



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Centro de Investigaciones en Ecosistemas

ENSAMBLES DE ANFIBIOS Y  
LAGARTIJAS Y SU IMPORTANCIA EN  
EL CONTROL BIOLÓGICO EN  
CULTIVOS DE CAFÉ DE SOMBRA

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

DÍAZ VELASCO BELEM

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ELLEN ANDRESEN

MÉXICO, D.F.

ENERO, 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



Dr. Isidro Ávila Martínez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 26 de octubre del 2009, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental) de la alumna **Díaz Velasco Belem** con número de cuenta **93550291** con la tesis titulada: **"Ensamblajes de anfibios y lagartijas y su importancia en el control biológico en cultivos de café de sombra"** bajo la dirección de la Dra. Ellen Andresen.

Presidente:	Dr. Victor Hugo Reynoso Rosales
Vocal:	Dra. Ek del Val de Gortari
Secretario:	Dra. Ellen Andresen
Suplente:	Dr. Fausto Roberto Méndez de la Cruz
Suplente:	Dr. Victor Manuel Toledo Manzur

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F. a 7 de enero del 2010

Dr. Juan Núñez Farfán  
Coordinador del Programa



## **RECONOCIMIENTOS**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

A los apoyos recibidos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Fondo Sectorial SEP-CONACYT (SEP-CONACYT-2005-I002-24848) y a la UNAM.

A los miembros de mi Comité Tutorial:

Dra. Ellen Andresen

Dr. Víctor Hugo Reynoso Rosales

Dr. Víctor Manuel Toledo Manzur



**AGRADEZCO:**

A la Dra. Ellen Andresen por haberme dirigido paciente y generosamente.

A los investigadores Víctor Hugo Reynoso, Ek del Val, Víctor Manuel Toledo y Fausto Méndez, por haber revisado este trabajo y por sus valiosos comentarios.

A todos mis colectores; Oscarito, Ricardo, Octavio, Mariana, Gil, Jonathan, Oscar, Arturo, Jeanette y Nancy.

A Carlita, Fernando y Alejandro por sus valiosas 48 horas de observación en la depredación de tenebrios.

A Edmundo Pérez, por la identificación de los ejemplares, por la disposición para compartir sus conocimientos y su valiosa amistad.

A Javier Alvarado por su asesoría.

A La Sociedad Cooperativa Agropecuaria Regional Tosepan Titataniske por todo el apoyo logístico y moral.

A Don Antonio, Doña Mica, Don Arnulfo, Don Cástulo y al Ing. Álvaro por permitirme trabajar en sus parcelas de café.

A Cris, por todo su respaldo, hospitalidad y apoyo para solucionar todos los problemas en Cuetzalan; a Toño, por alimentar a todos mis colectores; a José por tener siempre listas las “cuevañas”; a Pedro y Odón por tratar de tener lista la zona de campamento; a Octavio, por ayudar en la búsqueda de parcelas; a Martita y Lupita, por ayudarme en la búsqueda de parcelas y plantas de chalahuite.

A David Meza, por ser el amor de mi vida.

A Mónica Salmerón y Roberto Romero por haberme acompañado a lo largo de mi carrera.

A mis padres Graciela y Crescencio, a mis hermanos Edith, Claudia e Israel, por soportarme en casa y darme unos hermosos sobrinos.

A mis amigos Mónica, Roberto, Oscarito, Octavio, Ricardo, Gil, Jonathan, Mariana, Paulina, Lupita y Carlita.

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	19
2.	OBJETIVOS GENERALES .....	22
3.	ÁREA DE ESTUDIO .....	23
3.1	Características generales .....	23
3.2	Anfibios y lagartijas de Cuetzalan .....	26
3.3	La Sociedad Cooperativa Agropecuaria Regional Tosepan Titataniske.....	29
3.4	Cafetales y bosque maduro utilizados en este estudio .....	30
4.	CAPITULO 1. Riqueza, abundancia y diversidad de anfibios y lagartijas en cafetales de sombra .....	39
4.1	Introducción .....	39
4.2	Objetivo.....	41
4.3	Hipótesis.....	42
4.4	Métodos.....	42
4.4.1	Sitios de estudio. ....	42
4.4.2	Muestreo de anfibios y lagartijas. ....	43
4.4.3	Análisis de datos. ....	44
4.5	Resultados .....	46
4.6	Discusión.....	58
4.7	Conclusiones .....	69
5.	CAPITULO 2. Control biológico de insectos herbívoros por anfibios y lagartijas en cafetales de sombra .....	73
5.1	Introducción .....	73
5.2	Objetivos .....	75
5.3	Hipótesis.....	76
5.4	Métodos.....	77
5.4.1	Área y sitios de estudio. ....	77
5.4.2	Experimento 1. Importancia de los anfibios y lagartijas como controladores bioló gicos de insectos herbívoros mediante la cuantificación de niveles de herbivoría. .	79
5.4.3	Experimento 2. Importancia de los anfibios y lagartijas como controladores bioló gicos de insectos herbívoros mediante la cuantificación de depredación de insectos.....	82
5.4.4	Experimento 3. Herbivoría en plantas de café.....	84
5.4.5	Análisis de datos .....	85
5.5	Resultados .....	87
5.6	Discusión.....	92
5.7	Conclusiones .....	97
6.	CONCLUSIONES GENERALES .....	99
7.	LITERATURA CITADA.....	101
8.	ANEXOS .....	113



## RESUMEN

La diversidad de algunos grupos animales, como aves y murciélagos, que habitan en cafetales de sombra, así como el papel que juegan en el control biológico de insectos en estos agroecosistemas, han sido bien documentados. Sin embargo, se tiene poca información sobre la diversidad y abundancia de la herpetofauna en estos sistemas, y aun menos se conoce acerca de las funciones ecológicas, en particular, el control biológico, que este grupo faunístico lleva a cabo en los cafetales de sombra. Los propósitos de este trabajo fueron (1) cuantificar la riqueza y abundancia de anfibios y lagartijas en dos modalidades de cultivo de café de sombra: sistema de policultivo tradicional y sistema de policultivo comercial, así como un sitio de bosque mesófilo, y (2) generar información sobre el papel que juegan los anfibios y lagartijas en el control biológico de insectos herbívoros en los dos sistemas de producción de café de sombra. El policultivo tradicional presenta mayor complejidad en la estructura y composición de la vegetación, en comparación con el policultivo comercial. Para con los objetivos se estudiaron 6 cafetales y un sitio de bosque en el municipio de Cuetzalan, en la Sierra Norte de Puebla. Se evaluaron la abundancia, riqueza y diversidad de anfibios y lagartijas utilizando un método activo de captura, durante 10 muestreos. Se registró un total de 435 organismos pertenecientes a 21 especies, 14 de anfibios y 7 de lagartijas. Las abundancias de anfibios y lagartijas no mostraron diferencias significativas entre los dos sistemas de producción de café. Se observó una menor abundancia, tanto de lagartijas como de anfibios, en el policultivo comercial, en comparación con el bosque. La riqueza observada de anfibios y/o lagartijas fue similar en los tres hábitats. Sin embargo, en términos de la riqueza estimada observamos el siguiente patrón: bosque>policultivo tradicional>policultivo comercial. El policultivo

comercial mostró mayor equitatividad y, como consecuencia, mayor índice de diversidad en el ensamble de anfibios y lagartijas, en comparación al policultivo tradicional y bosque.

Se realizaron dos experimentos para evaluar la importancia de los anfibios y lagartijas como controladores de insectos herbívoros en los dos tipos de cafetales, llevando a cabo exclusiones de anfibios y lagartijas. En el primero, se evaluó la importancia de los anfibios y lagartijas como controladores biológicos mediante la cuantificación de niveles de herbivoría sobre plántulas de chalahuite (*Inga latibracteata*). En el segundo, se evaluó la importancia de los anfibios y lagartijas mediante la cuantificación de depredación de gusanos de harina (*Tenebrio molitor*). Adicionalmente, se llevó a cabo un tercer experimento para comparar los niveles de herbivoría sobre plantas de café en los dos sistemas de producción. Como se esperaba, se observó mayor herbivoría del chalahuite y menor depredación de gusanos de harina en exclusiones de lagartijas y anfibios, que bajo condiciones testigo. Sin embargo, en observaciones directas de depredación, no se logró registrar ningún anfibio o lagartija depredando gusanos de harina; sólo se logró observar depredación por invertebrados. No se observaron diferencias ni en la herbivoría de plantas de chalahuite, ni en la depredación de gusanos de harina entre ambos tipos de cafetal. Sin embargo, se registró mayor herbivoría en las plantas de café del policultivo tradicional, en comparación con el policultivo comercial.

En conclusión, los cafetales de sombra del municipio de Cuetzalan poseen un importante potencial para la conservación de las especies de anfibios y lagartijas que se encuentran en la región. El papel de los anfibios y lagartijas en el control biológico requiere de estudios que incluyan la cuantificación de poblaciones de insectos y de

diferentes taxa de animales insectívoros. Sólo así podrán obtenerse conclusiones más contundentes sobre la importancia de los anfibios y lagartijas como controladores biológicos.

*Palabras clave:* Agroecosistemas, anfibios, lagartijas, diversidad, cafetales de sombra, Cuetzalan, funciones ecológicas.



## **ABSTRACT**

Diversity of some groups of animals living in shade coffee plantations, such as birds and bats, and their role in biological control of insects in such agroecosystems has been well studied. However, very little is known about the diversity and abundance of the herpetofauna in such systems, and of their ecological functions, in particular, the biological control which is performed by this group in shaded coffee plantations. The goals of this study were (1) to quantify the richness and abundance of amphibians and lizards in two kinds of shade coffee plantations, traditional polyculture and commercial polyculture, and in a forest site; and (2) to generate information about the role that amphibians and lizards might be playing in the biological control of herbivorous insects in the two types of coffee plantations. The traditional polyculture plantations have a greater complexity in vegetation structure and composition, when compared to the commercial polyculture plantations. To address both goals, 6 coffee plantations and one forest site were studied in the municipality of Cuetzalan, in the Sierra Norte de Puebla, Mexico. Abundance, richness and diversity of amphibians and lizards were evaluated by an active capture method, 10 sampling sessions.

A total of 435 individuals were registered, belonging to 21 species, 14 of amphibians and 7 of lizards. Abundance of amphibians and lizards did not show statistically significant differences between the two coffee-growing systems. Lower abundances of both amphibians and reptiles were observed in the commercial polyculture, when compared to the forest site. Observed species richness of amphibians and/or lizards was similar among the three habitats. However, in terms of amphibian estimated total species richness we observed the following pattern: forest>traditional polyculture>commercial polyculture. The commercial polyculture showed greater

equitability, and as a consequence had higher values for the diversity index , in the assemblage of amphibians and lizards, when compared to the commercial polyculture and the forest .

Two experiments were performed in order to evaluate the importance of amphibians and lizards in controlling the populations of herbivorous insects. In both experiments we compared control values to those obtained in exclusions of amphibians and lizards. In the first experiment herbivory levels were quantified in chalahuite seedlings (*Inga lactibreata*). In the second experiment, predation of mealworms (*Tenebrio molitor*) was quantified. Additionally, a third experiment was carried out in order to compare herbivory levels on coffee plants in both types of production systems. As expected, higher herbivory levels and lower insect predation rates were observed in exclusions of amphibians and lizards, when compared to the controls. However, during direct observations of predation, no amphibian or lizard was observed preying of mealworms; only invertebrate predators were observed. No differences were observed in either herbivory of chalahuite seedlings, or mealworm predation, between coffee-production systems. However, herbivory levels in coffee plants were higher in the traditional polyculture than in the commercial polyculture.

In conclusion, shaded coffee plantations in Cuetzalan have an important potential for the conservation of amphibian and lizard species native to this region. To more accurately ascertain the role that amphibians and lizards are playing in biological control in shaded coffee plantations, additional studies are needed that quantify both insect populations as well as different insectivorous taxa.

*Keywords:* Agroecosystems, amphibians, lizards, diversity, shade coffee, Cuetzalan, ecological functions.



## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de café en México comenzó en 1790, en sistemas agroforestales de sombra, en donde las matas de café se introducían en el estrato inferior de la selva o bosque (Escamilla *et al.*, 2005). En el año 1970 este tipo de producción se suspendió, y se adoptó el monocultivo del café, haciéndose necesaria la utilización de nuevas variedades que generaran grandes rendimientos, y con capacidad de sobrevivir a pleno sol. La adopción de este monocultivo llevó a la destrucción de la cobertura vegetal, la introducción de plantas exóticas, y la utilización de agroquímicos y maquinaria pesada. Sin embargo, el cultivo de café de sol no prevaleció, y actualmente en México las áreas de cultivo de café de sombra corresponden a un 90% mientras que el café de sol a un 10% (Moguel y Toledo 2005).

A nivel mundial, México es el primer productor de café de sombra orgánico, es decir aquel que es cultivado sin el uso de agroquímicos. El estado de Puebla es el cuarto productor de café en México (SIAP, 2007) siendo la Sierra Norte la principal región cafetalera del estado con el 91% de la superficie sembrada y con 40,827 productores que generan un rendimiento promedio de 5.5 toneladas de café cereza por hectárea (SIAP, 2005).

En la Sierra Norte de Puebla los cafetales son plantaciones o sistemas agroforestales muy variados en su composición y estructura vegetal, ya que comúnmente incorporan diversas especies de plantas para sombra y otros usos (Martínez *et al.*, 2007). Por ejemplo, en dos comunidades nahuas de esta región, Basurto (1982) registró 500 especies de flora útil, de las cuales 300 se encuentran en

huertos familiares y cafetales. La composición florística puede variar mucho entre cafetales, dependiendo del clima, la altitud y las preferencias y conocimientos de los productores. Por ejemplo, en la últimas dos décadas los agricultores han introducido especies maderables como el cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), pino (*Pinus chiapanensis*) o macadamia (*Macadamia integrifolia*), respondiendo a las demandas del mercado (Martínez *et al.*, 2007).

De acuerdo al nivel de manejo y a la complejidad de la vegetación, en México se distinguen cuatro sistemas de producción de café bajo sombra (Moguel y Toledo, 1996): cultivo rústico tradicional o de montaña, policutivo tradicional, policultivo comercial y monocultivo de sombra. En el sistema rústico tradicional o de montaña, se remueve parte del sotobosque y se introducen los cafetos dejando la cobertura del bosque original. En el sistema de policultivo tradicional, el café se introduce debajo de la cobertura vegetal del bosque pero a diferencia del sistema anterior, son también introducidas otras especies de plantas que son aprovechadas por los agricultores. En el sistema de policultivo comercial, todos los árboles que dan sombra al café son plantados por el agricultor. Además de los árboles para sombra se plantan otras pocas especies de dosel o subdosel que tienen interés comercial, tales como la pimienta y la nuez de macadamia. En el sistema de monocultivo de sombra, se planta una sola especie de árbol, con interés comercial, como sombra, y únicamente se cultiva el café en el sotobosque. El sistema rústico y el policultivo tradicional son los que tienen el mayor potencial para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos, debido a su alta complejidad en la estructura y la composición de la vegetación (Moguel y Toledo 1996).

Los cafetales de sombra se han convertido, en diversas partes del mundo, en los últimos refugios para la fauna y la flora en áreas que han sido fuertemente impactadas por la deforestación (Arellano *et al.*, 2005; Bandeira *et al.*, 2005; Moguel y Toledo 1999; Potvin *et al.*, 2005). Los animales que habitan en los cafetales de sombra cumplen importantes funciones ecológicas, tales como la polinización y el control biológico, que en algunos casos son considerados servicios ecosistémicos por el valor económico asociado (Losey y Vaughan, 2006; Philpott *et al.*, 2006). Los animales insectívoros, por ejemplo, tienen un efecto importante sobre el control de las poblaciones de insectos en plantaciones de café y ayudan a controlar las plagas en estos cultivos (Borkhataria *et al.*, 2006; Greenberg *et al.*, 1997). Se ha documentado que los depredadores potenciales de insectos del café son aves, lagartijas, así como grupos de artrópodos depredadores (arañas, hormigas y avispas parasitoides; Borkhataria *et al.*, 2006).

El papel de las aves y de las hormigas en el control biológico de insectos herbívoros en estos agroecosistemas ha sido bien documentado (Borkhataria *et al.*, 2006; Perfecto *et al.*, 2004; Faria *et al.*, 2007; Greenberg *et al.*, 2000). Sin embargo, es relativamente poco lo que se sabe sobre el control biológico de insectos ejercido por otros grupos de vertebrados en cafetales, tales como la herpetofauna. Algunos estudios, en ecosistemas no perturbados, han documentado que las lagartijas reducen la abundancia de insectos y los daños en plantas causados por insectos herbívoros (Spiller y Schoener, 2001). Asimismo, se sabe que la importancia de los anfibios en los ecosistemas naturales está dada, en gran medida, por las relaciones tróficas que establecen (Faria *et al.*, 2007). Las ranas, sapos y salamandras adultas se alimentan de grandes cantidades de insectos, ayudando de esta manera a mantener el tamaño de las

poblaciones (Pineda, 2007). Sin embargo, se tiene muy poca información sobre la diversidad y abundancia de la herpetofauna (Gutiérrez, 1997), así como de sus funciones ecológicas, en particular el control biológico de insectos herbívoros, en cafetales (Borkhataria *et al.*, 2006; Faria *et al.*, 2007). Es por ello que en el presente estudio se cuantificará la diversidad de anfibios y lagartijas en cafetales de sombra (CAPÍTULO 1) y se evaluará el papel que estos vertebrados podrían estar jugando en el control biológico de insectos herbívoros (CAPÍTULO 2). La información recabada mediante este trabajo será proporcionada a La Sociedad Cooperativa Agropecuaria Regional Tosepan Titataniske, bajo el supuesto de que si los agricultores cuentan con información sobre la importancia ecológica de la fauna en sus cultivos, aumentará el interés por su conservación en los cafetales.

## **2. OBJETIVOS GENERALES**

- Cuantificar la diversidad de anfibios y lagartijas en dos modalidades de cultivo de café de sombra: sistema de policultivo tradicional y sistema de policultivo comercial, así como en un sitio de bosque conservado.
- Generar información sobre el papel que juegan los anfibios y lagartijas en el control biológico de insectos herbívoros en dos sistemas de producción de café de sombra: policultivo tradicional y policultivo comercial.

### **3. ÁREA DE ESTUDIO**

#### **3.1 Características generales**

Dentro de la Sierra Norte de Puebla se encuentra la zona de estudio, ubicada en el Municipio de Cuetzalan del Progreso en la parte noreste del estado de Puebla. El municipio de Cuetzalan tiene una superficie de 135.22 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado en las coordenadas 20° 06' N y 97°35' W y está integrado por 126 localidades (Ilustración 1); <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/Mpios/21043a.htm>).

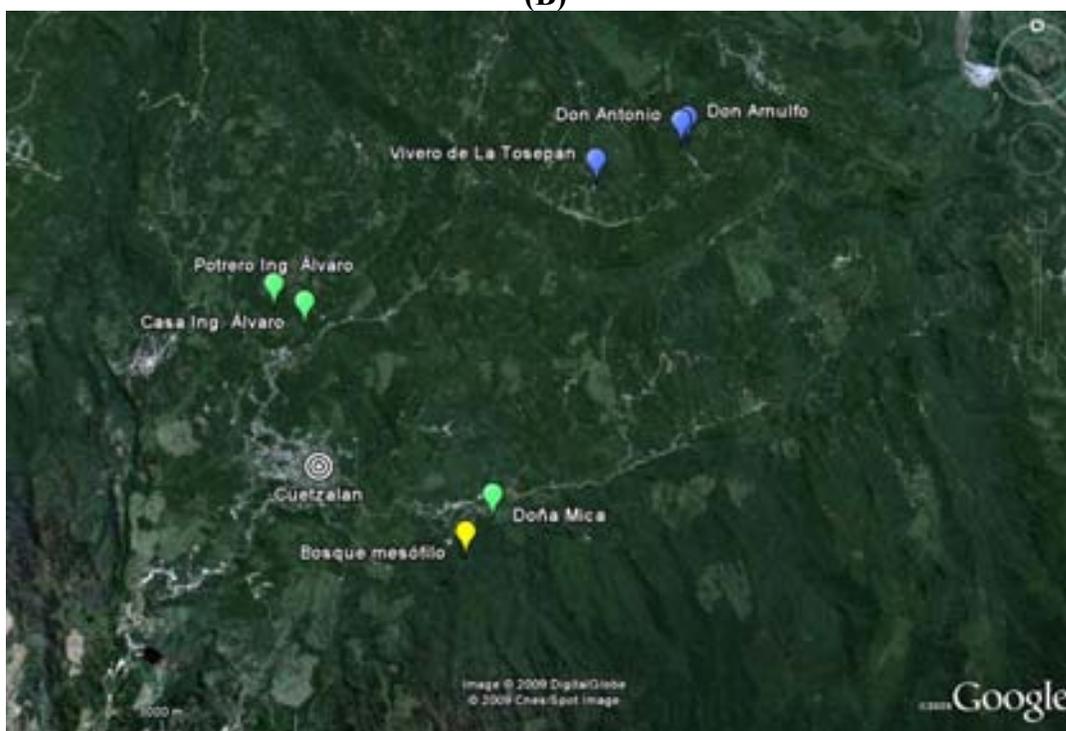
La existencia de tres distintas condiciones fisiográficas en la región determina paisajes variados con características particulares y complejas en cuanto a sustratos geológicos, suelo, clima, vegetación, morfología y procesos geomorfológicos. La altitud va desde los 400 hasta los 1200 m (Zaragoza, 2006).

El municipio de Cuetzalan del Progreso se localiza en la transición entre los climas templados de la Sierra Norte, y los cálidos del declive del Golfo de México. El clima en esta región se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias todo el año (<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/Mpios/21043a.htm>). La temperatura promedio anual es de 20.5° C y la precipitación promedio anual es de 4,521 mm, siendo febrero el mes más seco y septiembre el mes más lluvioso (Cano, 1979).

(A)



(B)



**Ilustración 1. Localización del área de estudio, mostrando en (A) la ubicación de la cabecera (punto negro) del municipio de Cuetzalan (polígono gris) en el estado de Puebla (polígono verde) y en México; y mostrando en (B) la ubicación de los siete sitios de estudio, y de la cabecera municipal (Cuetzalan). Las tres parcelas de policultivo tradicional aparecen en azul, las tres parcelas de policultivo comercial aparecen en verde y el bosque aparece en amarillo.**

En la zona de Cuetzalan, existen cinco tipos de vegetación natural: el bosque mesófilo de montaña, bosque de encino, bosque de coníferas, bosque tropical perennifolio y bosque tropical subcaducifolio (Contreras, 2001). El bosque mesófilo de montaña, que originalmente cubría la mayor parte de la superficie del municipio, se ha perdido en gran parte ya que estas áreas han sido destinadas al cultivo de café (Gutiérrez, 1999). Con respecto a la fauna, la destrucción del hábitat aunada a la cacería de vertebrados (principalmente de aves con fines comerciales y de mamíferos con fines alimenticios) ha desembocado en la disminución drástica de poblaciones y/o la extinción local de numerosas especies de animales (López-del-Toro, 2008). La herpetofauna consta de 68 especies (Canseco-Márquez y Gutiérrez, 2004), con 23 especies de anfibios (15 anuros y 8 salamandras) y 45 especies de reptiles (12 lagartijas, 32 serpientes y una tortuga; para más detalles sobre las especies de anfibios y lagartijas, ver la siguiente sección). Para las aves se ha reportado un listado de 115 especies en el municipio, pertenecientes a 28 familias y 12 ordenes (Leyequien, 2006). De los mamíferos no voladores se tiene un listado de 20 especies (excluyendo roedores y marsupiales pequeños) de acuerdo a entrevistas a los nahuas de la Sierra Norte de Puebla (Becaue, 1990). Cabe mencionar que las especies *Puma concolor* (puma) y *Pantera onca* (jaguar) habitaban anteriormente los bosques de Cuetzalan, pero en la actualidad ya no se encuentran presentes (Becaue, 1990). En cuanto a los murciélagos, Vargas (1999) registra un total de 70 especies para el estado de Puebla, de las cuales aproximadamente 37 deberían estar presentes en Cuetzalan debido al tipo de vegetación que habitan.

