



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA
ECOLOGÍA

**EFFECTOS DE LA DIVERSIDAD VEGETAL Y DISTINTOS TIPOS DE MANEJO SOBRE LA
COMUNIDAD DE ARTRÓPODOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE CAFÉ**

TESIS

(POR ARTÍCULO CIENTÍFICO)

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

INARI SOSA ARANDA

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. KARINA BOEGE PARÉ
Instituto de Ecología

COMITÉ TUTOR: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad
DR. JOHN LARSEN
Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

ENERO, 2017



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA
ECOLOGÍA

**EFFECTOS DE LA DIVERSIDAD VEGETAL Y DISTINTOS TIPOS DE MANEJO SOBRE LA
COMUNIDAD DE ARTRÓPODOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE CAFÉ**

TESIS

(POR ARTÍCULO CIENTÍFICO)

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:

INARI SOSA ARANDA

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. KARINA BOEGE PARÉ

Instituto de Ecología

COMITÉ TUTOR: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad

DR. JOHN LARSEN

Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad

MÉXICO, CD. MX.

ENERO, 2017



Lic. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM


Presente

Me permito informar a usted que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día **23 de octubre de 2017** se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Sistemática** de la alumna **SOSA ARANDA INARI** con número de cuenta **307512026** por la modalidad de graduación de **tesis por artículo científico**, titulado: **"Response of lepidopteran herbivore communities top crop management in coffe plantations"**, que es producto del proyecto realizado en la maestría que lleva por título **"EFECTOS DE LA DIVERSIDAD VEGETAL Y DISTINTOS TIPOS DE MANEJO SOBRE LA COMUNIDAD DE ARTRÓPODOS ASOCIADOS AL CULTIVO DE CAFÉ"**, ambos realizados bajo la dirección de la **DRA. KARINA BOEGE PARÉ**, quedando integrado de la siguiente manera:

Presidente:	DRA. JULIETA ALEJANDRA ROSELL GARCÍA
Vocal:	DRA. ANA LAURA WEGIER BRIUOLO
Secretario:	DRA. EK DEL VAL DE GORTARI
Suplente:	DRA. MARIANA BENITEZ KEINRAD
Suplente	DRA. JULIETA BENITEZ MALVIDO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 01 de diciembre de 2017


DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA
COORDINADOR DEL PROGRAMA



Agradecimientos Institucionales

Agradezco al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico no. 416076 otorgado para realizar los estudios de maestría. Y por el financiamiento de la investigación a través del proyecto CONACYT (247672).

De forma muy especial agradezco a mi tutora Dra. Karina Boege Paré y a los miembros de mi comité tutor Dr. John Larsen y Dra. Ek del Val de Gortari, por su todo su apoyo y sus valiosas aportaciones a este trabajo.

Agradecimientos Personales

A mi jurado Dra. Ana Wegier, Dra. Julieta Rosell, Dra. Mariana Benítez y Dra. Julieta Benítez, por haberme apoyado tanto en la elaboración del proyecto y por sus contribuciones para mejorar el trabajo.

A mis abuelos por enseñarme tanto, por ser mis modelos a seguir, por su apoyo y por todo su cariño. Siempre serán parte de mí.

A mis papás y mi hermano porque no lo habría logrado sin su apoyo y consejos. Gracias por estar siempre a mi lado y por motivarme a seguir avanzando.

A mis amigos de siempre y de toda la vida “Los Tontos” un vez más gracias por seguir acompañándome en todo como desde hace tanto que ya ni me acuerdo, 15 años quizá. Pau, Fer, Mili, Ale, Aidis, Jorge, Julio, Richi y Diego los quiero mucho.

A otros que también ya llevan un buen rato dando lata y ahí siguen a pesar de todo, Víctor, Joana, Daniela y Karina, gracias por ser diferentes y porque con ustedes puedo ser tan diferente como quiera.

A Humberto, un amigo muy especial que siempre está ahí para darme ánimos, para escucharme y para reír juntos.

A mis queridas Caudillas Itz baby, Claupi y Daniela, por compartir la forma de ver la vida, por las largas pláticas y por hacer tan amenos todos los momentos compartidos.

A mis amiguitas b-e Mariana, Pau, Tona, Odette y Jessie por ser grandes confidentes, por tantas horas de chismes y por tanta diversión.

A Eri, Ana Paula, Fer Mayani, Alonso, Citlalli, Gonzalo, Víctor, Toño, Erick, Lalo, Gus, Ariel, Arturo, Daniel y Freddy, porque a pesar de que el tiempo ha pasado y ya no nos vemos tanto como deberíamos el cariño se mantiene .

