991. Declining amphibian populations. *Science*, 253: 860.
- Wake, D.B. and V. Vredenburg, 2008. Are we in midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 11466-11473.
- Wilson, L.D., J.H. Townsend and J.D. Johnson, 2010. *Conservation of the Mesoamerican amphibians and reptiles*. Eagle Mountain. Utah. USA, 812p.
- Wolda, H., 1981. Similarity indices sample size and diversity. *Oecologia*, 50: 296-302.
- Wyman, R.L., 1990. What's happening to the amphibians? *Conservation Biology*, 4: 350-352.
- Young, B., K. Lips, J. Reaser, R. Ibañez, A. Salas, J. Cedeño, L. Coloma, S. Ron, E. La Marca, J. Meyer, A. Muñoz, F. Bolaños, G. Chaves and D. Romo, 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology*, 15: 1213-1223.

Young, B., S. Stuart, J.S. Chanson, N.A. Cox y T.M. Boucher, 2004. *Joyas que están desapareciendo: El estado de los anfibios en el Nuevo Mundo*. Nature Serve. Arlington, Virginia, 53p.

Zavala, F., 1984. *Sinecología de la vegetación de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, Estado de México y Puebla*. Tesis de Licenciatura en Biología. División de Ciencias y Humanidades, Escuela de Biología, Universidad San Nicolás de Hidalgo. México, 164p.

Zug, G.R., L.J. Vitt and J.P. Caldwell, 2001. *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. Academic Press, New York.

Zweifel, R., 1968. Reproductive biology of anurans of the arid southwest, with emphasis on adaptation of embryos to temperature. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 140: 3-64.