### 3.2 Anfibios y lagartijas de Cuetzalan

*Anfibios.*- De acuerdo con Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) en el municipio de Cuetzalan se tienen registradas 23 especies de anfibios, las cuales se mencionan a continuación.

Para el orden Anura (ranas) se tienen 15 especies que corresponden a 5 familias. La familia Brachycephalidae con 4 especies: *Craugastor decoratus*, *C. pigmaeus*, *C. rhodopis* y *Syrrhophus verrucipes*, especies de ranas que presentan desarrollo directo (Murrieta, 2007). Las ranitas de hojarasca, como se les conoce a los géneros de *Craugastor* y *Syrrhophus*, constituyen una tercera parte de la riqueza de anfibios del bosque mesófilo de montaña en Xalapa viven siempre en la tierra y no necesitan de cuerpos de agua para completar su ciclo de vida (Pineda, 2007).

La familia Bufonidae presenta 3 especies: *Chaunus marinus*, que se alimenta de una gran cantidad de insectos y pequeños roedores y es considerada como una especie tolerante a las perturbaciones (Bartlett *et al.*, 2001); *Ollotis cristata*, una especie que habita el bosque mesófilo de montaña, es endémica de México, y se encuentra en la lista roja IUCN bajo la categoría de “en peligro crítico” (esta categoría coincide con la categoría “en peligro de extinción” en la clasificación de la NOM-ECOL-059-2001) ; y la especie *O. nebulifer*, que es abundante.

La familia Hylidae presenta 6 especies: *Agalychnis moreleti*, una especie que se encuentra en el la lista roja IUCN bajo la categoría de “en peligro crítico” (esta categoría coincide con la categoría “en peligro de extinción” en la clasificación de la NOM-ECOL-059-2001) ; *Charadrahyla taeniopus*, especie que pasa la mayor parte de su vida en el dosel del bosque mesófilo de montaña y sólo durante unos cuantos días de la época de lluvias baja a los arroyos para aparearse y depositar los huevos en el

agua (Pineda, 2007); *Hyla eximia*, una especie que se alimenta principalmente de insectos (Ruiz, 2003); *Ecnomiohyla miotympanum*; *Scinax staufferi*; y, *Smilisca baudini*, especie que durante la noche busca insectos y arañas que forman parte de su dieta (Ruiz, 2003).

La familia Leptodactylidae está representada por una especie, *Leptodactylus fragilis*, al igual que la familia Ranidae con *Lithobates berlandieri*.

El orden caudata (salamandras) está representado por la familia Pletodontidae que consta de 8 especies: la salamandra *Bolitoglossa platydactylia* de la cual se conoce poco, pero algunos estudios sobre el género han encontrado que estas salamandras se alimentan de insectos, principalmente hormigas, escarabajos y colémbolos (Ortega *et al.*, 2009); *Chiropterotriton* sp.; *Parvimolge towsendi*; *Pseudoeurycea gigantea*; *P. quetzalanensis*; *P. lynchi*; *P.* sp. 1; *P.* sp. 2. Las salamandras del género *Pseudoeurycea* son las salamandras más representativas de México con 31 especies en todo el país, pero su historia natural ha sido pobremente estudiada (Bille, 2000).

Con respecto al comportamiento de forrajeo de los anfibios, existen dos estrategias principales que estos animales han desarrollado para obtener su alimento. Por un lado, muchos anuros han adoptado la estrategia de forrajeo “sit and wait” (esperan a presas de tamaño conspicuo que se mueven sobre la superficie), mientras que el forrajeo activo (encuentran y consumen presas inmóviles) ha sido más frecuentemente observado en salamandras (Duellman y Trueb, 1998).

*Lagartijas.*- De acuerdo con Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) las especies de lagartijas que se han reportado en el municipio de Cuetzalan son: *Celestus legnotus*, que es una especie endémica de México, clasificada como tolerante con respecto a la

perturbación del hábitat, ya que se ha registrado tanto en bosque mesófilo como en zonas agrícolas (López y Canseco-Márquez, 2007); *Gerrhonotus ophiurus*, una especie endémica de México que es poco común, y que habita tanto en bosques primarios como secundarios (Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2007); *Corytophanes hernandezii*; *Laemanctus serratus*, una especie arborícola de bosques tropicales que se encuentra en la categoría de “mínima preocupación” en la UICN (esta categoría coincide con la categoría “sujeta a protección especial” en la NOM-ECOL-059-2001) y sus poblaciones se consideran como estables (Lee *et al.*, 2007); *Sceloporus variabilis*, considerada una especie oportunista ya que puede desplazar a otras especies (Percino, 2000); *Scincella gemmingeri*, una especie endémica de México que se encuentra en bosque de pino encino, bosque tropical perennifolio y bosque mesófilo (Canseco-Márquez, 2007); *Ameiva undulata*, una especie oportunista que puede desplazar a otras especies (Percino, 2000), se alimentan de una gran variedad de artrópodos, crías de roedores y frutos (Rogner 1997); y *Lepidophyma sylvaticum*, que es una especie de hábitos nocturnos y endémica de la Sierra Madre Oriental de México (Mendoza-Quijano, 2007), *Anolis laevis*; *Anolis naufragus*, una especie endémica de México cuyas poblaciones están disminuyendo (Mendoza-Quijano, 2007); *Anolis sericeus*; *Scincella silvicola*, una especie endémica de México que se encuentra tanto en bosques primarios como en zonas agrícolas (Canseco-Márquez y Gutiérrez, 2004). Percino (2000) considera la ausencia del grupo *Anolis* como un indicador del deterioro del hábitat.

### **3.3 La Sociedad Cooperativa Agropecuaria Regional Tosepan Titataniske**

En la década de 1980, Cuetzalan registró una bonanza cafetalera, cuando el precio del café registró su máximo valor histórico. En esos años la producción de café ocurría en monocultivos de sol, que requerían de un intenso uso de fertilizantes y pesticidas, haciendo económicamente arriesgada la producción de café para los agricultores. La adopción del café de sol como cultivo comercial marcó el paisaje natural y social de la zona profundamente, dejando marcas ecológicas que se observan en la disminución de flora y fauna, los suelos erosionados por los agroquímicos y la agricultura transformada (Morán, 2005).

La Sociedad Cooperativa Agropecuaria Tosepan Titataniske (La Tosepan) es una importante organización campesina productora de café. Fue creada en 1977 y actualmente cuenta con aproximadamente 5800 agricultores pertenecientes a 60 comunidades del municipio de Cuetzalan (López-del-Toro *et al.*, 2009). La Tosepan ha contribuido a mantener y promover el autoempleo dentro de sus comunidades, revirtiendo en cierto grado la migración hacia las ciudades y ayudando a sus miembros a conseguir un mejor precio por su producción agrícola (Morán, 2005).

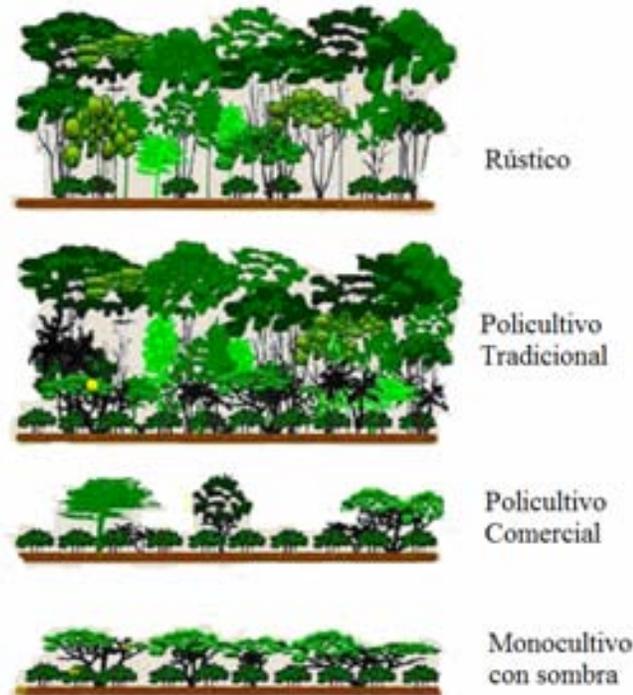
A partir del año de 1978 La Tosepan hace una labor importante al tratar de revertir el daño causado por la adopción del cultivo de café de sol y tiene como actividad principal la producción de café a sombra, siendo el policultivo tradicional el tipo de producción más utilizado por sus agricultores (aproximadamente el 70%). A partir del año 2001 se inició la producción orgánica (sin uso de agroquímicos) con la finalidad de que todas las parcelas se fueran integrando a esta nueva producción. Asimismo se inició la diversificación productiva, y se fueron comercializando nuevos productos como la miel, macadamia, pimienta, canela, licores y frutas. En la

actualidad, La Tosepan cuenta con la certificación de las agencias CERTIMEX y OCIA, así como del sello NATURLAND, para la producción y procesamiento del café orgánico. Con esta certificación han podido ingresar a mercados de alta calidad como el gourmet y a mercados de productos comercializados “solidariamente” o de “comercio justo” (López-del-Toro *et al.*, 2009).

### **3.4 Cafetales y bosque maduro utilizados en este estudio**

Este estudio se llevó a cabo en seis cafetales correspondientes a dos sistemas de producción (Capítulo 1 y 2) y en un sitio de bosque maduro (Capítulo 1).

Los sistemas de producción de café se pueden clasificar de acuerdo al tipo de manejo en: rústico o de montaña, policultivo tradicional, policultivo comercial, monocultivo con sombra y monocultivo bajo sol (Moguel y Toledo, 1999; ver Introducción e Ilustración 2).



**Ilustración 2. Clasificación empleada para los cinco sistemas de producción de café en México. Modificado de Moguel y Toledo, 2005.**

Para definir los sistemas de producción de café y las parcelas que se usarían en este estudio, se hicieron entrevistas (Anexo 1) a un total de 23 agricultores de café pertenecientes a la Cooperativa Tosepan Titataniske en 7 comunidades (San Miguel, Reyes de Ocuilan, Pinahuista, Limonco, San Andrés Tzicuilan y Alahuacapan) y en la cabecera municipal de Cuetzalan. El tamaño de las parcelas visitadas varió entre  $\frac{1}{4}$  ha hasta 2 ha. Sólo se hicieron entrevistas a los agricultores de café orgánico, ya que de esta manera se puede asegurar que no se utilizan agroquímicos que pudieran afectar la presencia de anfibios y lagartijas. Debido a que algunas parcelas aledañas podrían estar utilizando estos productos, algunos agricultores plantan bambú u otro tipo de plantas como barrera contra los agroquímicos evitando de esta manera que afecten a sus cafetales. Las características principales que se tomaron en cuenta para escoger los

sistemas de producción de café a estudiarse fueron la composición y la estructura de la cobertura vegetal. En base a estas variables se pudo distinguir claramente dos tipos de cafetales en el área de estudio: el policultivo comercial y el policultivo tradicional (ver descripción de estos sistemas en Introducción).

Se escogieron seis cafetales para este estudio (Ilustración 1). Para elegir las parcelas de policultivo tradicional se consideró la información obtenida de las entrevistas así como la altitud registrada por el GPS y de esta manera se escogieron las que fueran más similares en términos de altitud, manejo y estructura de la vegetación. Las tres parcelas correspondientes al sistema de policultivo tradicional estuvieron localizadas en las comunidades de San Andrés Tzicuilan y Alahuacapan. Las parcelas de policultivo comercial no ocurren mucho en la zona y se escogieron las tres más accesibles y similares entre sí. Estas tres parcelas de policultivo comercial estuvieron localizadas en la cabecera municipal de Cuetzalan así como en la comunidad de Pinahuista.

Las parcelas que corresponden al sistema de policultivo tradicional muestran una gran diversidad de plantas que acompañan al café. Estas plantas tienen diferentes usos para las familias. Para la construcción utilizan caoba (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*), cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), tarro (*Guadua angustifolia*) y carboncillo (*Persea* sp.). Para el autoconsumo utilizan naranja (*Citrus sinensis*), plátano (*Musa acuminata*), limón (*Randia petensis*), lima (*Citrus aurantiifolia*), mandarina (*Citrus reticulata*), papaya (*Carica papaya*), xocoyoli (*Begonia manicata*) y piña, entre otras. También hay una gran variedad de plantas ornamentales, como chamaque (*Heliconia bihai*), gachupina (*Impatiens walleriana*), y plantas medicinales, como sangre de grado (*Croton draco*), mafafa (*Xanthosoma*

*robustum*) y hoja santa (*Eupatorium macrophyllum*). El café no es la única planta que aprovechan para la venta, también cosechan pimienta (*Pimenta dioica*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), zapote mamey (*Pouteria sapota*), vainilla (*Vainilla planifolia*), maracuyá (*Passiflora edulis*), entre otras. Las parcelas de policultivo tradicional cuentan con una compleja estructura vegetal ya que además de varias especies de árboles del dosel que le dan sombra al café, también hay diversas especies de árboles en el estrato medio y muchas hierbas y arbustos que crecen en el sotobosque junto con el café.

A continuación se describen con más detalles las tres parcelas de policultivo tradicional usadas en este estudio.

**1) Don Antonio.** Se encuentra localizada en la localidad de Alahuacapan (20° 03.174' N, 97° 28.857' O) a una altitud de 677 m, ocupando una extensión de 1.5 ha y está embebida en un continuo de cultivos de café de sombra. Uno de los límites de la parcela es un pequeño arroyo que se encuentra seco casi todo el año.

En esta parcela la composición vegetal es compleja. A continuación se mencionan algunas plantas observadas en la parcela: pimienta (*Pimienta dioica*), zapote mamey, chalahuite blanco (*Inga latibracteata*), chalahuite negro (*Inga punctata*), garrochilla (*Cupania dentata*), carboncillo, sangre de grado (*Croton draco*), mataballo (*Trema micrantha*), plátano (*Musa balbisiana*), mango (*Mangifera indica*), anaya (*Beilschmiedia anay*), guanábana (*Annona muricata*), lima (*Citrus aurantiifolia*), naranja (*Citrus sinensis*), flor de cacaloxochitl (*Plumeria rubra*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), tapicón, tepejilote (*Chamaedora oblongata*), gachupina (*Impatiens balsamina*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), maracuyá (*Pasiflora edulis*), vainilla (*Vainilla planifolia*), flor de azalea (*Rhododendron*

*indicum*), guaje (*Leucaena leucocephala*), mandarina (*Citrus reticulata*), chirimoya (*Annona cherimola*), xocoyolin (*Begonia heracleifolia*), cocuite (*Gliricidia sepium*), saúco (*Sambucus mexicana*), cola de zorra (*Justicia aurea*), tarro (*Guadua angustifolia*), capulincillo (*Conostegia xalapanensis*), lima de limón (*Citrus aurantifolia*), lima de castilla (*Citrus aurantifolia*), zapote negro (*Diopsiros digyna*), chamaqui (*Heliconia bibai*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*) papaya de Castilla (*Caica papaya*) y hormiguillo (*Lopezia racemosa*).

**2) Don Arnulfo.** Se encuentra localizada en la localidad de Alahuacapan cerca de la parcela de Don Antonio (20° 03.199' N, 97° 28.813' O), a una altitud de 663 m, ocupando un área de 0.3 ha. Esta parcela cuenta con un estanque del que antiguamente se aprovechaba el agua y que ahora sólo permanece como ornamento. Sin embargo, los propietarios planean secar el estanque ya que actualmente cuentan con una pileta como abastecedora de agua y el estanque significa un riesgo ante la problemática del dengue en la zona.

La composición de esta parcela es compleja ya que es muy diversa y sólo se mencionan algunas especies de plantas abundantes: chalahuite blanco (*Inga latibracteata*), sangre de grado (*Croton draco*), pimienta (*Pimienta dioica*), zapote mamey (*Pouteria sapota*), jonote (*Heliocarpus appendiculatus*), pagua (*Persea schiedeana*), anayo (*Beilschiedia anaya*), mango (*Manguifera indica*), rosa de Castilla (*Rosa centiflora*), Hortensia (*Hydrangea macrophylla*), gachupina (*Impatiens balsamina*), chamaqui (*Heliconia bihai*), flor de mayo (*Plumeria rubra*), saúco (*Sambucus mexicana*), naranja (*Citrus sinensis*), papaya (*Carica cauliflora*), plátano (*Musa acuminata*).

**3) Doña Mica.** Se encuentra localizada en la localidad de San Andrés Tzicuilan (20° 00.779' N, 97° 30.142' O), a una altitud de 908 m, ocupando una superficie de 1 ha. A menos de 500 m de la parcela se encuentra la cascada de Las Brisas (un lugar muy concurrido por turistas los fines de semana).

La composición vegetal de esta parcela es compleja ya que es muy diversa y sólo se mencionan algunas especies de plantas: guaparron (*Phytolacca rivinoides*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), palma de coco (*Scheelea liebmannii*), tepejilote (*Chamaedora oblongata*), plátano (*Musa acuminata*), naranja (*Citrus sinensis*), naranja agria (*Citrus aurantium*), toronja (*Citrus paradisi*), maracuyá (*Pasiflora edulis*), chamaqui (*Heliconia bibai*), papaya corriente (*Carica cauliflora*), pimienta (*Pimenta dioica*), hoja santa (*Eupatorium chiapense*), bienvenido (*Tapiria mexicana*), cedro rosado (*Cedrela odorata*), chalahuite blanco (*Inga latibracteata*), flor de muerto (*Tajetes erecta*), gordolobo (*Gnaphalium salicifolium*), jonote (*Heliocarpus appendiculatus*), zapote negro (*Diopyros digyna*), lirio rojo (*Hippeastrum puniceum*), huele de noche (*Cestrum nocturnum*), gachupina (*Impatiens balsamina*), capulincillo (*Parathesis psychotrioides*), tabaquillo (*Limpia pringlei*), chile varilla (*Polygonum mexicanum*), balletilla (*Hamelia patens*), capulín de monte (*Conostegia xalapensis*), mataballo (*Trema micrantha*), encino (*Quercus elliptica*), chayote (*Sechium edule*), sangre de grado (*Croton draco*), mafafa (*Xanthosoma robustum*), guayaba de leche (*Psidium guajava*), lima limón (*Citrus aurantiifolia*), carboncillo, chiltepin (*Capsicum annuum*), tepetomate (*Pseudolmedia oxyphyllaria*), durazno (*Prunus persica*), noche buena (*Euphorbia pulcherrima*), zapote blanco (*Casimiroa edulis*), teléfono (*Syngonium podophyllum*).

A diferencia de las parcelas de policultivo tradicional, las parcelas del sistema de policultivo comercial cuentan con pocas especies de plantas además del café, y éstas se usan para venta, no para autoconsumo. En algunas parcelas todos los árboles han sido plantados ya que en el pasado fueron zonas de pastoreo y actualmente han sido transformadas para el cultivo del café de sombra. Se encuentran principalmente cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), pimienta (*Pimenta dioica*) canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y carboncillo (*Persea sp.*). La estructura vegetal no es muy compleja en este sistema ya que además del café en el sotobosque sólo se encuentran las especies de árboles arriba mencionados, existiendo un estrato medio muy abierto.

A continuación se describen con más detalle las tres parcelas de policultivo comercial utilizadas en este estudio.

**1) Potrero Ing. Álvaro.** Esta parcela se encuentra localizada cerca del casco del Municipio de Cuetzalan a un lado de las cabañas de La Tosepan (20° 02.072' N, 97° 31.547' O) a una altitud de 856 m, ocupando una extensión de 2 ha. Se encuentra adyacente a un potrero por uno de sus lados y por otro se conecta a un remanente de bosque secundario. La especie de árbol que principalmente da sombra al café es el cedro rosado pero también se encuentran árboles de chalahuite (*Inga sp.*), colorín (*Eritrina americana*), pimienta (*Pimenta dioica*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y tarro (*Guadua angustifolia*).

**2) Casa Ing. Álvaro.** Se localiza cerca de la parcela anterior (20° 02.005' N, 97° 31.409' O) a una altitud de 871 m y ocupando una superficie de 1 ha. Durante el tiempo de estudio, esta parcela estuvo habitada por un grupo de gallinas de aproximadamente 20 individuos lo cuál tuvo efecto sobre algunos de los resultados

(ver más adelante). En esta parcela hay árboles de cedro rosado, chalahuite (*Inga sp.*), pimienta (*Pimenta dioica*), tarro (*Guadua angustifolia*), macadamia (*Macadamia integrifolia*), naranja (*Citrus sinensis*) y toronja (*Citrus paradisi*).

**3) Vivero de La Tosepan.** Se encuentra localizada en la localidad de Xilozochico (20° 02.875' N, 97° 29.456' O), a una altitud de 689 m, ocupando una superficie de 2 ha. Por uno de sus lados, esta parcela colinda con las instalaciones del vivero y mariposario de La Tosepan, y cerca de allí se encuentra la carretera federal. Por sus otros lados la parcela colinda con otros cultivos de café. Con respecto a la composición vegetal, en esta parcela hay árboles de cedro rosado, pimienta (*Pimenta dioica*), chalahuite (*Inga sp.*) y tarro (*Guadua angustifolia*).

El sitio de bosque maduro que se usó para el Capítulo 1 se encuentra en la localidad de San Andrés Tzicuilan (20°00.536' N, 97°30.327' O) a una altitud de 850 m, en una reserva ecológica de 9 ha perteneciente a La Tosepan. En este lugar la cooperativa ha tratado de impulsar el ecoturismo ofreciendo a sus visitantes actividades que permitan estar en contacto con la naturaleza. Esta reserva se encuentra dividida en dos partes, una de 3 ha que se encuentran cerca del Río Apulco, y que fue donde se realizó el muestreo de la herpetofauna, y la otra de 6 ha que se encuentra cerca de la cascada Las Brisas. Este bosque presenta plantas propias del bosque mesófilo de montaña como helechos arborescentes con más de 100 años de antigüedad, pero también tiene plantas de los géneros *Cecropia*, *Ficus*, *Cedrela* y *Clethra* como indicadoras de bosque tropical perennifolio. Además presenta plantas introducidas que indican cierto grado de daño antropogénico, como la gachupina (*Impatiens balsamina*) (J. D. Tejero, com. pers). Por lo tanto, la vegetación de este

sitio corresponde a una vegetación de transición entre el bosque tropical perennifolio y el bosque mesófilo de montaña, al que nos referimos en lo subsecuente como “bosque”. Sólo se utilizó un sitio de bosque debido a que no hay otros en la región que fueran del tamaño adecuado, de fácil acceso y que se encontraran dentro del rango altitudinal de los cafetales estudiados.

## **4. CAPITULO 1. Riqueza, abundancia y diversidad de anfibios y lagartijas en cafetales de sombra**

### **4.1 Introducción**

Recientemente se ha planteado un nuevo paradigma para la conservación de la biodiversidad en regiones de bosques tropicales, el cual consiste en promover matrices agrícolas con alto valor de conservación (Perfecto y Vandermeer, 2008). En este sentido se ha planteado que agroecosistemas de sombra, tales como el café de sombra, debido a su complejidad en la estructura de la vegetación pueden funcionar como hábitat para un gran número de especies vegetales y animales (Vandermeer y Perfecto, 2007).