A todos los que son y fueron miembros del laboratorio de Interacción Planta-Animal durante este par de años por su disposición a colaborar, por contribuir a hacer un ambiente tan ameno, por sus consejos y ayuda. Pero más allá de lo académico, gracias por los buenos ratos, las buenas charlas, las risas, las locuras y gracias por su amistad.

A mi equipo Pumas Ulltimate UNAM por ser una segunda familia, por darme la oportunidad de conocer a tantas personas increíbles que ahora se han vuelto grandes amistades. Por enseñarme que cualquier logro es mejor cuando te esfuerzas al máximo, por enseñarme darlo todo y luego un poquito más. Por haber hecho posibles algunos sueños y porque seguimos trabajando por alcanzar los que faltan.

Y por último un agradecimiento muy especial a los productores que nos dieron todo su apoyo para trabajar en sus fincas, que fueron siempre cálidos y amables. En particular a Don Francisco Garota y su familia que nos abrieron las puertas de su casa y fueron muy hospitalarios con nosotros.

Índice	Página
Resumen	1
Abstract	3
Introducción general	5
Response of lepidopteran herbivore communities to crop management in coffee plantations	10
<i>Abstract</i>	11
<i>Introduction</i>	11
<i>Materials and methods</i>	13
<i>Results</i>	18
Discussion	24
Conclusions	27
<i>Acknowledgments</i>	27
<i>References</i>	28
Discusión general	35
Conclusiones generales	38
Referencias	39
Supplementary material I	42
Supplementary material II	45

Resumen

La agroecología se basa en el principio de que los sistemas agrícolas son sistemas complejos en los que las interacciones ecológicas y la sinergia entre componentes biológicos proporcionan los mecanismos necesarios para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la productividad, la diversidad biológica y la protección de cultivos.

La herbivoría es una interacción biológica muy importante para los agroecosistemas, pues una falta de regulación sobre ésta puede ocasionar grandes pérdidas a las cosechas. La agricultura convencional implica una reducción de la diversidad vegetal, lo que se asocia con una reducción de los enemigos naturales y de la variedad de fuentes de alimento para los herbívoros, dos factores que pueden incrementar el riesgo de surgimiento de plagas.

Dentro de los artrópodos herbívoros que afectan a los cultivos, los lepidópteros son un grupo importante ya que la mayoría de las especies de este orden son herbívoras en estado larvario y varias de éstas constituyen plagas importantes en distintos cultivos.

Los cultivos de café son un modelo apropiado para realizar estudios de la relación entre la diversidad vegetal asociada al manejo, la comunidad de herbívoros y el daño foliar, ya que el tipo de manejo que se le da a este cultivo abarca un amplio gradiente de diversidad y complejidad, desde las plantaciones de sombra donde se conserva la diversidad de árboles y no se aplican agroquímicos, hasta las plantaciones a pleno sol en las que se talan todos los árboles y se aplica una gran cantidad de agroquímicos.

El objetivo de este trabajo fue determinar cómo afecta la intensidad de manejo en cafetales del estado de Veracruz (definida a partir el uso de agroquímicos y la modificación de la estructura vegetal) a la comunidad de herbívoros, particularmente lepidópteros, y al daño foliar que estos causan.

Se encontró una relación negativa entre la intensidad del manejo y la abundancia y la riqueza de las orugas. También se encontró una relación positiva entre la intensidad de manejo y la equitatividad de la comunidad de orugas. No se encontró relación entre la intensidad de manejo y la abundancia o la riqueza total de herbívoros.

La composición de las especies de orugas fue influenciada en mayor medida por la estacionalidad que por la intensidad de manejo. Encontramos 202 morfoespecies de orugas, de las cuales 128 se alimentaron de café al ser alimentadas en laboratorio. En

todos los tipos de manejo el daño foliar promedio fue menor al 10%, sin embargo, el daño foliar promedio en las plantaciones con baja intensidad de manejo fue significativamente menor que en el resto de las plantaciones. Además, a pesar de existir una mayor abundancia y riqueza de orugas en las plantaciones con intensidad de manejo intermedia, éstas no presentaron un daño foliar mayor que las plantaciones con alta intensidad de manejo.

La gran diversidad de orugas encontrada muestra el gran potencial de los cafetales para preservar la diversidad de lepidópteros del bosque mesófilo de montaña. Adicionalmente, las orugas pueden ser un grupo indicador de la salud de un agroecosistema ya que mostraron más sensibilidad a la intensidad de manejo que otros grupos de herbívoros. En general, proponemos que una intensidad de manejo baja o intermedia puede contribuir a la conservación de la diversidad de lepidópteros y aún así mantener bajos niveles de daño foliar.

Abstract

Agroecology is based on the principle that agricultural systems are complex systems in which ecological interactions and synergy between biological components provide the necessary mechanisms for the maintenance of soil fertility, productivity, biological diversity and pest control.