Sin embargo, existe controversia con respecto a la conveniencia de promover los cultivos de café de sombra por su supuesta eficacia en la conservación de la biodiversidad. Un estudio que apoya la hipótesis de que los cafetales con sombra son importantes para el mantenimiento de la diversidad en México, es el de Cruz-Lara (2004), quien comparó la diversidad de mamíferos en cafetales de sombra y selva mediana en la Lacandona, Chiapas, sin encontrar diferencias en la diversidad que presentan los cafetales y el ecosistema natural. De manera similar, Macip-Ríos y Muñoz-Alonso (2008) compararon la diversidad de lagartijas en cafetales de sombra y bosque primario en el soconusco chiapaneco, encontrando que la diversidad de lagartijas es mayor en los cafetales con sombra diversificada de baja altitud que en los sitios de vegetación primaria. Por otro lado, algunos autores no están de acuerdo con la hipótesis de que los cafetales con sombra son importantes para el mantenimiento de la

diversidad. Por ejemplo, Rappole *et al.* (2003) consideran que el cultivo de café de sombra no provee de servicios ecosistémicos comparables al del bosque nativo, cuando el primero reemplaza al segundo. Basados en esta conclusión, dichos autores consideran que la promoción del cultivo de café de sombra es arriesgada, ya que constituye un incentivo para convertir grandes extensiones de bosque primario en plantaciones de café de sombra, que a su vez, en el futuro, podrían convertirse en otro sistema de cultivo con muy bajo valor para la conservación.

Con respecto a la herpetofauna, en particular, se ha evaluado el impacto que la agricultura ejerce sobre la comunidad de lagartijas. Por ejemplo, en República Dominicana, Glor *et al.* (2001) compararon la diversidad y abundancia de las lagartijas en diferentes sistemas agrícolas: pastizales, plantaciones de cacao, plantaciones de palma de aceite, plantaciones de coco, y huertos familiares. Ellos observaron que la riqueza de especies de lagartijas es menor en los sitios en donde se tiene una alteración del hábitat muy reciente o muy severa. En los sitios agrícolas, en general, se observó una riqueza baja de lagartijas, aproximadamente el 54% de las especies de lagartijas de la región. Sin embargo, los diferentes sistemas agrícolas difirieron considerablemente en su capacidad para albergar lagartijas. Por ejemplo, el pastizal mostró una riqueza de 2 especies mientras que las plantaciones de palma de aceite y cacao mostraron una riqueza de 5 especies. Asimismo, los sitios de agricultura abandonados mostraron un ligero incremento en la riqueza de especies de lagartijas (69%), en comparación con los sitios bajo producción activa.

En Costa Rica, Heinen (1992) comparó la herpetofauna de la hojarasca en el bosque lluvioso con aquella presente en plantaciones de cacao con diferentes grados de abandono. Observó que la abundancia y biomasa de la herpetofauna era mayor en

sitios que habían sido recientemente perturbados, pero que la riqueza y la diversidad eran mayores en sitios donde el tiempo desde el abandono era mayor. Sus resultados muestran que la restauración de la herpetofauna es un proceso lento y que la presencia del bosque primario es importante para el mantenimiento de algunas especies raras.

Específicamente, sobre anfibios y reptiles en cafetales de México se han publicado algunos trabajos: Percino (2000), Salazar (2001), Martínez (2003), Pineda y Halffter (2004), Pineda *et al.*, (2005), Murrieta (2007), Macip-Ríos y Muñoz-Alonso (2008), Macip-Ríos y Casas-Andreu (2008). Algunos de estos autores concluyen que los cafetales de sombra pueden ser buenos para la conservación de la herpetofauna, y otros concluyen lo contrario. En este capítulo se pretende aportar elementos que enriquezcan la información existente acerca de las comunidades de anfibios y lagartijas que habitan en cafetales de sombra. En particular, se pretende comparar los ensambles de estos animales en dos tipos de sistemas de producción de café de sombra y un fragmento de bosque, contribuyendo de esta manera a la discusión sobre la conveniencia del cultivo de café de sombra como estrategia para la conservación de la biodiversidad de este grupo faunístico en México.

## **4.2 Objetivo**

Cuantificar la riqueza, abundancia y diversidad de anfibios y lagartijas en dos modalidades de cultivos de café de sombra: sistema de policultivo tradicional y sistema de policultivo comercial, así como en un sitio de bosque conservado.

### 4.3 Hipótesis

*Hipótesis Nula:* La riqueza, abundancia y diversidad de lagartijas y anfibios será similar en ambas modalidades de café y en el bosque.

*Hipótesis Alternativa:* La riqueza, abundancia y diversidad de lagartijas y anfibios será distinta en los dos tipos de cafetal y en el bosque.

### 4.4 Métodos

**4.4.1 Sitios de estudio.** El estudio fue realizado en siete sitios de muestreo: tres cafetales de policultivo tradicional, tres cafetales de policultivo comercial y un sitio de bosque maduro. Cada sitio de estudio tenía un área de 3000 m<sup>2</sup>. A continuación se enumeran y se dan datos de la ubicación de los siete sitios de estudio. Más detalles sobre las características del área de estudio y de los sitios de estudio pueden encontrarse en la sección “AREA DE ESTUDIO” (ver arriba, Ilustración 1).

Los cafetales que se usaron dentro de la modalidad de policultivo tradicional fueron: la parcela de **Don Antonio** (1.5 ha), que se encuentra en la localidad de Alahuacapan (20° 03.174' N, 97° 28.857' O) a una altitud de 677 m; la parcela de **Don Arnulfo** (0.3 ha) que se encuentra en la localidad de Alahuacapan cerca de la parcela de Don Antonio (20° 03.199' N, 97° 28.813' O) a una altitud de 663 m; y la parcela de **Doña Mica** (1 ha) que se encuentra en la localidad de San Andrés Tzicuilan (20°00.779' N, 97° 30.142' O) a una altitud de 908 m (ver Ilustración 1).

Los sitios de cafetales de policultivo comercial fueron : la parcela **Potrero Ing. Álvaro** (2 ha), localizada cerca del casco del Municipio de Cuetzalan a un lado de las cabañas de La Tosepan (20° 02.072' N, 97° 31.547' O) a una altitud de 856 m; la parcela **Casa Ing. Álvaro** (1 ha) cercana a la anterior (20° 02.005' N, 97° 31.409' O) y

a una altitud de 871 m; y la parcela **Vivero de La Tosepan** (2 ha), ubicada en la localidad de Xilozochico (20° 02.875' N, 97° 29.456' O) a una altitud de 689 m.

Finalmente, el sitio de bosque se ubicó dentro de una reserva ecológica (3 ha) perteneciente a la Cooperativa Tosepan Titataniske que se encuentra en la localidad de San Andrés Tzicuilan (20°00.536' N, 97°30.327' O) a una altitud de 850 m.

**4.4.2 Muestreo de anfibios y lagartijas.** Se hicieron un total de 10 salidas de muestreo entre marzo del 2008 y julio del 2009. En cada salida, se trató de muestrear cada uno de los cafetales (3000 m<sup>2</sup>) con 2 personas durante un periodo de 7 horas (4 horas durante el día y 3 durante la noche). No siempre fue posible muestrear cada uno de los seis cafetales. Sin embargo, en salidas subsecuentes se compensaba el muestreo de tal manera que al final del estudio se obtuvo el mismo esfuerzo de muestreo en cada uno de los tres cafetales de policultivo tradicional (420 horas/hombre) y tres cafetales de policultivo comercial (420 horas/hombre). En el caso del sitio de bosque los muestreos se realizaron con 4 o 5 personas (314 horas/hombre). Para compensar un poco la falta de réplica espacial en el caso del bosque maduro, se muestrearon diferentes áreas dentro de este sitio (cerca del río, en los estanques y en el bosque).

La captura de lagartijas se realizó utilizando un método activo (Jones 1986), que consiste en caminar levantando troncos caídos, haciendo una búsqueda visual sobre los troncos, ramas y hojas de las plantas. Cada individuo capturado se marcó por digitomización de falanges (Jones 1986). En cada salida se determinaba cuál dedo sería cortado de modo que a todos los individuos encontrados en una salida se les amputaba la misma falange. Si en siguientes muestreos se registraban individuos marcados estos eran considerados como recapturas y no eran marcados nuevamente La

identificación de los individuos se hizo utilizando una guía fotográfica de las especies ya registradas en la localidad, claves taxonómicas y en algunos casos se recurrió a la Colección Herpetológica del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, en donde los organismos fueron depositados para su identificación por expertos.

**4.4.3 Análisis de datos.** Para comparar los éxitos de captura en los diferentes sistemas de producción y bosque primero se obtuvieron los intervalos de confianza al 95% alrededor de los promedios de cada tipo de cafetal, por último se comparó el valor del éxito de captura del bosque con los intervalos de confianza de cada uno de los tipos de cafetal. Para comparar la abundancia de anfibios en los tipos de cafetal, se realizó una prueba *t* de *Student*. Para comparar la abundancia de anfibios del bosque con los tipos de cafetal, se obtuvieron los intervalos de confianza de los tipos de cafetal y se comparó el valor total del bosque con cada uno de los intervalos de confianza de los tipos de cafetal. Para comparar la abundancia de lagartijas en los tipos de cafetal y bosque se siguió el mismo procedimiento descrito arriba. Se realizó una prueba de independencia entre las abundancias totales (anfibios y lagartijas) y los tipos de hábitat (cafetal y bosque). Se construyeron gráficas de rango abundancia. Para la construcción de estas gráficas se definió  $n_i$  como el número de individuos de la especie  $S_i$ , y  $n$  se definió como el total de individuos observados en un sitio. Para la gráfica se calcularon los valores de  $p_i$ , donde  $p_i = \frac{n_i}{n}$ , después se calculó el logaritmo en base 10 de cada valor de  $p_i$  y estos valores se ordenaron de mayor a menor (Feinsinger, 2001).

Para evaluar la riqueza de especies se obtuvo el número total de especies observadas en cada unidad de muestreo (Magurran, 2004). Para comparar la riqueza observada en los dos sistemas de producción de café y el fragmento de bosque se construyeron las curvas de rarefacción. Se usó la rarefacción basada en individuos y se graficó el valor de Mao Tau, que es un valor esperado del número de especies para un nivel dado de captura, usando el programa EstimateS 7.5 (Colwell *et al.*, 2004).

Los estimadores de riqueza real ACE, ICE, Chao 2 y Bootstrap son útiles cuando las curvas de acumulación no llegan a la asíntota, ya que cuando esto ocurre, la riqueza real de un lugar generalmente es mayor a la observada en el muestreo, pero es un valor desconocido. Se calcularon estos cuatro estimadores no paramétricos con el programa EstimateS versión 7.5, empleando 500 iteraciones.

La diversidad consiste de dos componentes, la riqueza de especies y la abundancia relativa de cada especie. Para expresar la diversidad, se empleó el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) que es calculado con la proporción de cada especie en la muestra total de individuos de acuerdo con la fórmula:

$$H' = \frac{n \log n - \sum_{i=1}^k f_i \log f_i}{n}$$

Donde  $k$  es el número de especies encontradas en cada sitio,  $n$  es el número total de individuos observados para todas las especies y  $f_i$  es el número de individuos observados para la especie  $i$  (Zar, 1999). Posteriormente, para hacer las comparaciones pareadas de la diversidad entre los cafetales y el bosque se utilizó el método de Bonferroni para corregir el nivel de significancia.

## 4.5 Resultados

*Abundancia.*- Se tuvo un esfuerzo total en este estudio de 1154 horas/hombre. En cada uno de los sitios pertenecientes a los sistemas de producción de café de sombra, el esfuerzo de muestreo realizado fue de 140 horas/hombre, de tal manera que para cada uno de los dos sistemas de producción se tuvo un esfuerzo de muestreo de 420 horas/hombre y para el sitio de bosque se tuvo un esfuerzo de 314 horas/hombre.

La abundancia total (todas las especies) fue de 435 individuos, siendo mayor en el policultivo tradicional, seguida del bosque y por último el policultivo comercial (Tabla 1).

**Tabla 1.** Abundancia total y éxito de captura (individuos capturados por unidad de esfuerzo de muestreo) de anfibios y lagartijas en cada una de las seis parcelas de producción de café de sombra y el bosque. P T = parcela de policultivo tradicional y P C = parcela de policultivo comercial.

	<b>P T</b> <b>Antonio</b>	<b>P T</b> <b>Arnulfo</b>	<b>P T</b> <b>Mica</b>	<b>P T</b> <b>Total</b>	<b>P C</b> <b>Potrero</b>	<b>P C</b> <b>Casa</b>	<b>P C</b> <b>Vivero</b>	<b>P C</b> <b>Total</b>	<b>Bosque</b>
<b>No. de individuos</b>	138	41	43	222	40	1	35	76	137
<b>Éxito de captura (animales por hora/hombre)</b>	0.98	0.29	0.31	0.53	0.28	0.01	0.25	0.18	0.43

Para comparar los éxitos de captura en los diferentes sistemas de producción se calcularon los intervalos con 95% de confianza alrededor de los promedios de cada sistema de producción. El intervalo para el sistema tradicional va de -0.19 a 1.25, mientras que el correspondiente al sistema comercial va de -0.09 a 0.45. Al comparar estos intervalos de confianza se puede observar que estos se sobrelapan por lo que no hay diferencias significas entre los éxitos de captura entre los dos tipos cafetales. Finalmente se observó que el valor del éxito de captura del bosque (0.43) cae dentro de

los intervalos de confianza de los dos tipos de cafetal por lo tanto no hay diferencias significativas entre el éxito de captura del bosque y los tipos de cafetal.

Para comparar las abundancias de anfibios y lacertilios en los dos tipos de cafetal y bosque (Tabla 2), primero, las abundancias de anfibios de los dos tipos de cafetal se analizaron con la prueba  $t$  de *Student*, la cual no mostró una diferencia significativa entre la abundancia de anfibios por tipo de cafetal ( $t = 1.73$ ;  $p = 0.16$ ;  $g.l = 4$ ). Posteriormente se determinaron los intervalos de confianza al 95% en cada tipo de cafetal. Para anfibios en policultivo tradicional fue de -7.22 a 102.5; para anfibios en policultivo comercial fue de -17.7 a 47.7. Por último se comparó el valor de la abundancia de anfibios en el bosque (98) y se observó que este valor no cae dentro de los intervalos de confianza del policultivo comercial por lo tanto sí hay diferencias significativas entre la abundancia de anfibios del policultivo comercial y el bosque. En el caso de los lacertilios, se hizo una prueba de  $t$  de *Student* para las abundancias de lagartijas en los dos tipos de cafetal. En esta prueba no se observan diferencias significativas ( $t = 0.93$   $p = 0.40$   $g.l = 4$ ). Posteriormente, se obtuvieron los intervalos de confianza al 95% para los tipos de cafetal. Los intervalos de confianza para el policultivo tradicional fueron de -27.5 a 80.2 y para el policultivo comercial de -11.9 a 32.6. Por último se comparó el valor de la abundancia de lagartijas en el bosque (39) y se observa que este valor no cae dentro de los valores de confianza del policultivo comercial por lo que sí hay diferencias significativas entre la abundancia de lagartijas en el policultivo comercial y el bosque.

**Tabla 2.** Abundancia de anura (ranas y sapos), caudata (salamandras) y squamata (lagartijas) por sitios en los dos sistemas de producción de café y el bosque. (P T) policultivo tradicional, (P C) policultivo comercial.

Orden	P T	P T	P T	P T	P C	P C	P C	P C	Bosque
	Antonio	Arnulfo	Mica	TOTAL	Potrero	Casa	Vivero	TOTAL	
Anura	79	32	28	139	20	0	12	32	92
Caudata	1	0	3	4	13	0	0	13	6
Squamata	58	9	12	79	7	1	23	31	39

La prueba de chi cuadrado de independencia para las frecuencias de anfibios y lagartijas en los diferentes sistemas de producción y el bosque no fue estadísticamente significativa ( $\chi^2 = 3.65$ ,  $d.f. = 5$ ,  $P = 0.60$ ), por lo que no se puede concluir que la abundancia relativa de anfibios y lagartijas dependa del sistema de producción o bosque.

**Tabla 3.** Abundancia relativa (expresada en porcentajes) de los ordenes anura (ranas y sapos), caudata (salamandras) y squamata (lagartijas) en los dos sistemas de producción de café de sombra y el bosque.

Orden	Policultivo	Policultivo	Bosque
	Tradicional	Comercial	
Anura	62	42	67
Caudata	2	17	4
Squamata	36	41	29

El grupo taxonómico más abundante en el estudio fue el de los anuros (Tabla 3 y Tabla 3) siendo la ranita *Craugastor rhodopis* la más dominante (Figura 1) en los dos sistemas de producción de café de sombra, y la ranita *Ecnomiohyla miotympanum* en el bosque. En el grupo de las lagartijas, de acuerdo a las gráficas de rango-abundancia (Figura 2) los tres sitios varían en cuanto a cuál es la especie dominante. Para el sistema de producción de policultivo tradicional hay dos especies de lagartijas que dominan el ensamble: *Anolis naufragus* y *Scincella silvícola*. En el sistema de producción de policultivo comercial, *Sceloporus variabilis* y *Corytophanes*

*hernandezii* son las lagartijas más abundantes. En el bosque *Scincella silvicola* es la lagartija más abundante.

Las especies catalogadas como raras (especies  $\leq 10$  individuos: Magurran, 2004), en cada sistema, fueron: la ranita *Lithobates berlandieri* en el sistema de policultivo tradicional; la salamandra *Pseudoeurycea cephalica* y la ranita *Craugastor decoratus* en el sistema de policultivo comercial; y la ranita *Craugastor pygmaeus* para el bosque (Figura 3).

La gráfica de rango abundancia de anfibios (Figura 1) muestra que en el policultivo tradicional y en el bosque la equitatividad entre las especies es menor, ya que la pendiente es más pronunciada, en comparación con el policultivo comercial (pendiente menos pronunciada).

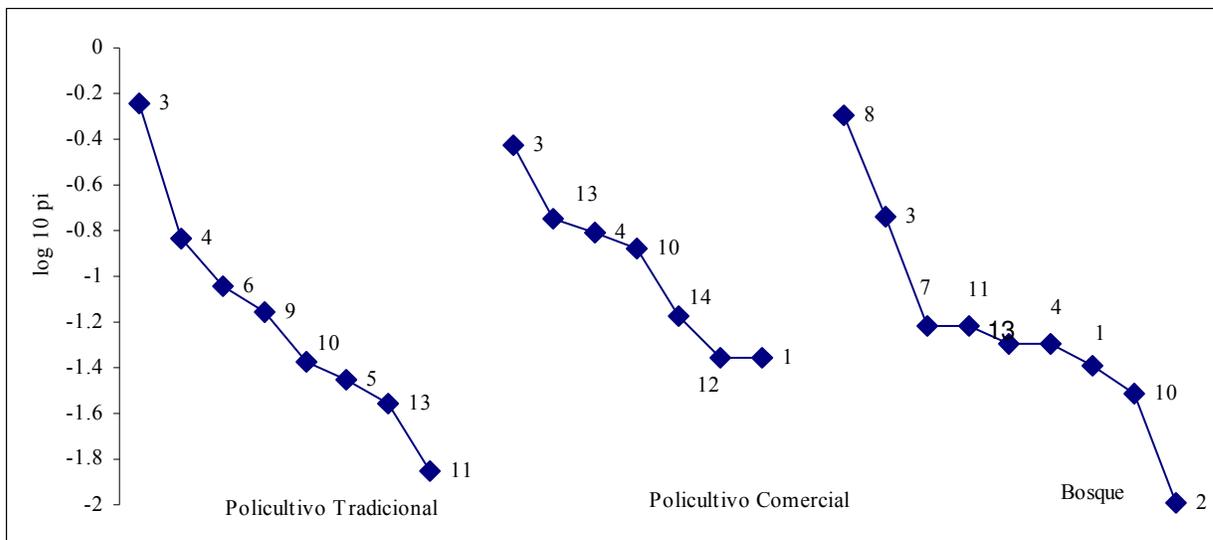
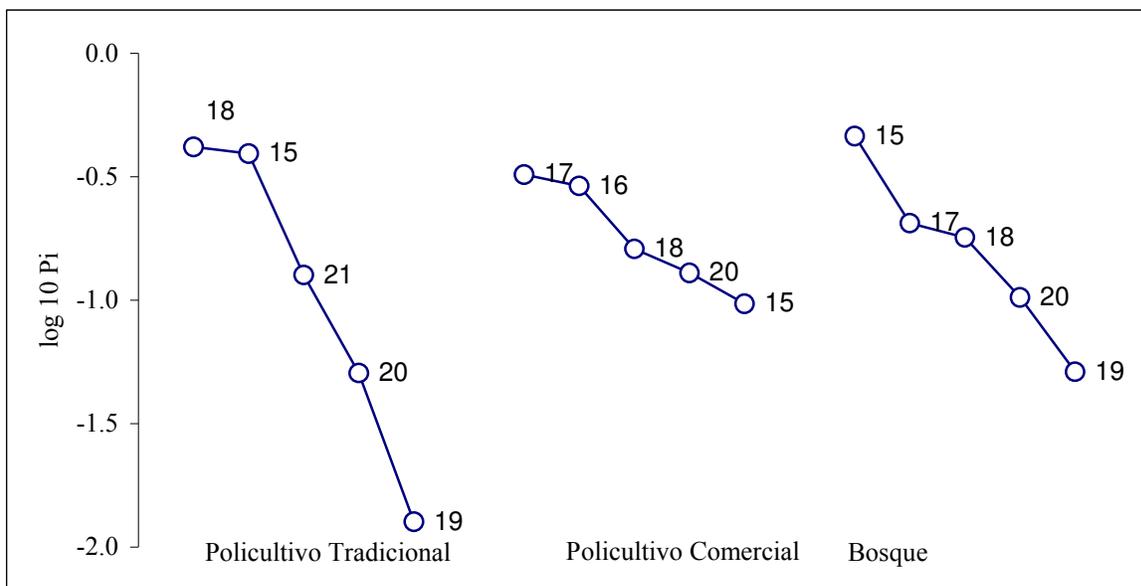


Figura 1. Gráfica de rango-abundancia de anfibios en los dos sistemas de producción de café de sombra y el bosque. Los números indican las especies cuyos nombres se encuentran enumerados en el Anexo 2.

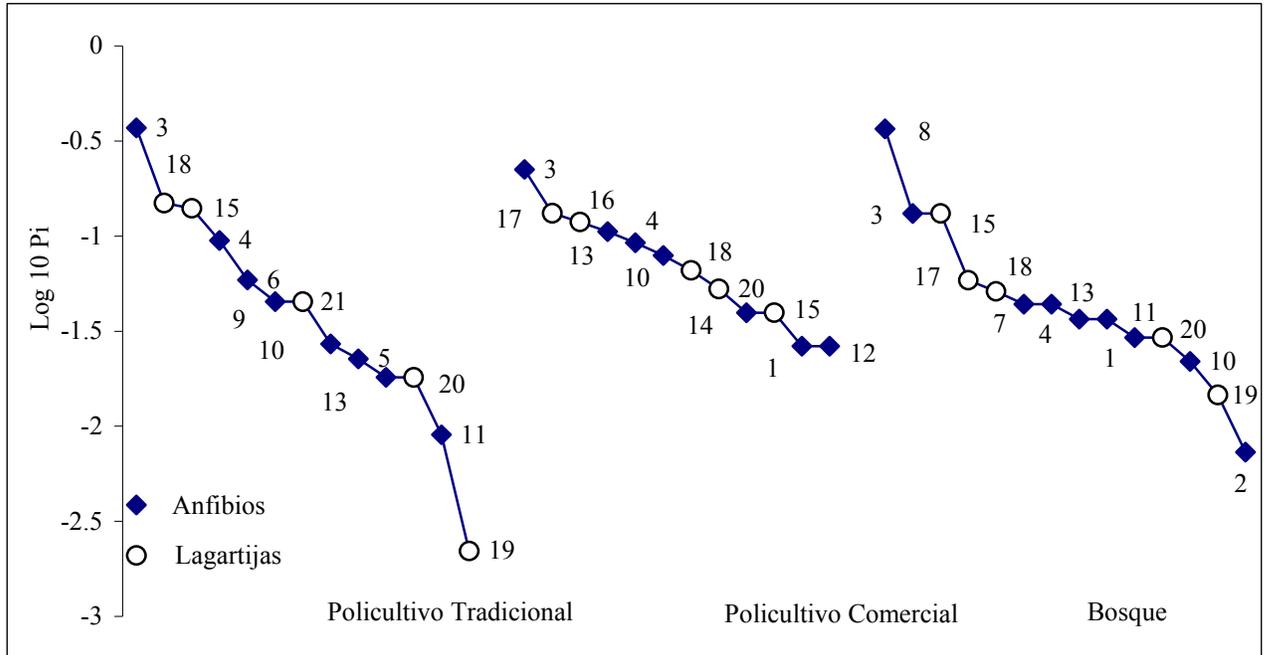
La gráfica de rango abundancia de lagartijas (Figura 2) muestra que en el policultivo tradicional hay poca equitatividad debido a la dominancia marcada de dos

especies. En el bosque una especie, la cuál es exclusiva del bosque, es la que domina sobre el resto de las especies, pero la pendiente de la curva es menos pronunciada, mostrando una equitatividad mayor del ensamble en comparación al policultivo tradicional. En el policultivo comercial nuevamente se observa, al igual que con los anuros, que las especies de lagartijas se encuentran repartidas de manera más equitativa que en los otros hábitats.



**Figura 2.** Gráfica de rango-abundancia de lagartijas en los dos sistemas de producción de café de sombra y el bosque. Los números indican las especies cuyos nombres se encuentran enumerados en el Anexo 2.

Al juntar lagartijas y anfibios, se observa que la gráfica de rango abundancia del policultivo tradicional presenta la pendiente más pronunciada, por lo que el ensamble de lagartijas y anfibios muestra la menor equitatividad. El bosque muestra una equitatividad intermedia, mientras que el policultivo tradicional muestra la mayor equitatividad en la estructura del ensamble de lagartijas y anfibios.



**Figura 3.** Gráfica de rango-abundancia de anfibios y lagartijas en los dos sistemas de producción de café y el bosque. Los números indican las especies cuyos nombres se encuentran enumerados en el Anexo 2.

*Riqueza de especies.*- Considerando los siete sitios de estudio se encontró un total de 435 organismos pertenecientes a 21 especies: 14 de anfibios y 7 lagartijas (Tabla 4, 5 y 6). Los anfibios encontrados pertenecen a 10 géneros, que a su vez pertenecen a 5 familias, correspondientes a los órdenes Anura y Caudata. Las familias registradas son Brachycephalidae, Bufonidae, Hylidae, Ranidae y Pletodontidae (Tabla 4 y 6). Las especies de lagartijas representaron 6 familias y 6 géneros (Tabla 4 y 5).

**Tabla 4.** Número de taxa de anura (ranas y sapos), caudata (salamandras) y squamata (lagartijas) registrados en los siete sitios de estudio.

Orden	Familias	Géneros	Especies	% del total de especies
Anura	5	9	11	63
Caudata	1	1	3	5
Squamata	6	6	7	32
<b>TOTAL</b>	12	16	21	100

El sitio donde se registraron más especies de anfibios fue el bosque, con 9 especies, seguido por el sistema de policultivo tradicional con 8 especies y por último el sistema de policultivo comercial con 7 especies de anfibios (Tabla 5). La riqueza de especies de lagartijas fue la misma en los dos sistemas de producción de café de sombra y en el fragmento de bosque registrándose un total de 5 especies en cada uno de los tres tipos de hábitat (Tabla 6).

Siete especies estuvieron presentes en ambos tipos de cafetal así como en el bosque: las ranas *Smilisca baudini*, *Craugastor rhodopis* y *Syrrhophus verrucipes*, la salamandra *Pseudoeurycea quetzalensis*, y las lagartijas *Scincella silvicola*, *Anolis naufragus* y *Ameiva undulata*. Cinco especies fueron encontradas exclusivamente en las parcelas de policultivo tradicional: las ranas *Ollotis nebulifer*, *Agalychnis moreleti*, *Scinax staufferi* y *Lithobates berlandieri*, y la lagartija *Lepidophyma sylvaticum*. Tres especies fueron encontradas exclusivamente en las parcelas de policultivo comercial: las salamandras *Pseudoeurycea cephalica* y *Pseudoeurycea sp.*, y la lagartija *Corytophanes hernandezii*. Tres especies fueron encontradas exclusivamente en el bosque: las ranitas *Craugastor pygmaeus*, *Charadrahyla taeniopus* y *Ecnomiohyla miotympanum*.

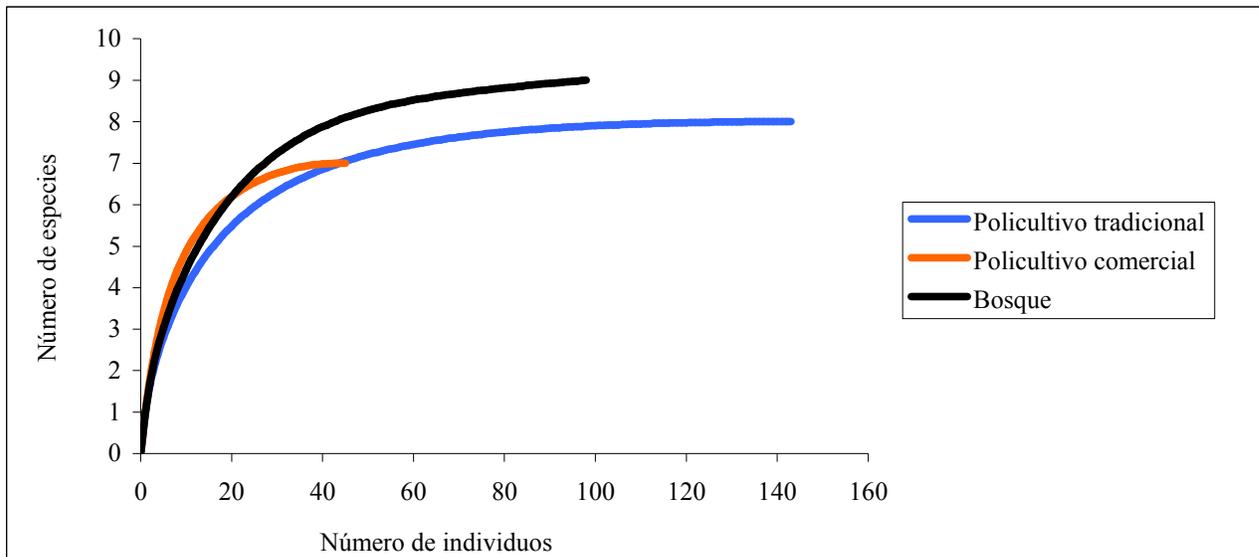
**Tabla 5.** Especies de anfibios y sus abundancias en los dos sistemas de producción de café y el bosque.

	Policultivo Tradicional	Policultivo Comercial	Bosque
Clase: AMPHIBIA			
Orden: ANURA			
<b>Familia: Brachycephalidae</b>			
<i>Craugastor decoratus</i>	-	2	4
<i>Craugastor pygmaeus</i>	-	-	1
<i>Craugastor rhodopis</i>	82	17	18
<i>Syrrhophus verrucipes</i>	21	7	5
<b>Familia: Bufonidae</b>			
<i>Ollotis nebulifer</i>	5	-	-
<b>Familia: Hylidae</b>			
<i>Agalychnis moreleti</i>	13	-	-
<i>Charadrahyla taeniopus</i>	-	-	6
<i>Ecnomiohyla miotympanum</i>	-	-	50
<i>Scinax staufferi</i>	10	-	-
<i>Smilisca baudini</i>	6	6	3
<b>Familia: Ranidae</b>			
<i>Lithobates berlandieri</i>	2	-	5
Orden: CAUDATA			
<b>Familia: Pletodontidae</b>			
<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	-	2	-
<i>Pseudoeurycea quetzalensis</i>	4	8	6
<i>Pseudoeurycea sp.</i>	-	3	-
RIQUEZA TOTAL	8	7	9
ABUNDANCIA	143	45	98

**Tabla 6.** Especies de lagartijas y sus abundancias en los dos sistemas de producción de café y el bosque.

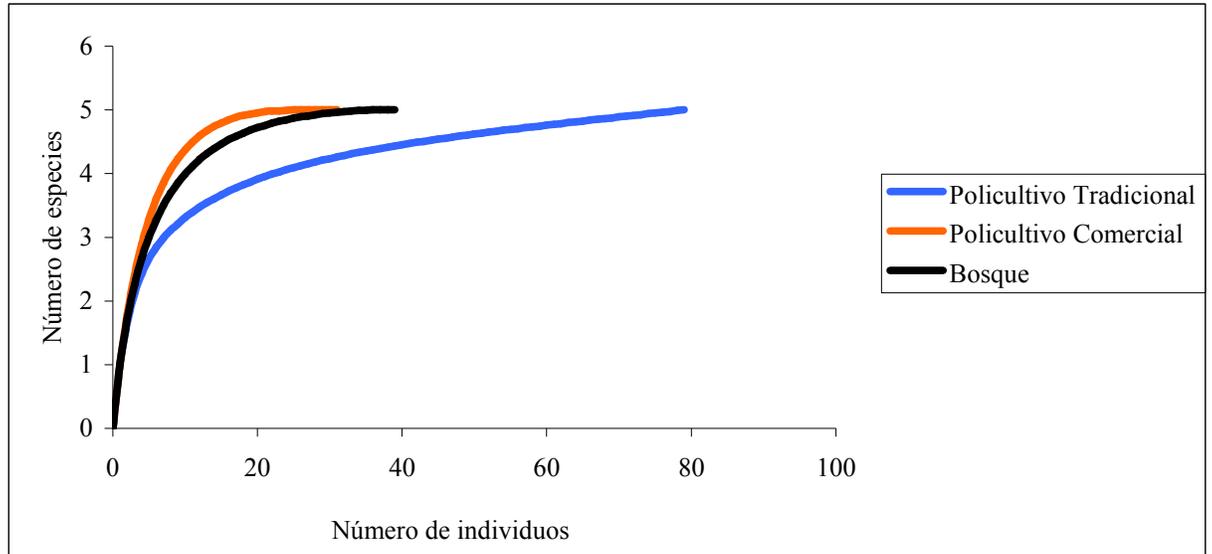
	Policultivo Tradicional	Policultivo Comercial	Bosque
Clase: REPTILIA			
Orden: SQUAMATA			
<b>Familia: Anguidae</b>			
<i>Cincela silvicola</i>	31	3	18
<b>Familia: Corytophanidae</b>			
<i>Corytophanes hernandezii</i>	-	9	-
<b>Familia: Phrynosomatidae</b>			
<i>Sceloporus variabilis</i>	-	10	8
<b>Familia: Polychrotidae</b>			
<i>Anolis naufragus</i>	33	5	7
<i>Anolis laeviventris</i>	1	-	2
<b>Familia: Teiidae</b>			
<i>Ameiva undulata</i>	4	4	4
<b>Familia: Xantusidae</b>			
<i>Lepidophyma sylvaticum</i>	10	-	-
RIQUEZA TOTAL	5	5	5
ABUNDANCIA	79	31	39

En las curvas de acumulación de especies (curvas de rarefacción) de anfibios se observa que en los dos sistemas de producción de café las curvas alcanzan la asíntota (Figura 4). La curva para el bosque, si bien no alcanza una clara asíntota, parece acercarse mucho a ella.



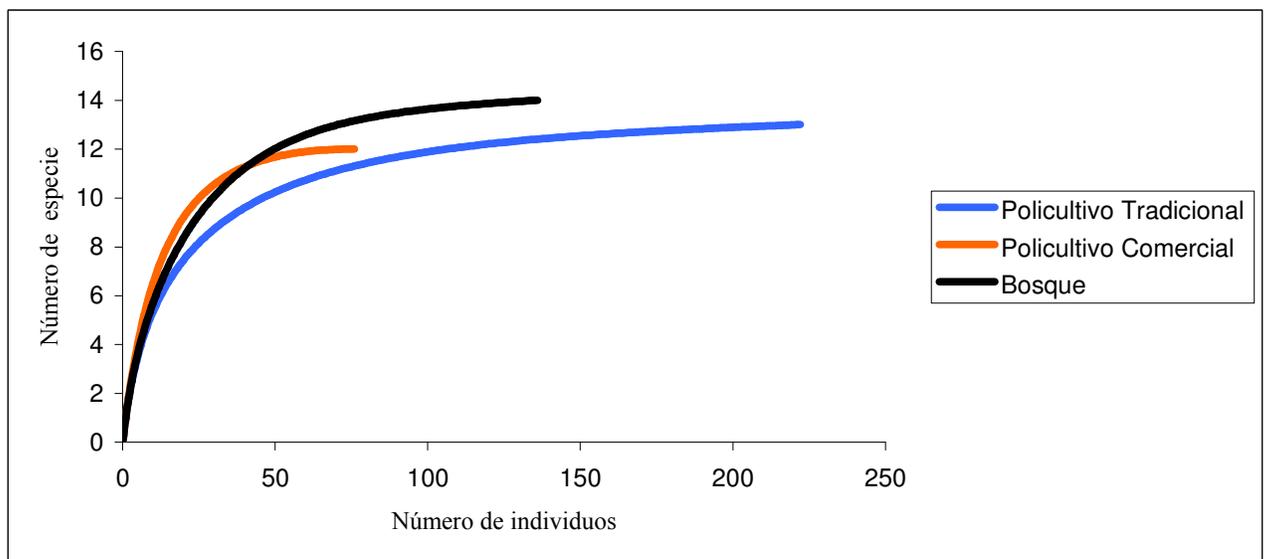
**Figura 4.** Curvas de acumulación de especies de anfibios en los dos sistemas de producción de café de sombra y en el bosque.

Las curvas de acumulación (rarefacción) para las lagartijas en el policultivo comercial y el bosque alcanzan la asíntota. Por otro lado, la curva de acumulación para el policultivo tradicional no alcanza la asíntota, aunque sugiere que podría estar acercándose a ella (Figura 5).



**Figura 5.** Curvas de acumulación de especies de lagartijas en los dos sistemas de producción de café de sombra y en el bosque.

En las curvas de acumulación de especies que se construyeron juntando los anfibios con las lagartijas, se observa que en el policultivo comercial se alcanza la asíntota, mientras que en el policultivo tradicional y en el bosque las curvas, si bien no la alcanzan, se acercan mucho a la asíntota (Figura 6).



**Figura 6.** Curvas de acumulación de anfibios y lagartijas en los dos sistemas de producción de café y en el bosque.

En general, debido a que en todos los casos las curvas de acumulación de especies alcanzaron o se aproximaron marcadamente a la asíntota, los valores de los estimadores de riqueza real son iguales, o muy cercanos, a la riqueza observada. Los valores de los estimadores (Tablas 7, 8 y 9) indican que en todos los casos se lograron observar más del 85% de las especies presentes.

Los estimadores de la riqueza para los anfibios son muy similares a la riqueza observada en los dos sistemas de producción de café. En la parcela de bosque se observa un ligero incremento en los estimadores de la riqueza con respecto a los valores observados, debido a que la asíntota para este hábitat no fue alcanzada claramente (Fig. 4).

**Tabla 7.** Riqueza de anfibios estimada por ACE, ICE, Chao 2 y Bootstrap en los dos sistemas de producción de café y en el bosque. Los valores entre paréntesis representan los intervalos de confianza al 95%. Los intervalos de confianza Mao Tao y Chao 2 se obtuvieron del programa EstimateS.

	<b>Policultivo Tradicional</b>	<b>Policultivo Comercial</b>	<b>Bosque</b>
<b>Riqueza observada (MaoTao)</b>	8 (4.4-11.6)	7 (3.3-10.7)	9 (5.5-12.5)
<b>Riqueza estimada (ACE)</b>	8 (7.9-8.1)	7 (6.8-7.2)	9.2 (9.2-9.3)
<b>Riqueza estimada (ICE)</b>	8 (7.9-8.1)	7 (6.8-7.2)	9.2 (9.2-9.3)
<b>Riqueza estimada (Chao 2)</b>	8 (8-8)	7 (7-7.2)	9 (9-9.02)
<b>Riqueza estimada (Bootstrap)</b>	8.2 (8.1-8.2)	7.3 (7.2-7.4)	9.4 (9.3-9.5)

Los valores de la riqueza observada y la riqueza estimada para las lagartijas son muy similares en el cultivo comercial y en el bosque, debido a que en estos sistemas se alcanzaron las asíntotas. Sin embargo, la riqueza estimada para el policultivo tradicional es en la mayoría de los casos ligeramente mayor que la riqueza observada (Tabla 8) debido a que en este hábitat no se alcanzó la asíntota (Fig. 5).

**Tabla 8.** Riqueza de lagartijas estimada por ACE, ICE, Chao 2, Bootstrap en los dos sistemas de producción de café y en el bosque. Los valores entre paréntesis representan los intervalos de confianza al 95%. Los intervalos de confianza Mao Tao y Chao 2 se obtuvieron del programa EstimateS.

	<b>Policultivo Tradicional</b>	<b>Policultivo Comercial</b>	<b>Bosque</b>
<b>Riqueza observada</b>	5 (2.7-7.3)	5 (2.7-7.34)	5 (2.7-7.3)
<b>Riqueza estimada (ACE)</b>	5.8 (5.3-6.3)	5 (4.9-5.1)	5 (4.8-5.2)
<b>Riqueza estimada (ICE)</b>	5.7 (5.3-6.2)	5 (4.9-5.1)	5 (4.9-5.1)
<b>Riqueza estimada (Chao 2)</b>	5 (5-5)	5 (5-5.2)	5 (5-5.1)
<b>Riqueza estimada (Bootstrap)</b>	5.4 (4.9-5.7)	5 (5-5.1)	5.1 (5-5.1)

Como era de esperarse, al juntar los anfibios y las lagartijas la riqueza estimada es muy similar a la observada sólo en el caso del sistema de policultivo comercial. Para el sistema de policultivo tradicional y el bosque la riqueza estimada es ligeramente mayor que la riqueza observada (Tabla 9).

**Tabla 9.** Riqueza de anfibios y lagartijas estimada por ACE, ICE, Chao 2 y Bootstrap en los dos sistemas de producción de café y en el bosque. Los valores entre paréntesis representan los intervalos de confianza al 95%. Los intervalos de confianza Mao Tao y Chao 2 se obtuvieron del programa EstimateS.

	<b>Policultivo Tradicional</b>	<b>Policultivo Comercial</b>	<b>Bosque</b>
<b>Riqueza observada</b>	13 (8.6-17.4)	12 (7.6-16.4)	14 (9.7-18.3)
<b>Riqueza estimada (ACE)</b>	13.4 (13.2-13.7)	12 (11.8-12.2)	14.2 (13.5-15.3)
<b>Riqueza estimada (ICE)</b>	13.4 (13.2-13.7)	12 (11.8-12.2)	14.2 (13.5-15.2)
<b>Riqueza estimada (Chao 2)</b>	13 (13-13)	12 (12-12.3)	14 (14-14.1)
<b>Riqueza estimada (Bootstrap)</b>	13.6 (13.3-13.8)	12.4 (12.3-12.5)	14.6 (13.7-14.8)

*Diversidad.*- Para el sistema de policultivo tradicional se obtuvo un valor del índice de diversidad  $H' = 0.86$ , para el sistema de policultivo comercial  $H' = 0.99$  y para el de bosque  $H' = 0.92$ . De acuerdo a estos valores el sitio más diverso fue el policultivo comercial, seguido del bosque y finalmente el policultivo tradicional. Al comparar estadísticamente los valores del índice de diversidad de los dos sistemas de producción de café de sombra se encontraron diferencias significativas ( $t_{(0.05),215} = 1.972$ ,  $p = 0.001$ , con un nivel de significancia corregido mediante el método de Bonferroni de  $\alpha$

= 0.016). Cuando se comparó el bosque y el sistema de policultivo tradicional ( $t_{(0.05),282} = 1.970$ ,  $p = 0.216$ ) no se encontraron diferencias significativas. Por último, al comparar el bosque y el sistema de policultivo comercial ( $t_{(0.05),212} = 1.972$ ,  $p = 0.1204$ ) tampoco se encontraron diferencias significativas entre las diversidades.

#### **4.6 Discusión**

El esfuerzo total de captura fue de 1154 horas/hombre en el periodo de marzo de 2008 a julio de 2009, durante el cual se registraron 14 especies de anfibios con una abundancia de 235 individuos y 7 especies de lagartija con una abundancia de 149 individuos. El esfuerzo de captura, resulta ser mayor en el presente trabajo comparado con otros trabajos que han realizado muestreos similares en otras zonas cafetaleras de México. En el caso de los anfibios, Murrieta (2007) en la zona centro cafetalera de Veracruz, con un esfuerzo de muestreo de 240 horas/hombre registró 22 especies y una abundancia de 841 individuos. Estas diferencias en la riqueza y abundancia de anfibios pueden deberse a que el esfuerzo de muestreo de Murrieta (2007) estuvo dirigido a la búsqueda de un sólo grupo utilizando transectos que mostraran una alta probabilidad de captura incluyendo la búsqueda en plantas epífitas y diferentes estratos de la vegetación como el dosel. En el caso de las lagartijas, estudios realizados en cafetales y bosque mesófilo que se encuentran en la zona de amortiguamiento en La Reserva de la biosfera “El Triunfo”, en el Estado de Chiapas, Percino (2000) con un esfuerzo de 1152 horas/hombre registró 11 especies de lagartijas y una abundancia de 107 individuos. Años después, en la misma zona, Martínez (2003) en cafetales y bosque mesófilo, con un esfuerzo de 408 horas registró 11 especies de lagartijas y una

abundancia de 403 individuos. En estos dos estudios, la riqueza de lagartijas es mayor, en comparación al presente trabajo, pero la abundancia de lagartijas en el trabajo de Percino (2000) es menor que en el presente estudio. Martínez (2003) registra mayor abundancia de lagartijas debido a la dominancia de una especie en particular.

Considerando el número de especies registradas en el municipio de Cuetzalan del Progreso en el norte de Puebla (Canseco-Márquez y Gutiérrez, 2004; ver sección 3.2), el nivel de representación de la muestra (porcentaje de especies capturadas en el muestreo respecto al total de registros del municipio) para anuros es del 73 %, para caudata es del 38 %, y para lacertilia es del 58 %. Es importante notar que el porcentaje de representación de la muestra para este estudio corresponde a un muestreo que incluye sólo cuatro localidades del municipio dentro de un rango altitudinal que va de los 670 m a 920 m, en hábitats de cafetal de sombra y de transición de bosque mesófilo y bosque tropical perenifolio. Mientras que el estudio de Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) incluyó 37 localidades en un gradiente altitudinal que va de los 315 m a los 1310 m, en vegetación de bosque mesófilo de montaña, bosque tropical subperennifolio, bosque de pino, cafetales, potreros y cultivos de maíz. Por lo tanto, en el presente trabajo se tuvieron menores posibilidades de registrar especies que se encuentran a diferentes altitudes, con diferentes tipos de vegetación, especies de dosel ó incluso distintos grados de perturbación. El grupo menos representativo en relación al listado del municipio fue el de las lagartijas. Se registraron todas las especies de lagartijas (6) que tienen una distribución altitudinal amplia más no así aquellas que tienen una distribución más restringida. Entre las especies que, por su uso de microhábitat no se esperaba encontrar, figura la lagartija arborícola *Laemanctus*

*serratus*. Sin embargo, en el presente estudio fue encontrada la especie *Pseudoeurycea cephalica*, que no aparece en el registro de Canseco-Márquez y Gutiérrez.

*Abundancia.*- Las abundancias de anfibios y lagartijas no muestran diferencias significativas entre los dos sistemas de producción de café. En el caso particular de los anfibios, a pesar de no registrar diferencias significativas entre la abundancia y los tipos de cafetal, sí se observa que el sistema de policultivo tradicional (143) muestran una tendencia a mayor abundancia. Esta tendencia ha sido también observada en el policultivo tradicional en la zona cafetalera de Veracruz por Murrieta (2003). La abundancia de anfibios en Cuetzalan (286 individuos) fue aproximadamente la mitad de la abundancia registrada en la zona cafetalera de Veracruz (647 individuos) por Murrieta (2003). En el presente estudio al comparar la abundancia de anfibios entre los tipo de cafetal y bosque sólo se encuentra diferencia significativa entre en el sistema de policultivo comercial y bosque, observando que la abundancia de anfibios se ve más favorecida en el bosque (98 individuos) que en el sistema de policultivo comercial (45 individuos). Este resultado es similar a lo observado en el estudio de Murrieta (2003), en donde la abundancia de anfibios fue mayor en el bosque (271 individuos) que en el cafetal con sombra específica (87 individuos).

Al comparar las abundancias de lagartijas en el policultivo tradicional en este estudio (79 individuos), con aquellas obtenidas por Martínez (2003) (326 individuos) y por Percino (2000) (321 individuos), en cafetales con sombra diversificada de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, se observa que la abundancia de lagartijas en el sistema de policultivo tradicional de Cuetzalan es 3 veces menor que en otros estudios. Posiblemente esto se debe a los rangos altitudinales ó a la historia de los

cafetales y del bosque entre otras cosas. En el presente estudio no se observan diferencias significativas entre las abundancias de lagartijas en ambos tipos de cafetal. Al comparar la abundancia de lagartijas entre los tipos de cafetal y bosque se observan diferencias significativas sólo entre el policultivo comercial (31 individuos) y el bosque (39 individuos). Estos resultados muestran que la abundancia de las lagartijas se ve más favorecida en el bosque que en el policultivo comercial. Estos resultados son similares a lo registrado en el trabajo de Martínez (2003), en donde el bosque mesófilo alberga mayor abundancia de lagartijas (73 individuos), que el cafetal con sombra de *Inga* (34 individuos). Asimismo coincide con lo observado por Percino (2000) al comparan los resultados del bosque mesófilo fragmentado (73 individuos) y el cafetal con sombra monoespecífica (34 individuos) en donde una especie *Anolis lemurinus* se ve favorecida.

Las gráficas de rango abundancia de anfibios (Figura 1), lagartijas (Figura 2) y de ambos taxa en conjunto (Figura 3), muestran una misma tendencia en el sistema de policultivo tradicional y en el bosque. La pendiente de estos dos hábitats es mayor que en el policultivo comercial, mostrando por lo tanto una menor equitatividad entre las especies. Las gráficas de rango abundancia que presentan una pendiente pronunciada indican la presencia de especies con alta dominancia. Este es un patrón que comúnmente se observa en las comunidades bióticas presentes en hábitats perturbados, mientras que en los hábitats conservados se observan curvas con pendientes poco pronunciadas, ya que las especies se encuentran repartidas equitativamente (Feinsinger, 2001). Esta observación entra en contradicción con el comportamiento de las gráficas de rango abundancia obtenidas en este trabajo. El comportamiento de la gráfica de rango abundancia de anfibios en el sistema de policultivo comercial es muy

similar al observado en plantaciones de café de sombra en el centro de Veracruz (Pineda *et al.*, 2005), en donde se observa que las especies se encuentran distribuidas equitativamente. Sin embargo en el trabajo también de Pineda *et al.* (2005) también se muestra que el bosque mesófilo presenta el mismo comportamiento de equitatividad que se observa en las plantaciones de café de sombra, mientras que en el presente trabajo se distingue un menor grado de equitatividad en los ensambles de anfibios en el bosque.

*Especies exclusivas.*- Tres especies de ranas se encontraron exclusivamente en los cafetales. La especie con mayor abundancia, *Agalychnis moreleti* (13 individuos) es una rana cuyas poblaciones se encuentran en disminución (principalmente por la destrucción de su hábitat) y depende de cuerpos de agua para su reproducción (Santos-Barreta *et al.*, 2004). Resulta importante señalar que esta especie fue encontrada sólo en una parcela (Don Arnulfo) de policultivo tradicional, que era la única que contaba con una charca permanente, lo cual podría estar favoreciendo su reproducción. La rana *Scinax staufferi* (10 individuos) es una especie cuyas poblaciones son consideradas como estables ya que es tolerante a las perturbaciones y ha sido encontrada en zonas abiertas (Santos Barreta *et al.*, 2004). Esta rana fue observada en la misma parcela que presenta la charca, así como en otra parcela de policultivo tradicional (Doña Mica) donde las condiciones de humedad son altas. El sapo *Ollotis nebulifer* fue poco abundante en este estudio (5 individuos). Sin embargo se le considera una especie bastante tolerante a las perturbaciones aunque depende de cuerpos de agua para su reproducción. Es importante mencionar que estas especies sólo fueron encontradas en el sistema de policultivo tradicional, el cual presenta una compleja estructura vegetal

en comparación al policultivo comercial. Resultando extraño no haber registrado a estas tres especies en el bosque, principalmente a la rana *Agalychnis moreleti*, ya que el bosque cuenta con estanques de agua y ríos que favorecen su reproducción, lo mismo que para *Scinax staufferi*.

En cuanto a las salamandras que se observaron solamente en los cafetales, figuran dos especies del género *Pseudoeurycea*, siendo ambas muy poco abundantes: *P. cephalica* (2 individuos) y *P. sp* (3 individuos). La primera es una salamandra que se encuentra en la categoría de amenazada ya que sus poblaciones están disminuyendo, principalmente por la pérdida de su hábitat (Parra-Olea, 2004). La segunda es una especie que se encuentra actualmente en proceso de clasificación taxonómica; se trata de una especie no descrita de la cual se tiene registro de presencia en cuevas únicamente en el municipio de Cuetzalan (Canseco-Márquez, com. pers). Estas dos especies se registraron sólo en una parcela de policultivo comercial (Potrero Ingeniero), la cual tiene una conexión con un pequeño relicto de bosque secundario (1 ha), que posiblemente permite la movilidad de especies provenientes de otros hábitats cercanos. Al ser tan escasas estas especies, podemos suponer que éstas se presentaron de manera aleatoria, posiblemente como especies turista. Esta situación de ocurrencia aleatoria parece ser frecuente en las especies con bajas abundancias, en las que las poblaciones están pobremente consolidadas en sus hábitats (Pineda *et al.*, 2005).

La lagartija *Corytophanes hernandezii* (9 individuos) es una especie que se encontró exclusivamente en el cafetal de policultivo comercial, lo cual concuerda con lo registrado por Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) quienes sólo la reportan en los cafetales. Poco se sabe sobre ella, pero Calderón y Pozo (2003) estiman que la presencia de esta lagartija se encuentra ligada con hábitats que presentan un alto grado

de conservación. Tal vez esa apreciación sea errónea, pues esta lagartija podría verse favorecida en cafetales que presentan una menor complejidad de la vegetación, lo cual genera una mayor radiación solar aprovechada por esta especie.

Los anfibios que se encontraron exclusivamente en el bosque fueron tres ranas. La rana *Ecnomiohyla miotympanum* (50 individuos) es característica del bosque mesófilo y es endémica de México. Las poblaciones de esta especie se encuentran en disminución (Santos-Barrera *et al.*, 2004). Sin embargo, ha sido considerada como una especie tolerante a la perturbación ya que en otros estudios se ha encontrado tanto en cafetales como en el bosque mesófilo (Murrieta, 2007; Canseco-Márquez y Gutiérrez, 2004). En segundo lugar, la rana arborícola *Charadrahyla taeniopus* (6 individuos) es característica del bosque mesófilo y sus poblaciones se encuentran en disminución por la destrucción de su hábitat (Santos-Barrera y Canseco-Márquez, 2004). Finalmente, *Craugastor pygmaeus* (1 individuo), puede tolerar ambientes secundarios y son ranitas de desarrollo directo por lo que no necesitan de arroyos o de cuerpos de agua para reproducirse (Santos-Barrera y Canseco-Márquez, 2004). Estas dos últimas especies también han sido registradas en el bosque mesófilo por Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004).

En este estudio no se registraron especies de lagartijas exclusivas del bosque, lo cual coincide con el trabajo de Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) quienes tampoco reportaron especies exclusivas del bosque mesófilo.

Entre las especies que se encontraron en los tres tipos de hábitat figuraron tres ranas (*Craugastor rhodopis*, *Syrrhophus verrucipes*, *Smilisca baudini*), una salamandra (*Pseudoeurycea quetzalanensis*) y tres lagartijas (ver abajo). Estas especies podrían considerarse especies tolerantes a cierto grado de perturbación.

En el caso de las lagartijas, la especie *Anolis naufragus*, la cual fue dominante en el policultivo tradicional, es una especie endémica del este de México. A esta especie se le asocia con el bosque mesófilo y se considera que sus poblaciones están disminuyendo por la pérdida del hábitat (Mendoza-Quijano, 2007). Sin embargo, en este estudio sus abundancias fueron altas, por lo que se debe considerar la posibilidad de haber cometido errores de identificación. La identificación de especies para este género resulta difícil (Percino, 2000) y es posible haber confundido esta especie, ocasionalmente, con *A. laeviventris*. La especie *Scincella silvícola* fue dominante en el policultivo tradicional y en el bosque. Esta lagartija es endémica de México, presenta poblaciones estables, y es característica de bosques primarios (Canseco-Márquez y Santos-Barrera, 2007). La lagartija *Sceloporus variabilis* fue abundante en el policultivo comercial. Es considerada una especie oportunista ya que desplaza a otras lagartijas, aprovechando el cambio de hábitat provocado por las perturbaciones antropogénicas (Percino 2000).

*Riqueza.*- La representatividad muestral que se obtiene al comparar los valores de la riqueza observada con los valores de los estimadores no paramétricos siempre se encontró por arriba del 85 %. Esto indica que el esfuerzo realizado en este estudio, para caracterizar los ensambles de anfibios y lagartijas, durante la época estudiada, fue adecuado. Otros trabajos en cafetales y bosque mesófilo como el de Murrieta (2007), registran una representatividad muestral de anfibios de entre 70 y 100 % (dependiendo de los estimadores). Asimismo, las curvas de acumulación de especies de este estudio confirman la suficiencia del muestreo, al observarse que alcanzan o se acercan claramente a una asíntota.

A pesar del pequeño número de localidades muestreadas, el estudio obtuvo niveles similares de riqueza para salamandras (3) y lagartijas (7) a los obtenidos por González-Romero y Murrieta (2008) quienes muestrearon en la zona centro de Veracruz, en cafetales de sombra y en fragmentos de bosque mesófilo de montaña. En dicho trabajo también se registraron 3 especies de salamandras y 7 de lagartijas. Por otro lado en dicho estudio se encontró un mayor número de ranas, reportando 21 especies en un rango altitudinal que va de los 1000 a los 1590 m en comparación al presente estudio (11 especies) en un rango altitudinal que va de los 650 a los 900 m. Siendo posible que estas diferencias se deban a los rangos altitudinales estudiados. En la misma zona centro de Veracruz, pero en años anteriores, Murrieta (2007) registró 3 especies de salamandras y 19 de ranas, mientras que Pineda y Halffter (2004) y Pineda *et al.* (2005) registraron 21 especies de ranas. En la Reserva de la Biosfera el Triunfo (Chiapas), Martínez (2003) registró 15 especies de lagartijas en un rango altitudinal que va de los 300 a los 1500 m, incluyendo 4 hábitats (cafetal con sombra diversificada, cafetal con sombra monoespecífica, bosque lluvioso de montaña baja y bosque mesófilo). En la misma zona, pero en años anteriores Percino (2000) registró 11 especies de lagartijas en un rango altitudinal que va de los 500 a los 3000 m, incluyendo bosque mesófilo conservado y fragmentado así como cafetal de sombra monoespecífica. Estos estudios muestran un gradiente altitudinal amplio e incluyen, en algunos hábitats diferentes a los muestreados en el presente trabajo, haciendo posible el registro de una mayor riqueza de especies. A pesar de que en el presente estudio el rango altitudinal (650 - 900 m) no fue muy amplio se logró registrar a todas las especies de lagartijas que presentan un rango altitudinal amplio e incluso se obtuvo un registro nuevo de salamandra (*Pseudoeurycea cephalica*).

En este trabajo, los resultados de la riqueza de especies en cafetales son en algunos casos parecidos a los valores obtenidos por Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004). La riqueza de anuros en este trabajo es mayor (8) al valor reportado anteriormente (5) por Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004). Sin embargo, las especies registradas no son las mismas. Por ejemplo, la rana *Ecnomiohyla miotympanum* no fueron registradas en los cafetales en este estudio, pero anteriormente sí lo fueron. Por otro lado, las especies que se agregan al inventario de las ranas de los cafetales son *Craugastor decoratus*, *C. rhodopis*, *Agalychnis moreletii*, *Scinax stauferi* y *Smilisca baudini*. En el caso de las salamandras pasa algo similar, ya que en el trabajo de Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) y en el presente se registran diferentes especies dentro de los cafetales, aunque la riqueza es la misma en los dos estudios. Con el presente estudio se agregó la especie *Pseudoeurycea quetzalensis* al registro de los cafetales.

Para el caso de las lagartijas de cafetales, en este estudio se registraron 7 especies mientras que en el otro estudio se registraron 8. Cabe recalcar que Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) no reportan su esfuerzo de muestreo. Sin embargo, dada la naturaleza de dicho trabajo, se puede inferir que el presente estudio cuenta con un muestreo más exhaustivo en cafetales, por lo cual obtenemos cifras mayores en algunos casos.

Para el bosque las tendencias de la riqueza en anuros y lagartijas en este estudio (8 y 5 respectivamente) son parecidas a las de Canseco-Márquez y Gutiérrez (2004) (6 y 4). Sin embargo la riqueza de salamandras en este estudio fue de una sola especie, *Pseudoeurycea quetzalensis*, y para ellos fue de 5. La escasa riqueza de salamandras en el bosque puede deberse a que el registro de estos organismos se dificulta debido a

que la complejidad de la vegetación proporciona una gran cantidad de refugios para ellos, además de que sólo se muestreó un sitio de bosque. Sin embargo esta escasez de salamandras y la presencia de lagartijas heliófitas (*Sceloporus variabilis*) revelan la perturbación del fragmento de bosque estudiado.

Al obtener los intervalos de confianza de la riqueza observada (Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9) para el ensamble de anfibios, lagartijas y ambos grupos, los resultados indican que estos ensambles no presentan diferencias entre los cafetales de sombra tradicional o comercial y bosque. Sin embargo, los estimadores sí mostraron algunas diferencias estadísticamente significativas. Indicando que en el caso de los anfibios el bosque alberga una especie más que el policultivo tradicional, ya a su vez el policultivo tradicional también alberga una especie más que el policultivo comercial (Tabla 7)

Los índices de diversidad de anfibios y lagartijas muestran que el policultivo comercial resultó ser el más diverso y sólo se pudo comprobar que difiere con respecto al policultivo tradicional, no así con respecto al bosque. Este mayor valor en la diversidad se debe a la mayor equitatividad en el policultivo comercial. Sería interesante averiguar en futuros estudios por qué hay mayor equitatividad en el sistema más perturbado. Estos resultados difieren de lo reportado para el centro de Veracruz (González-Romero y Murrieta-Galindo, 2008) donde se evaluó la herpetofauna de cafetales y bosque mesófilo. En dicho estudio se encontró que el bosque mesófilo y el cafetal rústico tradicional son los más diversos, seguidos por el policultivo tradicional, cultivo con sombra especializada y cultivo bajo sol. Es importante señalar que en ese trabajo se evaluó la herpetofauna considerando también al grupo de las serpientes, grupo que no fue evaluado en el presente estudio.

Una tendencia observada (aunque no estadísticamente comprobada) fue que el sistema de cultivo tradicional sostiene poblaciones y riquezas mayores que el policultivo comercial. Es posible que debido a la variabilidad entre las parcelas, la permanencia de estanques de agua y la presencia de fragmentos de bosque en el sistema de policultivo tradicional, se haya logrado registrar especies exclusivas del bosque mesófilo en las parcelas de este sistema. Tal es el caso de las ranas *Agalychnis moreleti*, y de la salamandra *P. quetzalanensis*. Sin embargo, hacen falta estudios que establezcan cuáles son los factores determinantes de la permanencia de anfibios y reptiles en zonas de cultivo. Mayor información sobre estos factores podría ayudar a mantener el ensamble de los anfibios y reptiles y generaría estrategias para un mejor manejo de los cafetales de sombra. Un factor digno de ser evaluado es el impacto que sobre los ensambles de anfibios y lagartijas tiene la presencia de animales domésticos, como las gallinas, en las parcelas de café.

#### **4.7 Conclusiones**

1. No se observaron diferencias significativas en la abundancia de anfibios y lagartijas en los dos sistemas de producción de café de sombra. Sin embargo, se observó una tendencia de mayor abundancia en el policultivo tradicional. Se observaron diferencias significativas entre la abundancia de anfibios y lagartijas entre el policultivo comercial y el bosque, siendo que el bosque registró mayor abundancia.
2. No se encontraron diferencias significativas entre la riqueza observada (Mao Tao) de anfibios y lagartijas en los dos sistemas de producción de café de sombra y el bosque. Sin embargo para los anfibios los estimadores ACE, ICE, Chao 2 y Bootstrap,

mostraron diferencias significativas de tal manera que los valores de riqueza estimada mostraron el patrón: bosque > policultivo tradicional > policultivo comercial. Para las lagartijas únicamente los estimadores ACE e ICE mostraron diferencias significativas, con valores de riqueza estimada más altos en el policultivo tradicional. Para ambos grupos juntos (anfibios y lagartijas) los estimadores ACE, ICE y Bootstrap mostraron diferencias significativas pero sólo entre el policultivo comercial (valores menores de riqueza estimada) y los otros dos sistemas, mientras que el estimador Chao 2 mostró diferencias significativas entre los tres sistemas (bosque>tradicional>comercial)

3. El sistema con los valores más altos del índice de diversidad es el policultivo comercial, debido a una mayor equitatividad en el ensamble de especies en este hábitat. Hay diferencia significativa en la diversidad de anfibios y lagartijas sólo entre el policultivo comercial y el tradicional.

4. La extensión del bosque mesófilo en el municipio de Cuetzalan del Progreso se ha fragmentado debido a la tala clandestina, ganadería, cultivo de temporal y cultivo de café. Sin embargo, los cafetales de sombra principalmente los de sistema de policultivo tradicional han incorporado una gran cantidad de plantas provenientes del bosque generando condiciones microclimáticas que favorecen a las especies de anfibios y lagartijas. La permanencia de relictos de bosque resulta importante para la movilidad y permanencia de los anfibios y lagartijas en este paisaje antropogénico. Estos relictos han contribuido a que los cafetales de sombra puedan albergar especies exclusivas del bosque mesófilo como la rana *Craugastor decoratus*, la salamandra *Pseudoeurycea quetzalensis* y las lagartija *Corytophanes hernanadesi* y *Anolis naufragus*. Debido a que en esta zona queda muy poca vegetación natural los cafetales de sombra definitivamente son mejores alternativas para la conservación de estos

grupos faunísticos, en comparación a otros cultivos. Algunas recomendaciones de manejo para los cafetales incluyen: (i) mantener relictos de bosque en el paisaje aunque sea pequeños y fomentar su conectividad (ii) fomentar que los agricultores mantengan los cuerpos de agua que están presentes en sus parcelas y (iii) un adecuado manejo de animales de granja.



## 5. CAPITULO 2. Control biológico de insectos herbívoros por anfibios y lagartijas en cafetales de sombra

### 5.1 Introducción

A pesar que existen aproximadamente 200 especies de insectos herbívoros que se alimentan de la planta de café (*Coffea arabica*), en sistemas de cultivo de café de sombra tradicional las plantas de café sufren un bajo nivel de daño por plagas (De la Mora *et al.*, 2008; Greenberg *et al.*, 2000). Una hipótesis que trata de explicar los bajos niveles de daño sugiere que se debe a una mayor abundancia y diversidad de animales insectívoros, tales como aves, murciélagos y artrópodos en estos hábitats. Numerosos estudios han encontrado evidencia directa, o indirecta, a favor de esta hipótesis de control descendente (Gradwohl y Greenberg, 1982; Ibarra-Núñez 1990; Altegrim, 1992 Greenberg *et al.*, 2000; Perfecto *et al.*, 2004; Ambrecht y Gallego, 2007; De la Mora *et al.*, 2008; Williams-Guillén *et al.*, 2008). Otra hipótesis alternativas, es la de control descendente. En este caso, la calidad de los sitios donde crecen las plantas (disponibilidad de N, luz, agua, etc.), así como el linaje filogenético de las plantas en cuestión, afecta las características de defensa de las plantas, lo cual a su vez afecta a las comunidades de insectos herbívoros y por lo tanto los niveles de herbivoría (Lau *et al.*, 2008).

En el caso de la hipótesis de control descendente, los estudios usan diversos enfoques metodológicos, los cuales pueden categorizarse en (i) la medición de la herbivoría (ii) la cuantificación de las poblaciones de insectos y (iii) la medición de la insectivoría. A su vez, cada uno de estos enfoques puede aplicarse de diversas

maneras. Así, la medición de la herbivoría puede realizarse por medio de observaciones en diferentes tipos de hábitats, o también mediante experimentos en los que se excluye cierto grupo de animales (Coley y Barone, 1996). La cuantificación de los insectos, se puede realizar por medio de observaciones directas de abundancia de insectos, observaciones directas de forrajeo de animales insectívoros, y/o mediante experimentos de medición de abundancia de insectos con exclusión de depredadores (Van Bael *et al.*, 2008; Borkhataria *et al.*, 2006). Finalmente, para la medición de la insectivoría pueden llevarse a cabo observaciones directas de insectivoría, o experimentos con “herbívoros modelo” (reales o artificiales), con o sin exclusión de depredadores (Lora y Coley, 2007; Perfecto *et al.*, 2004; Loiselle y Farji-Brener, 2002). Generalmente, son los estudios que combinan varias de estas metodologías los que permiten obtener explicaciones más contundentes para los patrones observados.

En varios estudios se ha evaluado el papel de las aves como depredadoras de artrópodos en agroecosistemas de café. En general, se ha encontrado que las aves pueden prevenir un incremento de las plagas, principalmente en sitios con una alta diversidad florística, ya que se registra una mayor abundancia y riqueza de especies de aves en estos sistemas (Altegrim, 1992; Gradwohl y Greenberg, 1982; Greenberg *et al.*, 2000; Perfecto *et al.*, 2004; Williams-Guillén *et al.*, 2008). El grupo de los murciélagos también ha sido evaluado en este sentido por Williams-Guillén *et al.* (2008). Ellos observaron que la diversidad es central en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, pues en el caso de su estudio, la presencia de dos grupos funcionales diferentes (aves y de murciélagos) fortaleció la eficiencia en la reducción de artrópodos.

Sin embargo, se sabe muy poco del papel que juegan otros grupos de animales insectívoros, como con los anfibios y lagartijas, en el control de las poblaciones de artrópodos herbívoros en cafetales. Solamente un estudio, en Puerto Rico, ha evaluado el papel de las lagartijas, encontrando que éstas pueden ejercer una débil presión sobre algunas plagas del café (Borkhataria *et al.*, 2006). Es por ello que con en el presente capítulo se pretendió generar información sobre el papel que los anfibios y las lagartijas están jugando como depredadores de insectos herbívoros en agroecosistemas de café de sombra en México. Para ello se usaron tanto el enfoque metodológico de la medición de herbivoría como el enfoque de la medición de la insectivoría.

Se ha observado en plantas *Piper arieianum* que la herbivoría sobre las hojas afecta la adecuación y que el grado de afectación depende de la edad de las plantas (Marquis, 1984). En cultivos de café de sombra los árboles de chalahuite blanco son apreciados por su sombra y llegan a ser cultivados en las parcelas de café. Las características de estas plantas se describen más adelante en los métodos.

## 5.2 Objetivos

El objetivo general de este estudio fue generar información sobre el papel que juegan los anfibios y lagartijas como depredadores de insectos herbívoros en dos sistemas de producción de café de sombra en Cuetzalan, Puebla. México. Con este propósito se plantearon los siguientes objetivos particulares:

a) Evaluar de manera indirecta la importancia de los anfibios y lagartijas en el control de las poblaciones de insectos herbívoros del café (plagas y potenciales plagas), mediante la cuantificación de los niveles de herbivoría en plantas jóvenes de chalahuite blanco (*Inga latibracteata*), con y sin exclusión de lagartijas y anfibios.

- b) Medir directamente la importancia de los anfibios y lagartijas en el control de las poblaciones de insectos, mediante la cuantificación de la depredación de gusanos de harina (*Tenebrio monitor*), en plantas con y sin exclusión de lagartijas y anfibios.
- c) Determinar si los niveles de herbivoría en chalahuite y la depredación de gusanos de harina difiere entre dos sistemas de cultivo de café de sombra: policultivo tradicional y policultivo comercial.
- d) Comparar los niveles de herbivoría presentes en las plantas de café en los dos sistemas de producción de café.

### **5.3 Hipótesis**

*Hipótesis Nula 1:* Los anfibios y lagartijas insectívoras no tienen efecto sobre los niveles de herbivoría en las plantas de chalahuite. *Hipótesis Alternativa 1:* La presencia de lagartijas insectívoras y anfibios se relaciona con una disminución en los niveles de herbivoría en las plantas de chalahuite.

*Hipótesis Nula 2:* Los anfibios y lagartijas no tienen efecto sobre la depredación de gusanos de harina. *Hipótesis Alternativa 2:* La presencia de anfibios y lagartijas aumenta la depredación sobre gusanos de harina.

*Hipótesis Nula 3:* Los niveles de herbivoría en plantas de chalahuite son iguales en las dos modalidades de café de sombra (policultivo tradicional y policultivo comercial). *Hipótesis Alternativa 3:* Los niveles de herbivoría son diferentes en las dos modalidades de café de sombra.

*Hipótesis Nula 4:* La depredación sobre los gusanos de harina son similares en los dos sistemas de producción de café de sombra. *Hipótesis Alternativa 4:* La

depredación sobre los gusanos será distinta en los dos sistemas de producción de café de sombra.

*Hipótesis Nula 5.* Los niveles de herbivoría presentados por las plantas de café son iguales en ambos sistemas de producción de café de sombra. *Hipótesis Alternativa 5:* Los niveles de herbivoría presentados por las plantas de café son distintos entre los dos sistemas de producción de café de sombra.

## **5.4 Métodos**

**5.4.1 Área y sitios de estudio.** Dentro de la Sierra Norte de Puebla se encuentra la zona de estudio ubicada en el Municipio de Cuetzalan del Progreso (20° 06' N y 97°35' W) en la parte noreste del estado de Puebla. El municipio de Cuetzalan esta integrado por 126 comunidades y tiene una superficie de 135.22 km<sup>2</sup> (<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/Mpios/>). La altitud fluctúa entre los 400 y los 1200 m, y el clima es del tipo semicálido subhúmedo con lluvias todo el año. La temperatura promedio anual es de 20.5° C y la precipitación promedio anual es de 4,521 mm, siendo febrero el mes más seco y septiembre el mes más lluvioso (Cano, 1979).

El presente trabajo fue realizado en seis parcelas de café de sombra orgánico en un rango altitudinal que va de los 660 a los 908 m. Tres parcelas corresponden al sistema de policultivo tradicional y tres al policultivo comercial. Ambos sistemas de producción se diferencian en la estructura y composición de la vegetación. El policultivo tradicional consta de una gran diversidad de plantas (nativas e introducidas) en todos los estratos, lo cual genera una estructura compleja en la vegetación. En comparación, el policultivo comercial presenta sólo algunas especies de árboles en el

dosel y en el estrato medio, teniendo una estructura simple, con una mayor incidencia de rayos solares y menor humedad.

Los cafetales que se usaron dentro de la modalidad de policultivo tradicional fueron: la parcela de **Don Antonio** (1.5 ha; 20° 03.174' N, 97° 28.857' O) que se encuentra en la localidad de Alahuacapan a una altitud de 677 m; la parcela de **Don Arnulfo** (0.3 ha; 20° 03.199' N, 97° 28.813' O) que se encuentra en la localidad de Alahuacapan cerca de la parcela de Don Antonio a una altitud de 663 m; y la parcela de **Doña Mica** (1 ha; 20° 00.779' N, 97° 30.142' O) que se encuentra en la localidad de San Andrés Tzicuilan a una altitud de 908 m (ver Ilustración 1).

Los cafetales que se usaron en la modalidad de policultivo comercial fueron los siguientes: la parcela **Potrero Ing. Álvaro** (2 ha; 20° 02.072' N, 97° 31.547' O), localizada cerca del casco del Municipio de Cuetzalan a un lado de las cabañas de La Tosepan, a una altitud de 856 m; la parcela **Casa Ing. Álvaro** (1 ha; 20° 02.005' N, 97° 31.409' O) a una altitud de 871 m; y la parcela **Vivero de La Tosepan** (2 ha; 20° 02.875' N, 97° 29.456' O) ubicada en la localidad de Xilozochico a una altitud de 689 m.

Más detalle sobre las características del área de estudio y de los sitios de estudio pueden encontrarse en la sección “ÁREA DE ESTUDIO” (ver arriba).

Para evaluar de manera experimental la importancia de los anfibios y las lagartijas como controladores biológicos de insectos herbívoros en cafetales de sombra se realizaron dos experimentos. En el primero se cuantificó la herbivoría, mientras que en el segundo se cuantificó la insectivoría. En ambos casos se tuvo un tratamiento control y un tratamiento con exclusión de lagartijas y anfibios. Asimismo, se compararon ambos sistemas de cultivo de café. Mediante un tercer experimento se

determinaron los niveles base de herbivoría en las plantas de café en ambos sistemas de producción (tradicional vs. comercial), pero sin llevar a cabo ningún tipo de exclusión. A continuación se describe en detalle la metodología usada en cada uno de estos experimentos.

**5.4.2 Experimento 1. Importancia de los anfibios y lagartijas como controladores biológicos de insectos herbívoros mediante la cuantificación de niveles de herbivoría.** Este Experimento 1 consistió en excluir anfibios y lagartijas de algunas plantas de chalahuite blanco (*Inga latibracteata*) y mantener otras como plantas control, midiendo la herbivoría sobre las hojas de todas las plantas experimentales. Para escoger la especie de planta focal sobre la cual se mediría la herbivoría se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones (i) que las plantas fueran de tamaño pequeño para que se facilitara la elaboración de las exclusiones de anfibios y lagartijas, (ii) que fuera una especie cuyas hojas fueran altamente palatables para los insectos herbívoros (por este motivo no se usaron plantas de café) y que por lo tanto permitiera registrar un aumento en la herbivoría en el corto plazo, (iii) que fuera una especie de interés para los cafeticultores, y (iv) que fuera una especie que se pudiera conseguir en los viveros locales en grandes cantidades. La especie de planta que se utilizó fue el Chalahuite blanco (*Inga lactibracteata*) que es una especie que presenta herbivoría durante toda su vida e incluso se torna severa cuando es adulta. Además esta especie es apreciada por proporcionar buena sombra al café llegando a ser cultivada en pequeños viveros. Se usaron plantas jóvenes de chalahuite que se consiguieron en dos viveros en Cuetzalan. Las plantas experimentales tenían una edad aproximada de 6 meses y 30 cm de altura en promedio. Esta especie tiene hojas compuestas con folíolos grandes por lo que para

el seguimiento de la herbivoría se seleccionaron 6 foliolos por planta. En aquellos casos en los que las plantas no presentaban los 6 foliolos se colocaron juntas dos plántulas para completar los 6 foliolos. Los foliolos se marcaron por el envés con plumones indelebles y líquido corrector blanco.

Para evaluar si las especies de anfibios y lagartijas tienen un impacto sobre los insectos herbívoros y por lo tanto sobre los daños de herbivoría, se construyeron exclusiones de anfibios y lagartijas. En cada una de las tres parcelas de café de policultivo tradicional y las tres de policultivo comercial se colocaron plantas experimentales en los siguientes tratamientos:

a) *No exclusión de lagartijas y anfibios (control)*. Consistió en plantar plantas jóvenes de chalahuite en el suelo, haciendo una excavación adecuada para su crecimiento, cubriendo con la tierra del lugar y regando.

b) *Exclusión de lagartijas y anfibios*. Cada planta experimental fue plantada dentro de una cubeta de plástico con capacidad de 12 litros, de textura lisa, con altura de 45 cm y diámetro superior de 28 cm. Por fuera de la cubeta, y justo por debajo del borde superior de esta, se colocó un anillo de plástico rígido (mica) de 10 cm de ancho, a manera de solapa (Ilustración 3). Dentro de la cubeta se colocó una mezcla de tierra de vivero. Las exclusiones fueron previamente probadas en el laboratorio utilizando individuos de dos especies de lagartijas, el Gecko dorado *Phelsuma sp.* y el anolis *Norops carolinensis*. Se observó que las lagartijas podían trepar sin dificultad por la pared de la cubeta plástica pero, cuando llegaban a la solapa de plástico rígido, trataban de esquivarla y, al no lograrlo, después de un corto tiempo se dejaban caer.

Alrededor de cada planta en exclusión se realizó una poda de la vegetación (50 cm alrededor de la cubeta, vertical y horizontalmente) para evitar que anfibios o

lagartijas se dejaron caer desde la vegetación adyacente a la exclusión. Las plántulas sin exclusión se colocaron a una distancia de 30 cm con respecto a la exclusión, quedando por pares en cada parcela (Ilustración 3). En cada parcela se colocaron 6 plantas control y 6 plantas con exclusión, teniendo en total 12 plantas por cafetal. Como cada planta tenía 6 folíolos marcados, en total se hizo un registro mensual de la herbivoría en 72 folíolos por parcela, durante los meses de junio a septiembre del 2008.

Para estimar el daño por herbivoría de insectos, durante cada mes se realizó el registro de tipo de daño (agalla, hueco, cicatriz de minador o pérdida total de la hoja) en cada uno de los folíolos marcados. Con una mica se dibujó el contorno total del folíolo y el contorno del daño que presentaba. Posteriormente, encima de este dibujo se colocó una mica transparente en la cual se habían previamente marcado hileras de puntos separados 0.5 cm entre sí, formando una especie de cuadrícula. Para cuantificar el área total y la herbivoría de cada folíolo se contaron los puntos que caían dentro del área total y en las áreas dañadas, respectivamente, y se calculaba el porcentaje del área foliar dañada por hoja.



**Ilustración 3.** Tratamientos para la medición de la herbivoría. A la izquierda se muestra el banderín con la plántula control de chalahuite (sin exclusión) directamente plantada en el suelo y a la derecha la plántula en el tratamiento de exclusión de anfibios y lagartijas plantada dentro de una cubeta.

### **5.4.3 Experimento 2. Importancia de los anfibios y lagartijas como controladores biológicos de insectos herbívoros mediante la cuantificación de depredación de insectos.**

Siguiendo una metodología similar a aquella usada por Perfecto *et al.* (2004) se colocaron larvas vivas sobre ramas artificiales de plástico. Las larvas vivas que se usaron fueron los coleópteros *Tenebrio molitor*, especie conocida como “gusanos de harina” o “Tenebrio”. Esta especie fue utilizada debido a que (i) es fácil de comprar en las tiendas de mascotas, (ii) es resistente, ya que permanecía vivo a pesar de ser manipulado (“ver abajo”) y (iii) el tamaño de presa que puede ser atractivo para las lagartijas y anfibios estudiados. Se colocó una rama artificial junto a cada planta de chalahuite (ver Experimento 1). Esto es, en cada parcela se colocaron 12 ramas artificiales, 6 en exclusión de anfibios y lagartijas y 6 en controles. En cada rama artificial se colocaron 3 tenebrios, por lo que en cada parcela se pusieron 36 gusanos

de harina. Cada tenebrio se colocaba vivo sobre un trozo de cinta de montaje “Scotch” de 4 cm doblando la cinta de tal manera que cubriera sólo una parte de la larva para que esta no escapara. De esta manera quedaba visible y en movimiento la parte restante del tenebrio. Por último, la cinta era pegada sobre una hoja de la rama artificial (Ilustración 4.). Las ramas artificiales con tenebrios se colocaban por la mañana y al día siguiente se contaba el número de tenebrios depredados (índice de ataque). El experimento se repitió 5 veces, una vez por mes durante el periodo de mayo a septiembre del 2008.



**Ilustración 4.** Ramas artificiales con tenebrios. Se cuantificaron los ataques recibidos por los tenebrios en ramas colocadas en exclusiones de anfibios y lagartijas y en ramas sin exclusión.

Al inicio de este experimento se trabajó en las tres parcelas de policultivo tradicional de café de sombra y las tres parcelas de policultivo comercial que se escogieron para el Experimento. Sin embargo, con el transcurso del tiempo y luego de haber realizado los primeros experimentos, se observó en dos parcelas (Don Arnulfo y Casa Ing. Álvaro) la presencia de 15-20 gallinas. Es común que los agricultores mantengan en sus cafetales gallinas para su autoconsumo. Sin embargo, la cantidad de

estos animales en estas dos parcelas, claramente estaba alterando los resultados del experimento.

Para registrar a los posibles depredadores de los tenebrios se realizaron de manera independiente al Experimento de depredación observaciones directas sobre las plantas experimentales. Las observaciones las llevaron a cabo dos personas en el mes de julio, desde una distancia de 8 metros.

Las primeras observaciones se hicieron en una parcela de policultivo tradicional (parcela de Don Cástulo) que no se usó para los Experimentos, ubicada en la localidad de Alahuacapan muy cerca de las dos parcelas de policultivo tradicional. En esta parcela se colocaron 8 ramas artificiales, 4 en exclusión y 4 en tratamiento control. En cada rama se colocaron tres tenebrios, para un total de 24 tenebrios en la parcela. Dos personas observaron simultáneamente durante un periodo de 19 horas (de 4 p.m. a 11 a.m.) las 8 ramas artificiales.

Posteriormente, se realizaron observaciones en una parcela de policultivo comercial (Potrero del Ing. Álvaro) sobre un total de 6 ramas artificiales: 3 controles y 3 exclusiones, teniendo un total de 18 tenebrios (Tabla 11). Dos personas observaron las 6 ramas artificiales simultáneamente durante 22 horas (de las 16:00 a las 14:00 horas). Al día siguiente, en la misma parcela, se colocaron 12 ramas artificiales en tratamiento control con tres tenebrios cada una, para un total de 36 tenebrios. Las observaciones las realizaron dos personas desde una casa de campaña durante un periodo de 24 horas.

**5.4.4 Experimento 3. Herbivoría en plantas de café.** Para cuantificar la herbivoría sufrida en plantas de café de sombra en los dos sistemas de producción, en las seis

parcelas de café se seleccionaron 30 plantas adultas de café. En cada planta se escogieron al azar 5 hojas que se encontraran a una altura < 50 cm. Esta altura cercana al suelo se uso para registrar la herbivoría en las hojas de mayor acceso para los animales insectívoros terrestres incluyendo ranas y lagartijas. Se obtuvieron 150 hojas por parcela y 450 por sistema de producción de café. Se utilizó el método de categorías de daño para medir la herbivoría (Dirzo y Domínguez, 1995).

#### **5.4.5 Análisis de datos**

**Experimento 1.** Durante los meses de agosto y septiembre varias plantas perdieron sus hojas y, al no poderse confirmar si la pérdida de hojas se debió a la herbivoría o la senescencia natural, se decidió hacer el análisis de herbivoría únicamente con los datos del mes de julio. Por lo tanto, para cada foliolo de cada planta se calculó el daño correspondiente al primer mes de observación. Para esto se restó al daño total en julio el daño inicial registrado en el mes de junio, al comenzar el experimento.

Se obtuvo el promedio del daño para cada planta considerando los 6 foliolos. Registrando un total de 72 plantas, 36 plantas del policultivo tradicional y 36 plantas del policultivo tradicional. De las 36 plantas de cada sistema, 18 fueron controles y 18 exclusiones. Con estos datos se hizo un análisis de varianza anidado, teniéndose el factor sistema (tradicional vs. comercial) y el factor exclusión (exclusión vs. control) anidado dentro de sistema. También se obtuvo la tasa de herbivoría promedio de los sistemas de producción en las plantas control y exclusión utilizando la siguiente fórmula, en donde los 30 días corresponde al tiempo transcurrido entre una medición y otra.

$$Tasa\ de\ herbivoría = \frac{Daño\ registrado\ en\ julio - Daño\ registrado\ en\ junio}{30\ días}$$

**Experimento 2.** Como ya se mencionó arriba, las parcelas de Don Arnulfo y Casa del Ingeniero, éstas fueron excluidas de este experimento, puesto que en ellas las gallinas fueron observadas depredando los tenebrios. En cada una de las otras cuatro parcelas se registró el índice de ataque (número de tenebrios depredados por día) para cada una de las cinco veces que se repitió el experimento. Se calculó el promedio de estos índices por sistemas (tradicional y comercial). Se realizó una prueba de ANOVA anidado utilizando el promedio de depredación como variable de respuesta y teniéndose nuevamente el factor sistema (tradicional vs. comercial) y el factor exclusión (exclusión vs. control) anidado dentro de sistema.

**Experimento 3.** Para obtener los niveles de herbivoría de las plantas de café en los dos sistemas de producción, se cuantificó visualmente el porcentaje de daño sobre cada hoja, definiendo las siguientes categorías: 0=0%, 1=1-6%, 2=6-12%, 3=12-25%, 4=25-50% y 5=50-100% (Dirzo y Domínguez, 1995). Fueron examinadas un total de 450 hojas para el policultivo tradicional y 450 para el comercial. Para obtener el índice de herbivoría de cada una de las plantas de café se utilizó la fórmula:

$$IH = \frac{\sum [(ni)i]}{N}$$

En donde:

*IH* = índice de herbivoría

*ni* = número de hojas para esa categoría

*i* = categoría de daño

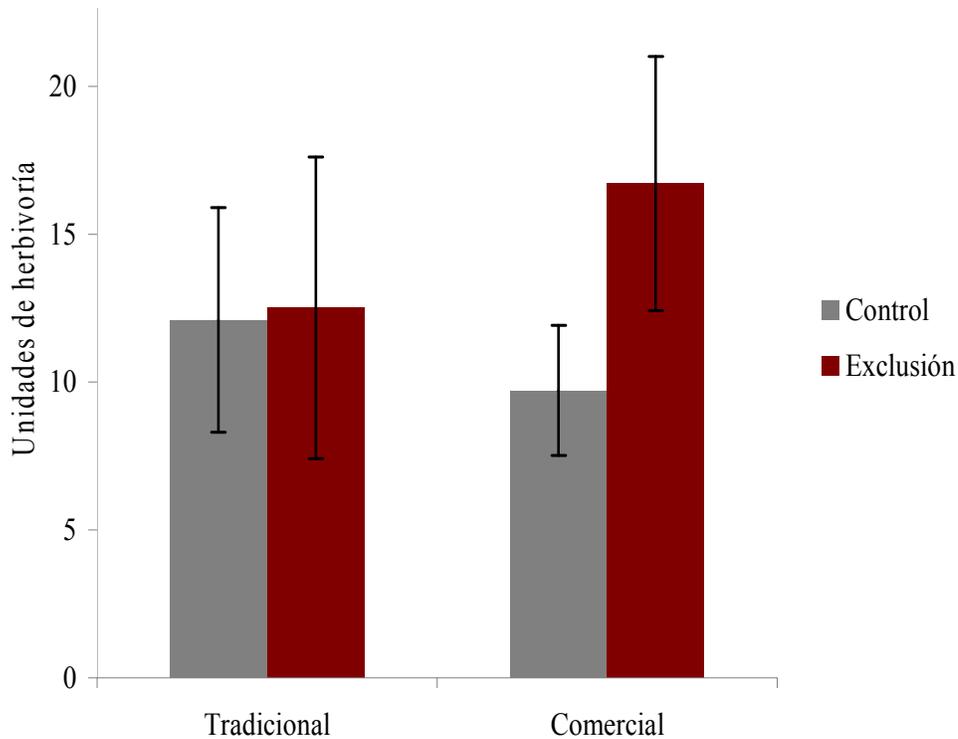
*N* = número total de hojas

Se calculó el índice de herbivoría para cada planta de café obteniéndose de esta manera 30 datos por parcela, a partir de los cuales se calculó el índice de herbivoría promedio por parcela. Con los promedios de cada parcela se hizo una ANOVA de una vía, con sistema de producción (tradicional vs. comercial) como único factor.

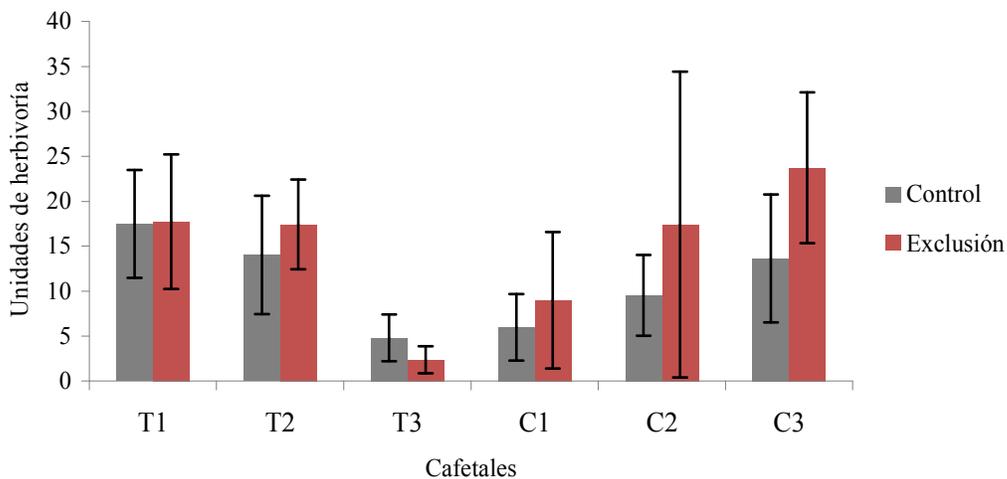
## 5.5 Resultados

**Experimento 1. Importancia de los anfibios y lagartijas sobre los insectos herbívoros mediante la cuantificación de niveles de herbivoría.** Los resultado del ANOVA anidado para la herbivoría en el mes de julio muestran que el factor “sistema de producción de café” no tuvo efectos significativos ( $F_{1,4} = 0.028$ ,  $P = 0.876$  Figura 7), mientras que el factor “exclusión” sí tuvo efecto significativo, ocurriendo mayor herbivoría en las exclusiones de ranas y lagartijas ( $F_{1,4} = 7.61$ ,  $P = 0.05$ ). A pesar de que no se pudo probar la significancia del término de interacción (debido a que se trabajó con un diseño anidado), se observa en los patrones obtenidos que el efecto de mayor herbivoría en exclusión fue consistente e importante (por su magnitud) en los cafetales de policultivo comercial, pero no así en los de policultivo tradicional (Figura 7 y 8).

Los datos de herbivoría presentan una gran variación entre cafetales (Figura 8), lo cual explica el hecho de no haber encontrado un efecto significativo en el factor sistema de producción. Asimismo, se observa una gran variación dentro de cada cafetal (ver barras de error en Figura 8), lo cual indica una fuerte heterogeneidad en la herbivoría a una escala espacial pequeña.



**Figura 7** Porcentaje promedio de herbivoría en el mes de julio en los dos sistemas de producción de café en plantas de chalahuite con exclusión de lagartijas y anfibios y plantas control. El número de datos con los que se construyó cada barra corresponden a los promedios de las parcelas (3) de cada sistema. Las unidades de herbivoría son el porcentaje de daño mostrado por las hojas. Las barras de error indican error estándar.



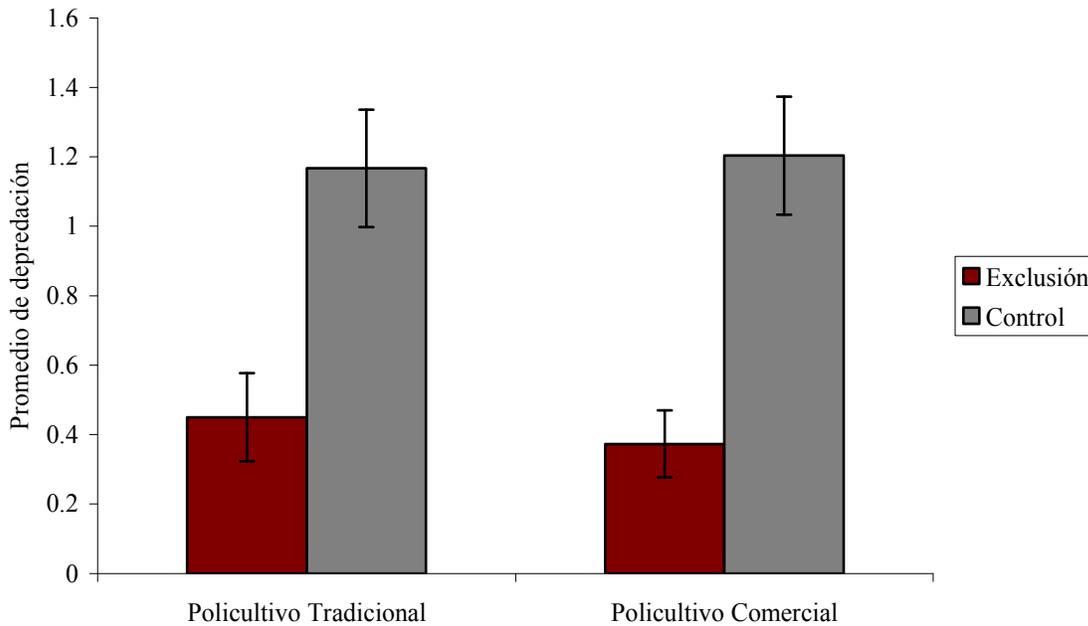
**Figura 8** Herbivoría en el mes de julio en cada una de las parcelas de café (T = sistema de policultivo tradicional; C = sistema de policultivo comercial) tanto en las plantas control como en plantas con exclusión de lagartijas y anfibios. Las unidades de herbivoría corresponden al promedio de daño en julio. Cada barra corresponde al promedio de las 6 plantas experimentales en cada cafetal. Las barras de error indican error estándar.

De manera análoga las tasas de herbivoría del policultivo tradicional no muestran diferencias significativas entre las plantas control y las exclusiones pero si se observan diferencias en la tasa de herbivoría del policultivo comercial entre las plantas control y exclusión (ver Tabla 10).

**Tabla 10** Comparación de las tasas de herbivoría entre los sistemas de producción de café. El daño/d corresponde al daño (julio)/30 días.

	Promedio Daño/d $\pm$ error estándar
Policultivo tradicional Exclusión	0.4 $\pm$ 0.12
Policultivo tradicional Control	0.4 $\pm$ 0.16
Policultivo comercial Exclusión	0.6 $\pm$ 0.07
Policultivo comercial Control	0.3 $\pm$ 0.14

**Experimento 2. Importancia de los anfibios y lagartijas sobre los insectos herbívoros mediante la depredación de insectos.** Mediante el ANOVA anidado se encontró que hay efectos significativos del factor exclusión, siendo la depredación de tenebrios mucho menor en las ramas artificiales colocadas en exclusiones de anfibios y lagartijas ( $F_{1,2} = 14.49$ ,  $P < 0.0001$ ; Figura 9). Al igual que en el caso de la herbivoría (Experimento 1), tampoco se encontró un efecto significativo del factor sistema de producción de café sobre la depredación de tenebrios ( $F_{1,2} = 0.01$ ,  $P = 0.91$ ).



**Figura 9.** Número promedio de tenebrios depredados en plantas experimentales control, y plantas con exclusión de lagartijas y anfibios, en los dos sistemas de producción de café de sombra. Los datos de los que se obtuvo cada barra corresponden a los promedios de las parcelas ( $n = 2$ ) de cada sistema. Las barras de error indican error estándar.

Durante los registros del Experimento 2 se observaron ocasionalmente sobre las plantas experimentales, tanto en plantas control como en exclusión, hormigas depredando a los tenebrios.

Con respecto a las observaciones directas realizadas por los observadores para la identificación visual de los depredadores de los tenebrios, luego de 130 horas/hombre, únicamente se observaron 20 depredaciones, todas en el policultivo comercial (Tabla 11). Se observó actividad de algunas especies animales cerca de las plantas observadas (grillos, hormigas y arañas) pero sólo se observó la depredación de tenebrios por parte de los grillos. En ningún caso se logró observar depredación por anfibios o lagartijas.

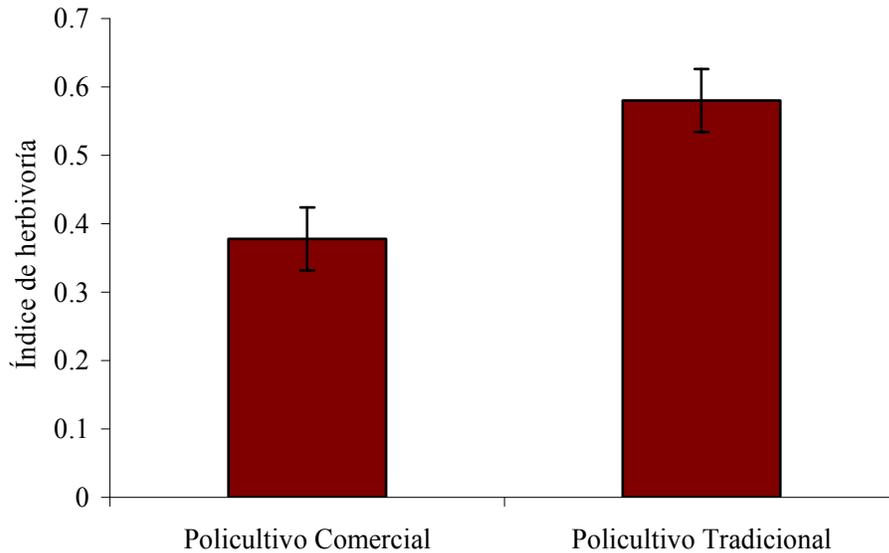
**Tabla 11.** Observaciones sobre la depredación de tenebrios llevadas a cabo durante tres días, en parcelas de cultivo de café de sombra.

	<b>Policultivo Tradicional</b>	<b>Policultivo Comercial</b>	<b>Policultivo Comercial</b>
<b>Esfuerzo ( horas/hombre)</b>	38	44	48
<b># Ramas artificiales</b>	8	6	12
<b>Depredaciones observadas</b>	0	1	19

Ejemplares de la especie de grillo que fue observado depredando a los tenebrios fueron depositados en el laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde fue determinada su identificación hasta nivel de género, *Ceuthophilus sp.*, en la familia Raphidophoridae. Esta familia de grillos se distingue por presentar largas antenas, robustas piernas para saltar y frecuentemente son llamados grillos camello ya que presentan en la espalda una joroba doblada hacia abajo (Lavoie *et al.*, 2007). Algunas especies del género *Ceuthophilus* viven en cuevas o debajo de rocas que usan como refugio durante el día, ya que los individuos forrajean y depositan sus huevos en el bosque durante la noche. En este estudio, mediante las observaciones directas, la depredación de tenebrios por grillos fue más intensa en ramas que estuvieron cerca a un área rocosa en la parcela de café. Poco se sabe sobre su alimentación, pero se ha observado que tienen un amplio rango de aceptación por diferentes cebos que van desde crema de maní hasta alimento para gato (Lavoie *et al.*, 2007).

**Experimento 3. Herbivoría sobre las plantas de café.** El índice de herbivoría en las plantas de café del policultivo tradicional (IH = 0.58) fue mayor al del policultivo comercial (IH = 0.38). Al realizar el ANOVA de una vía con los promedios de los

índices de herbivoría (IH) se observó que las diferencias fueron estadísticamente significativas ( $F_{1,4} = 9.64$ ,  $P = 0.03$  Figura 10).



**Figura 10.** Índices de herbivoría en plantas de café en el policultivo tradicional y comercial. Se observa mayor herbivoría en el policultivo tradicional que en el comercial. Las barras de error indican error estándar.

## 5.6 Discusión

Los trabajos dedicados a estudiar el efecto de la depredación de insectos, en el contexto del control biológico de potenciales plagas en cafetales se han enfocado a depredadores aéreos como aves y murciélagos (Perfecto *et al.*, 2004; Williams-Guillén *et al.*, 2008) conociéndose muy poco del papel que están jugando los depredadores de insectos terrestres excepto en el caso de las hormigas (Perfecto y Snelling, 1995). Borkhataria (2006) realizó un estudio sobre efectos de aves y lagartijas sobre las poblaciones de insectos, encontrando que conjuntamente estos grupos tienen un efecto significativo en el control de insectos de talla menor que 5 mm, y las lagartijas

tuvieron un impacto mayor en los mineros de las hojas con talla de entre 2 y 3 mm. El presente estudio es una de las pocas investigaciones enfocadas a cuantificar el papel de vertebrados terrestres, en particular anfibios y lagartijas, en el control de poblaciones de insectos en cafetales.

Durante el presente estudio no se logró observar directamente la depredación de tenebrios por anfibios o lagartijas. Sin embargo, sí se obtuvo una disminución significativa en la herbivoría de chalahuite y un aumento en la depredación de tenebrios en las plantas control, en comparación con las plantas en exclusiones. Esto indica que ciertos depredadores terrestres están jugando un papel importante en la depredación de insectos herbívoros en niveles cercanos al suelo. Aunque las exclusiones sí excluían anfibios y lagartijas, probablemente también excluyeron a otros depredadores terrestres tales como artrópodos o pequeños mamíferos insectívoros. Un reto para futuros trabajos será diseñar alguna metodología experimental que permita discernir de manera más inequívoca el papel particular de cada grupo de depredadores terrestres en el control de las poblaciones de insectos.

Es importante recalcar que se observó la presencia de gallinas dentro de todas las parcelas. Es posible que estos animales domésticos disminuyan las poblaciones de artrópodos, tanto benéficos como dañinos. Sería valioso hacer un estudio que evaluara el efecto de las gallinas y otros animales domésticos que viven y/o usan los cultivos de café, sobre los diferentes grupos de plantas y animales nativos presentes en los cafetales. Un estudio de este tipo permitiría hacer recomendaciones de manejo muy concretas.

En comparación a los depredadores aéreos (aves, murciélagos), los depredadores terrestres probablemente son de particular importancia para el control de

la herbivoría en plantas del sotobosque, en particular plantas jóvenes. Las plantas jóvenes son muchas veces más vulnerables al ataque de insectos herbívoros por ser sus hojas más palatables, como ocurre en algunas plantas de los bosques tropicales en donde las hojas jóvenes son un recurso importante para los insectos (Coley y Barone, 1996). Stowe *et al.*, (2000) sostienen que hojas de las plantas jóvenes deben presentar mayor defensa contra la herbivoría debido a su necesidad de crecimiento. Sin embargo otra teoría sostiene que, a través de su ontogenia las plantas van cambiando sus niveles de defensa hacia posibles ataques de herbívoros (Boege y Marquis, 2005). Altas tasas de herbivoría pueden fácilmente provocar mortalidad, o lento crecimiento durante esa fase en el ciclo de vida de las plantas (Marquis, 1984).

Los niveles de herbivoría registrados en las plantas excluidas vs plantas control sólo fueron significativamente diferentes en el policultivo comercial, mientras que en el policultivo tradicional los niveles de herbivoría en controles y exclusiones fueron muy similares (ver Figura 7). Esto podría ser consecuencia de que en el policultivo tradicional, en efecto los anfibios y lagartijas no representan una presión significativa como depredadores de los insectos herbívoros, o bien lo son sobre especies de insectos que se alimentan de otras especies de plantas y no del chalahuite blanco. Los resultados parecen contradictorios ya que se puede observar un efecto del tratamiento de exclusión en la herbivoría en las parcelas de policultivo comercial, en donde la abundancia de anfibios y lagartijas es menor (Capítulo 1. Tabla 2). Esto podría deberse a que fueron otros los animales depredadores, además de los anfibios y las lagartijas, los que fueron excluidos. Además, las diferentes abundancias de insectos en los sistemas de producción de café pueden afectar los resultados. Es posible que la mayor insolación en el policultivo comercial favorezca la presencia de insectos. Un estudio

posterior debería incluir una evaluación de las poblaciones de insectos. Mediante un experimento con exclusiones de aves y lagartijas Borkhataria *et al.* (2006) observaron que las abundancias de insectos fueron menores en las exclusiones que en el control, a pesar que esta diferencia no resultó significativa. En dicho estudio se clasificaron los insectos por su tamaño en tres categorías, encontrándose que entre el tratamiento de exclusión y control hubo diferencias significativas en las abundancias de insectos sólo para la categoría más pequeña (< 2 mm).

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en este estudio sólo representaron una fracción del ciclo anual, por lo que conclusiones distintas podrían obtenerse en otras estaciones del año. Por ejemplo, Williams-Guillén *et al.* (2008) estudiaron las densidades de artrópodos en cafetales en México realizando exclusiones de murciélagos y aves, y encontraron que los efectos de estos depredadores fueron mayores en la estación de lluvias que en la estación seca.

Los niveles de herbivoría y depredación de tenebrios sobre las plantas experimentales no mostraron diferencias significativas entre el sistema de policultivo tradicional y el comercial. Esto puede deberse a que los ensambles de anfibios y lagartijas tampoco son significativamente diferentes en ambos sistemas, o alternativamente, a que las especies de mayor impacto sobre las poblaciones de insectos herbívoros son igualmente abundantes en ambos sistemas. Las explicaciones posibles para no encontrar diferencias entre las herbivorías y depredaciones en los diferentes sistemas son muchas. Tal vez estas explicaciones están más relacionadas con las mismas poblaciones de insectos. Es posible que dichas poblaciones sean controladas por factores ajenos a la depredación de los anfibios, reptiles o cualquier otro grupo. Sin embargo, con respecto a la herbivoría en plantas de café se obtuvo

como resultado una diferencia significativa entre los sistemas de policultivo comercial y tradicional, siendo el último el que presentó mayor herbivoría en las plantas de café. Esta diferencia contrasta con la tendencia observada en la herbivoría sobre las plantas de chalahuite blanco, en las que se observó una tendencia a mayor herbivoría en el sistema de policultivo comercial, aunque los niveles observados no difieren significativamente. En ambos sistemas de cultivo se practica el manejo orgánico, el cual prohíbe el uso de pesticidas, por lo que el uso de agroquímicos puede ser la razón por la cual se observe una diferencia. Los niveles de herbivoría sobre las plantas de café muestran resultados que van en contra de la teoría. La herbivoría debería ser menor en el sistema de policultivo tradicional que en el comercial, debido a que el policultivo tradicional presenta una estructura vegetal más compleja y alberga una gran variedad de depredadores de insectos (hormigas, arañas, avispas, aves, murciélagos). El presente trabajo no es el único que presenta esta tendencia. En bosques tropicales húmedos Coley y Barone (1996) registraron mayor tasa de herbivoría en hojas jóvenes de plantas tolerantes a la sombra (0.71) que en aquellas que no lo son (0.65). Tal vez el policultivo comercial estudiado en Cuetzalan tenga una estructura y composición de la vegetación lo suficientemente compleja como para mantener una buena cantidad de depredadores de insectos. Por otro lado, tal vez el policultivo tradicional es tan complejo y diverso que más bien eso mantiene mayor abundancia de insectos herbívoros. En resumen, es imposible llegar a conclusiones contundentes de cuáles son las causas de los patrones sin antes estudiar de manera integral las poblaciones de los diferentes grupos de animales herbívoros y animales insectívoros.

Los resultados de la depredación de tenebrios no muestran diferencias significativas entre los sistemas de producción de café. Esto difiere de lo registrado en

experimentos de depredación por aves en cafetales con sombra monoespecífica y diversificada (Perfecto *et al.*, 2004). En dicho estudio sí se observó una mayor depredación de larvas experimentales en cafetales con sombra diversificada. Mis resultados también difieren a lo registrado en bosques tropicales en donde se ha observado un incremento de los depredadores (principalmente hormigas) en zonas del bosque con mayor incidencia solar que en la sombra (Richards y Coley, 2007). Posiblemente las especies depredadoras que se presentan en uno de los sistemas ya son se presentan en el otro, de modo que ambos sistemas muestran similar tasa de depredación de insectos, pero los motivos causales son diferentes. Sería conveniente investigar estos motivos con más detalle en estudios futuros. Es posible que los tenebrios resultaran atractivos para especies insectívoras terrestres a las cuales no les resultan tan atractivos los insectos herbívoros del chalahuite blanco. Sólo invertebrados como grillos y hormigas fueron observados depredando a los tenebrios, lo cual quiere decir que se debería poner atención en el estudio de los invertebrados insectívoros como controladores de plagas. El experimento de depredación fue realizado en el sotobosque, de manera que no se obtuvo registro del comportamiento de la depredación en los niveles altos del cafetal.

## **5.7 Conclusiones**

1. Se observó mayor herbivoría en plantas con exclusiones únicamente en el policultivo comercial. Debido a que la abundancia de lagartijas y anfibios es menor en el policultivo comercial (ver Capítulo 1), es poco probable que los anfibios y lagartijas fueran el factor causal de la diferencia observada en herbivoría entre exclusiones y controles. Sin embargo, la presencia de otros depredadores terrestres (se observaron

grillos y hormigas) en parcelas de policultivo comercial pudo ser la causa de los patrones observados. Alternativamente, tal vez la cantidad de insectos herbívoros es mayor en el policultivo comercial, y por lo tanto es mucho más notorio el efecto de depredación de los anfibios y lagartijas. Es decir que los anfibios y lagartijas podrían jugar un papel más importante en este sistema a pesar de que son ligeramente menos abundantes.

2. No obtuve suficientes elementos para afirmar con certeza que los anfibios y lagartijas representan depredadores importantes de insectos herbívoros en los cafetales, debido a que en las observaciones directas no se observó ningún anfibio o lagartija depredando tenebrios. Sin embargo, la falta de observaciones directas tampoco es evidencia suficiente para decir que las lagartijas y/o anfibios no están depredando insectos herbívoros.

3. La depredación de tenebrios fue significativamente mayor en plantas control que en plantas con exclusiones, en ambos sistemas de producción de café. Esto indica que depredadores terrestres, tales como grillos, hormigas, y posiblemente también lagartijas y anfibios, juegan un papel importante en el consumo de insectos en el sotobosque de los cafetales de sombra.

4. No hubo diferencias estadísticamente significativas en los niveles de herbivoría ni de depredación de tenebrios en el policultivo tradicional vs. policultivo comercial. Sin embargo, en plantas de café resultó ser significativamente mayor la herbivoría registrada en el sistema de policultivo tradicional.

5. Sería recomendable que estudios futuros se enfocaran en cuantificar las poblaciones de insectos, y de diferentes taxa de animales insectívoros, así como el impacto de los animales domésticos dentro de las parcelas.

## 6. CONCLUSIONES GENERALES

En este estudio se observó que, para la mayoría de las variables medidas existe una gran variabilidad entre cafetales dentro de cada sistema de producción. Por lo mismo resulta difícil generalizar acerca de diferencias en la diversidad de anfibios y lagartijas, la herbivoría y la depredación de insectos entre el sistema de policultivo tradicional y el policultivo comercial. Es importante recordar que en el paisaje estudiado, cada cafetal constituye una unidad de manejo independiente y con una historia de uso del suelo muy particular.

En el primer capítulo se observó una tendencia de mayor abundancia de anfibios y lagartijas en el policultivo tradicional, aunque no fue estadísticamente significativa, precisamente por la variación entre parcelas que se menciona arriba. En la riqueza observada no se observaron diferencias significativas entre el policultivo tradicional, el policultivo comercial y el bosque. El policultivo comercial resultó ser el sistema con el mayor valor del índice de diversidad. Sin embargo, resulta importante señalar que esto se debió a la mayor equitatividad en la abundancia relativa de las especies presentes, y no a un mayor número de especies. Asimismo, muchas de las especies que se registraron en este sistema fueron especies raras ( $\leq 10$  individuos), lo cual sugiere una baja estabilidad de los ensamblajes de anfibios y lagartijas dentro de este sistema de producción.

En el segundo capítulo se encontró que la herbivoría observada en plantas de chalahuite blanco no fue significativamente diferente entre los sistemas de producción de café de sombra. Sin embargo, sí hubo diferencias de herbivoría entre las plantas

control y las exclusiones aunque únicamente en el policultivo comercial, presentando las plantas en exclusión una mayor herbivoría. La depredación de tenebrios tampoco fue significativamente distinta entre los sistemas de producción, sin embargo en ambos se encontró una mayor depredación en las plantas control que en las exclusiones. Finalmente, la herbivoría en las plantas de café resultó ser significativamente mayor en el sistema de policultivo tradicional que en el policultivo comercial. Es imposible llegar a conclusiones contundentes acerca de cuáles son las causas de los patrones sin antes estudiar las poblaciones de los diferentes grupos de animales herbívoros y animales insectívoros.

En resumen, los cafetales de sombra del municipio de Cuetzalan del Progreso poseen un importante potencial para la conservación de una gran parte de las especies de anfibios y lagartijas que se encuentran en la región. Y, si bien la abundancia y riqueza de estos taxa tendió a ser menor en el policultivo comercial estas diferencias aparentemente no son lo suficientemente grandes como para provocar diferencias en el funcionamiento (herbivoría, insectivoría) del ecosistema. Una evaluación de las poblaciones de insectos y animales insectívoros puede mejorar la comprensión del impacto que los anfibios y lagartijas tienen como controladores de los herbívoros de los cafetales de sombra. También sería conveniente evaluar cómo la presencia de animales domésticos influye en la presencia de anfibios y lagartijas dentro de los cafetales, o en general, qué tanto impide que los cafetales sirvan como refugios para las especies nativas.

## 7. LITERATURA CITADA

- Altegrim, O. 1992. Mechanisms regulating bird predation on a herbivorous larva guild in boreal coniferous forest. *Ecography* 15:19-24.
- Ambrecht, I. y M. C. Gallego. 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 124:261-267.
- Arellano, L., M. E. Favila y C. Huerta. 2005. Diversity of dung and carrion beetles in a disturbed Mexican tropical mountain cloud forest and on shade coffee. *Biodiversity and Conservation* 14:601-615.
- Bandeira, F. P., C. Martorell, J. A. Meave y J. Caballero. 2005. The role of rustic coffee in the conservation of wild tree diversity in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 14:1225-1240.
- Basurto, F. 1982. Huertos familiares en dos comunidades nahuas de la Sierra Norte de Puebla: Yancuictlalpan y Cuahtapanaloyan. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 140 pp.
- Beauge, P. 1990. El bestiario mágico. Categorización del mundo animal por los maseualmej (nahuas) de la Sierra Norte de Puebla. *Recherches Amérindinnes au Québec* 20:3-18.
- Bille, T. 2000. Microhabitat utilization of the Mexican salamander, *Pseudoeurycea leprosa*. *Journal of Herpetology* 34:588-590.

- Borkhataria, R. R., J. A. Collazo y M. J. Groom. 2006. Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto Rican coffee plantation. *Ecological Applications* 16:696-703.
- Calderón-Mandujano, R. y Pozo de la Tijera Ma. Del Carmen. 2003. Ficha técnica *Corytophanes hernandezii* CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichansnom/Corytophaneshernandezii00.pdf>.
- Cano, F. 1979. Etnobotánica mexicana: Contribución al conocimiento de la flora medicinal de Cuetzalan, Puebla. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 87 pp.
- Canseco-Márquez, L. 2007. *Scincella gemmingeri*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Canseco-Márquez, L. y M. Gutiérrez. 2004. Herpetofauna del Municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla. [http://www.fororeptiles.org/blahdocs/uploads/cansecomarquez\\_and\\_gutierrezmayen\\_2007\\_9662.pdf](http://www.fororeptiles.org/blahdocs/uploads/cansecomarquez_and_gutierrezmayen_2007_9662.pdf)
- Canseco-Márquez, L. & Santos-Barrera, G. 2007. *Scincella silvicola*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Colwell, R. K., Mao Ch. y Chang J. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85:1727-2717.
- Coley, P. D. 1983. Herbivory and defense characteristics of tree species in a lowland tropical forest. *Ecological Monographs* 53:209-233.
- Coley, P. D. 1996. Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annual Reviews Ecology*. 27:305-335.

- Contreras, J. J. L., 2001. Estudio florístico de la región de Cuetzalan, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. L282. México D. F.
- Cruz-Lara, L. E., C. Lorenzo, L. Soto, E. Naranjo y N. Ramírez-Marcial. 2004. Diversidad de mamíferos en cafetales y selva mediana de las cañadas de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 20:63-81.
- De la Mora, A., G. Livingston y S. M. Philpott. 2008. Arboreal ant abundance and leaf miner damage in coffee agroecosystems in México. *Biotropica* 40:742-746.
- Del Val, E. y R. Dirzo. 2003. Does ontogeny cause changes in the defensive strategies of the myrmecophyte *Cecropia peltata*. *Plant Ecology* 169:35-41.
- Dirzo, R. y C. A. Domínguez. 1995. Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forest. En S. H. Bullock, E. Medina y H.A. Mooney (eds.) *Seasonally dry tropical forest*. Cambridge University Press. 304-325 pp.
- Duellman, W.E., y L. Trueb. 1986. *Biology of amphibians*. Chapter 9. Food and feeding. McGraw-Hill, New York. 229-240 pp.
- Erwin, T. E. 1982. Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *The Coleopterist's Bulletin* 36:74-75.
- Escamilla, P., O. Ruiz, G. Díaz, C Landeros, D. E. Platas, A. Zamarrita y V. A. González. 2005. El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 76:5-16.
- Faria, D., M. L. Barradas, M. Dixo, R. R. Laps y J. Baumgarten. 2007. Ferns, frogs, lizards, birds and bats in forest fragments and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic forest, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 16:2335-2357.

- Farji-Brener, A. G. 2001. Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forest than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. *Oikos* 92:169-177.
- Fáveri, S. B., H. L. Vasconcelos y R. Dirzo. 2008. Effects of Amazonia forest fragmentation on the interaction between plants, insect herbivores, and their natural enemies. *Journal of Tropical Ecology* 24:57-64.
- Feinsinger, P. 2001. Designing field studies for biodiversity conservation. Chapter 9. The Nature Conservancy. United State of America. 131-144 pp.
- Flores-Villela, O. y L. Canseco-Márquez. 2007. *Gerrhonotus ophiurus*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Glor, E. R., A. Flecker, M. F. Bernad y A. G. Power. 2001. Lizard diversity and agricultural disturbance in a Caribbean forest landscape. *Biodiversity and Conservation* 10:711-723.
- González Romero, A. y R. Murrieta Galindo. 2008. Anfibios y reptiles. En: R. H. Manson, V. Hernandez Ortiz, S. Gallina y K. Mehlreter (editores). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad manejo y conservación*. INECOL. Xalapa. 135-148 pp.
- Gradwohl, J. y R. Greenberg. 1982. The effect of a single species of avian predator on the arthropods of aerial leaf litter. *Ecology* 63:582-583.
- Greenberg, R. P. Bichier, A. C. Angon. C. MacVean, R. Pérez y E. Cano. 2000. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology* 81:1750-1755.

- Greenberg, R., P. Bichiero, A. Cruz y R. Reitsma. 1997. Bird population in shade and sun coffee plantations in Central Guatemala. *Conservation Biology* 11:448-459.
- Gutiérrez, M. 1997. Anfibios y reptiles del municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Informe final del proyecto L283. CONABIO, México D. F.
- Heckel, D. y J. Rougharden. 1979. Technique for estimating the size of lizard population. *Ecology* 60:966-975.
- Heinen, J. T. 1992. Comparisons of the leaf litter herpetofauna in abandoned cacao plantation and primary rain forest in Costa Rica: some implications for faunal restoration. *Biotropica* 24:431-439.
- Hernández, H. 2002. Obtención de parámetros sanguíneos de *Kinosternon herrerai* Yancuitlalpan, municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 96 pp.
- Ibarra- Núñez, G. 1990. Los artrópodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas. México: I Variedad y Abundancia. *Folia Entomológica Mexicana* 79:207-231.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1988). Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del Estado de Veracruz. México, D. F. 69 pp.
- Jones, K. 1986. Amphibians and reptiles. En: Cooperrider, A., R.J. Boyd, H.R. Stuart, S. L. McCulloch (Eds). *Inventory and monitoring of wildlife habitat, USA* Bureau of Land Management, Denver, Colorado. 267-290 pp.

- Koh, L.P. y D.N.L. Menge. 2006. Rapid assessment of Lepidoptera predation rates in neotropical forest fragments. *Biotropica* 38:132-134.
- Lavoie, H.K., K. L. Helf y T. L. Poulson. 2007. The biology and ecology of North American cave crickets. *Journal of Cave and Karst Studies* 69:114-134.
- Lau, J.A., J. Strengbom, L. R. Stone, P.B. Reich y P. Tiffin. Direct and indirect effects of Co<sub>2</sub>, nitrogen, and community diversity on plant-enemy interactions. *Ecology* 89:226-236.
- Lee, J., Calderón, R., M. A. López-Luna, y L. Canseco-Márquez. 2007. *Laemanctus serratus*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Leyequién, A. 2006. Birds, traditional coffee plantations and special complexity: The diversity puzzle. Tesis de Doctorado, Wageningen University, Países Bajos.
- Loiselle, A. B. y A. G. Farji-Brener. 2002. What's up? An experimental comparison of predation levels between canopy and understory in a tropical wet forest. *Biotropica* 34:327-330.
- López del Toro, P. 2008. Percepciones de los pobladores rurales del municipio de Cuetzalan, Puebla, sobre las funciones ecológicas de los vertebrados terrestres. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 135 pp.
- López del Toro, P., E. Andresen, L. Barraza y A. Estrada. 2009. Attitudes and knowledge of shade-coffee farmers towards vertebrates and their ecological functions. *Tropical Conservation Science* 3:299-318.
- López, L., M. A. y Canseco-Márquez, L. 2007. *Celestus legnotus*. In: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.

- Losey, J. E. y M. Vaughan. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *Bio Science* 56: 311-323.
- Macip-Ríos, R. y A. Muñoz-Alonso. 2008. Diversidad de lagartijas en cafetales y bosque primario en el Soconusco chiapaneco. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:1-11.
- Macip-Ríos, R. y G. Casas-Andreu. 2008. Los cafetales en México y su importancia para la conservación de los anfibios y reptiles. *Acta Zoológica Mexicana* 24:143-159.
- Magurran, E. A. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. Malden. 256 pp.
- Marquis, R. M. 1984. Leaf herbivores decrease fitness of a tropical plant. *Science*. 226:537-539.
- Martínez, M. A., V. Evangelista, F. Basurto, M. Mendoza, A. Cruz-Rivas. 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78:15-40.
- Martínez, M. M P. 2003. La diversidad de reptiles y sus cambios al transformar bosques nativos en cafetales en la zona de amortiguamiento y de influencia de la reserva de la biosfera El Triunfo, Chiapas. México. Tesis de Licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 85 pp.
- McNaughton, S.J., M. Osterheld, D. A. Frank y K. J. Williams. 1989. Ecosystem level patterns of primary productivity an herbivory in terrestrial habitats. *Nature* 341:142-144.
- Mendoza-Quijano, F. 2007. *Lepidophyma sylvaticum*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>

- Moguel, P. y V. M. Toledo. 1996. El café en México. *Ciencias* 43:40-51.
- Moguel, P. y V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Moguel, P. y V. M. Toledo. 2005. Conservar produciendo: biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas* 55:1-13.
- Morán, R. G. 2005. Seguimos Dependiendo del Campo. El proyecto de café orgánico en la Cooperativa Indígena Tosepan Titataniske de Cuetzalan. Capítulo 6: El café orgánico y el comercio justo. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de la Américas Puebla, Puebla, México 85 pp.
- Murrieta G. R. 2007. Diversidad de anfibios en cafetales en la zona centro del estado de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A.C, Xalapa, Veracruz. México. 75 pp.
- Ortega J. E., J. M. Monares-Riaño y M. P. Ramírez-Pinilla. 2009. Reproductive activity, diet, and microhábitat use in *Bolitoglossa nicefori* (Caudata: Plethodontidae). *Journal of Herpetology* 43:1-10.
- Parra-Olea G., D. Wake y J. Raffaelli 2004. *Pseudoeurycea cephalica*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Percino, D. R. 2000. Diversidad de reptiles en bosque mesófilo de montaña y cafetales, en la reserva de la biosfera “El Triunfo” Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 92 pp.
- Perfecto, I. y R. Snelling. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantation. *Ecological Applications*. 5:1084-1097.

- Perfecto I., J. Vandermeer., G. López., G. Ibarra., R. Greenberg., P. Bichier. y S. Langridge. 2004. Greater predation in shaded coffee farms: the role of neotropical birds. *Ecology* 85:2677-2681.
- Perfecto I y Vandermeer J. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. A new conservation paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134:173-200.
- Philpott, S. M. y T. Dietsch. 2003. Coffee and conservation: a global context and the value of farmer involvement. *Conservation Biology* 17:1844-1846.
- Philpott, S. M., I. Perfecto y J. Vandermeer. 2006. Management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. *Biodiversity and Conservation* 15:139-155.
- Pineda E. 2007. Los anfibios. En: Williams-Linera G. (Ed.) *El bosque de niebla del centro de Veracruz; ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático*. CONABIO-Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México. 182-183 pp.
- Pineda, E. y G. Halffter. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical mountain landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117:499-508.
- Pineda E., C. Moreno. F. Escobar y G. Halffter. 2005. Frog, bat, and duna beetle diversity in the cloud forest and coffee agroecosystems of Veracruz, México. *Conservation Biology* 19:400-410.
- Posa, M. R. C., N. S. Sodhi y L.P. Koh. 2007. Predation on artificial nest and caterpillar models across a disturbance gradient in Subis Bay, Philippines. *Journal of Tropical Ecology* 23:27-33.

- Potvin, C., C.T. Owen, S. Melzi y P. Beaucage. 2005. Biodiversity and modernization in four coffee producing villages of Mexico. *Ecology and Society* 10:18 (online).
- Rappole, J.H., D. I. King y J. H. Vega. 2003. Coffee and conservation. *Conservation Biology* 17:334-336.
- Richards L.A. y P.D. Coley. 2007. Seasonal and habitat differences affect the impact of food and predation on herbivores: a comparison between gaps and understory of a tropical forest. *Oikos* 116: 31-40.
- Rogner, M. 1997. *Lizards*. Vol. 2. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida. 308 pp.
- Santos-Barrera G., J. Lee, M. Acevedo, L. D. Wilson 2004. *Agalychnis moreleti*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Santos-Barrera G., L. Canseco-Márquez y F. Bolaños 2004. *Scinax staufferi*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Santos-Barrera G., L. Canseco-Márquez 2004. *Charadrahyla taeniopus*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009.1. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- Salazar, A. J. 2001. Herpetofauna de tres municipios de la Sierra Norte de Puebla. Tesis de Licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 82 pp.
- Scout G. y C. A. Harvey. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. *Biodiversity Conservation*. 16:2237-2244.

- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2005. Municipios cafetaleros del estado de Puebla. Información solicitada vía internet a Sistema Producto Café. [http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_SNIM](http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_SNIM)
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2007. Municipios cafetaleros del estado de Puebla. Información solicitada vía internet a Sistema Producto Café. [http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC\\_SNIM](http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_SNIM)
- Spiller D.A. y T. W. Schoener. 2001. An experimental test for predator mediated among spider species. *Ecology* 82:156-1570.
- Stowe, K., R. Marquis, C. Hochwender y E. Simms. 2000. The evolutionary ecology of tolerance to consumer damage. *Annual Review of ecology systematic.* 31:565-595.
- Vandermeer, J. y I. Perfecto. 2007. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21: 274-277.
- Vargas, M. 1999. Los murciélagos de Puebla, México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 84 pp.
- Walker, M. y T.H. Jones. 2001. Relative roles of top-down and bottom-up force in terrestrial tritrophic plant-insect herbivore-natural enema systems. *Oikos* 93:177-187.
- Williams-Guillén, K., I. Perfecto y J. Vandermeer. 2008. Bats limit insects in a neotropical agroforestry system. *Science* 320:70.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. Fourth edition. Prentice Hall. New Jersey. 663 pp.

- Zaragoza, Z. N., 2006. Procesos de ladera en la región de Cuetzalan: un enfoque geomorfológico. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 102 pp.

|

## 8. ANEXOS

**Anexo 1.** Cuestionario aplicado a los agricultores. Este cuestionario tuvo como propósito conocer los cafetales para seleccionar los tipos de cafetal y determinar las parcelas de estudio. Los resultados sirvieron para comparar las características entre las parcelas y determinar las más convenientes para este estudio.

### Nombre del agricultor:

1. ¿Desde cuando se dedica al cultivo del café?
  2. ¿Cuál es el tamaño de su parcela?
  3. ¿Cuántos años tiene su café? \_\_\_\_\_ ¿Ya lo está cosechando? Si ( ) No ( )
  4. ¿Qué tipo o variedad de café tiene en su parcela?
  5. ¿Cuál es la frecuencia de la cosecha (duración, qué meses, etc)? \_\_\_\_\_
  6. ¿Cada cuanto tiempo renueva las plantas de café?
  7. ¿Qué altura tienen las plantas del café en su parcela en este momento?
  8. ¿Qué distancia hay entre las plantas de café?
  9. ¿Qué plagas atacan a su cafetal? \_\_\_\_\_
  10. ¿Qué acciones de manejo del cafetal utiliza?  
-Abono/fertilizante si ( ) no ( ); de qué tipo orgánico ( ) inorgánico ( ) ambos ( )  
Cuando lo aplica \_\_\_\_\_  
Cómo lo aplica \_\_\_\_\_  
-Herbicida si ( ) no ( ); cuál \_\_\_\_\_  
Cuando lo aplica \_\_\_\_\_  
Cómo lo aplica \_\_\_\_\_ lo aplica \_\_\_\_\_  
-Insecticida si ( ) no ( ); cuál \_\_\_\_\_  
Cuando lo aplica \_\_\_\_\_  
Cómo lo aplica \_\_\_\_\_  
-Deshierbe/chaponeo manual si ( ) no ( )  
Cuando lo aplica \_\_\_\_\_  
Cómo lo aplica \_\_\_\_\_  
-Poda los cafetos? si ( ) no ( )  
Cuando lo aplica \_\_\_\_\_  
Cómo lo aplica \_\_\_\_\_  
-¿Poda los árboles que dan sombra al café? si ( ) no ( )  
Cuando lo aplica \_\_\_\_\_  
Cómo lo aplica \_\_\_\_\_  
-Otra labor o labores que lleve a cabo en su cafetal \_\_\_\_\_
  11. ¿De las plantas que hay en su cafetal, aparte del café, cuáles utiliza y cómo?
-

12. ¿De los tipos de árboles que hay en su cafetal, hay algunos que Ud. ha sembrado?

Si ( ) no ( ) cuáles?

13. De todos los árboles que hay en su parcela y que le dan sombra a las plantas de café, cuántos son árboles sembrados por Ud? Todos ( ), la mayoría ( ), como la mitad ( ), menos de la mitad ( ), muy pocos ( ), ninguno ( ).

14. ¿Tiene vacas, cabras, borregos o gallinas dentro del cultivo de café? si ( ) no ( )

15. ¿Pasa algún río cerca de su parcela? si ( ) no ( ) ¿A qué distancia?

16. ¿Cuáles de los siguientes animales ha visto dentro de su parcela y que tan abundantes los considera?

Serpientes o culebras: Ninguna ( ) muy pocas ( ) algunas ( ) muchas ( )

Lagartijas: Ninguna ( ) muy pocas ( ) algunas ( ) muchas ( )

Iguanas: Ninguna ( ) muy pocas ( ) algunas ( ) muchas ( )

Sapos o ranas: Ninguna ( ) muy pocas ( ) algunas ( ) muchas ( )

Tortugas: Ninguna ( ) muy pocas ( ) algunas ( ) muchas ( )

Observaciones en campo

Altitud: \_\_\_\_\_

Coordenadas: \_\_\_\_\_

Inclinación de la parcela: muy poca ( ) poca ( ) moderada ( ) alta ( )

Cantidad de hojarasca: muy poca ( ) poca ( ) moderada ( ) alta ( )

Intensidad de luz en la parcela: muy baja ( ) baja ( ) moderada ( ) alta ( )

Altura del dosel del bosque: muy baja ( ) baja ( ) mediana ( ) alta ( )

Complejidad vertical de la vegetación: muy baja ( ) baja ( ) mediana ( ) alta ( )

Densidad del sotobosque: muy baja ( ) baja ( ) mediana ( ) alta ( )

Otras

observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Localización de la parcela:

Comunidad:

Cómo se llega desde Cuetzalan: caminando ( ) combi ( ) ambos ( )

Tiempo de viaje para llegar a la parcela desde Cuetzalan:

¿Es posible quedarse en otro poblado más cercano? Si ( ) no ( );  
poblado \_\_\_\_\_

Acceso a la parcela: fácil ( ) aceptable ( ) difícil ( ) muy difícil ( )

Condición de trabajo en la parcela: fácil ( ) aceptable ( ) difícil ( ) muy difícil ( )

**Anexo 2.** Riqueza y abundancia de anfibios y lagartijas en los dos sistemas de producción de café de sombra y el bosque. El número que aparece en la primera columna corresponde a los números que aparecen en las figuras 1,2 y 3.

Clase: AMPHIBIA	Número de especie	Policultivo Tradicional			Policultivo Comercial			Total Policultivo Tradicional	Total Policultivo Comercial	Bosque	
		Don Altonio	Don Arnulfo	Doña Mica	Potrero Ingeniero	Casa Ingeniero	Vivero Tosepan				
Orden: ANURA											
<b>Familia: Brachycephalidae</b>											
	<i>Craugastor decoratus</i>	1	0	0	0	2	0	0	0	2	4
	<i>Craugastor pygmaeus</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Craugastor rhodopis</i>	3	68	1	13	6	0	11	82	17	18
	<i>Syrrhophus verrucipes</i>	4	11	2	8	7	0	0	21	7	5
<b>Familia: Bufonidae</b>											
	<i>Ollotis nebulifer</i>	5	0	5	0	0	0	0	5	0	0
<b>Familia: Hylidae</b>											
	<i>Agalychnis moreleti</i>	6	0	13	0	0	0	0	13	0	0
	<i>Charadrahyla taeniopus</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	<i>Ecnomiohyla miotympanum</i>	8	0	0	0	0	0	0	0	0	50
	<i>Scinax staufferi</i>	9	0	6	4	0	0	0	10	0	0
	<i>Smilisca baudini</i>	10	0	3	3	5	0	1	6	6	3
<b>Familia: Ranidae</b>											
	<i>Lithobates berlandieri</i>	11	0	2	0	0	0	0	2	0	5
Orden: CAUDATA											
<b>Familia: Pletodontidae</b>											
	<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	12	0	0	0	2	0	0	0	2	0
	<i>Pseudoeurycea quetzalensis</i>	13	1	0	3	8	0	0	4	8	6
	<i>Pseudoeurycea sp.</i>	14	0	0	0	3	0	0	0	3	0
Clase: REPTILIA											
Orden: SQUAMATA											
<b>Familia: Anguidae</b>											
	<i>Scincella silvicola</i>	15	28	1	2	0	1	2	31	3	18
<b>Familia: Corytophanidae</b>											

<i>Corytophanes hernandezii</i>	16	0	0	0	0	0	9	0	9	0
<b>Familia: Phrynosomatidae</b>										
<i>Sceloporus variabilis</i>	17	0	0	0	3	0	7	0	10	8
<b>Familia: Polychrotidae</b>										
<i>Anolis naufragus</i>	18	26	2	5	4	0	1	33	5	7
<i>Anolis laevis</i>	19	0	1	0	0	0	0	1	0	2
<b>Familia: Teiidae</b>										
<i>Ameiva undulata</i>	20	1	3	0	0	0	4	4	4	4
<b>Familia: Xantusidae</b>										
<i>Lepidophyma sylvaticum</i>	21	3	2	5	0	0	0	10	0	0
RIQUEZA		7	12	8	9	1	7	13	12	14
ABUNDANCIA		138	41	43	40	1	35	222	76	137