Plant-herbivore interaction is very important for agroecosystems, because crops can suffer great yield losses when herbivores populations are not controlled.

Conventional agriculture implies a reduction of plant diversity, which is associated with a reduction of natural enemies and the variety of food sources of herbivores, two factors that can increase the risk of the emergence of pests.

Among the herbivorous arthropods that affect crops, Lepidoptera are an important group since most species of this order are herbivores in the larval stage and several of them are important pests of different crops.

Coffee crops are an appropriate model to study the relationship between plant diversity associated with management, the herbivore community and leaf damage, since the type of management given to this crop covers a wide range of management practices, from shade plantations where the shade tree diversity is conserved and agrochemicals are not applied, to full sun plantations in which all the trees are cut down and agrochemicals are applied in large quantities.

The objective of this work was to determine how the intensity of management in coffee plantations in the state of Veracruz (including the use of agrochemicals and the modification of plant structure) affects the community of herbivores, particularly Lepidoptera, and the foliar damage they cause.

A negative relationship was found between the intensity of management and the abundance and richness of caterpillars. A positive relationship was also found between the intensity of management and the evenness caterpillar community. No relationship was found between management intensity and abundance or total herbivore richness.

The caterpillar species composition was influenced to a greater extent by the seasonality than by the intensity of management. We found 202 caterpillar morphospecies, of which

128 fed on coffee. In all management types the average leaf damage was less than 10%, however, the average leaf damage in low management intensity plantations was significantly lower than in the other management categories. In addition, although there was a greater abundance and richness of caterpillars in the plantations with intermediate management intensity, they did not present a greater leaf damage than the plantations with high management intensity.

The great diversity of caterpillars found shows the great potential of coffee plantations to preserve the diversity of Lepidoptera of the Cloud Forest. Additionally, caterpillars can be an indicator group of the agroecosystem health since they showed to be more sensitivity to management intensity than other groups of herbivores.

In general, we propose that a low or intermediate intensity of management can contribute to the conservation of the diversity of Lepidoptera and still maintain low levels of leaf damage.

Introducción general

La producción agrícola convencional a menudo conlleva procesos que producen daños ecológicos y que tienen altos costos sociales (Altieri, 1999). Por esta razón, surge la necesidad de encontrar una alternativa para la producción de alimentos que asegure la sostenibilidad (Altieri, 1999; Garbach *et al.*, 2014). La agroecología estudia los procesos ecológicos dentro de los agroecosistemas, con la finalidad de encontrar formas de producción agrícola que en lugar de deteriorar el ambiente, puedan proveer servicios ecosistémicos y que tengan la capacidad de asegurar la soberanía alimenticia de las comunidades humanas y la conservación de la biodiversidad (Odum y Barrett, 2004). La agroecología se basa en el principio de que los sistemas agrícolas son sistemas complejos en los que las interacciones ecológicas y la sinergia entre componentes biológicos proporcionan los mecanismos necesarios para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, la productividad, la diversidad biológica y la protección de cultivos (Thébault y Fontaine, 2010). Por esta razón, es importante conocer las relaciones entre las distintas comunidades biológicas de un agroecosistema que contribuyen a mantener la resiliencia y la productividad de éste y así desarrollar tipos de manejo agrícola que aseguren estas condiciones (Tilman *et al.*, 1997; Odum y Barrett, 2004). Dentro de las interacciones que estructuran a los agroecosistemas, se encuentra la relación entre la comunidad vegetal y la comunidad de artrópodos asociados (Odum y Barrett, 2004). La diversidad vegetal presente en una zona de cultivo puede afectar la diversidad y el ensamblaje de la comunidad de artrópodos, pero a su vez la comunidad de artrópodos tendrá distintos efectos sobre la comunidad vegetal a través de la polinización y la herbivoría (Isaacs *et al.*, 2008).

La herbivoría es una interacción antagonista, en la cual los herbívoros se benefician de consumir el tejido vegetal de las plantas para satisfacer sus necesidades energéticas y nutrimentales, mientras que las plantas se ven afectadas por este proceso (del-Val, 2012). En ecosistemas naturales las poblaciones de herbívoros son reguladas a través de las relaciones complejas que se establecen entre la amplia diversidad de plantas, herbívoros y

depredadores. Sin embargo, en los agroecosistemas se reemplaza la vegetación primaria por sólo unas cuantas especies de plantas. Esto reduce la variedad de fuentes alimenticias de los herbívoros nativos a la vez que aumenta la disponibilidad de una o pocas plantas como único recurso explotado por los consumidores, al mismo tiempo que se reduce la riqueza y abundancia de los enemigos naturales (Altieri, 1999). Esta alteración de los procesos ecológicos que controlan a las poblaciones de herbívoros puede favorecer el surgimiento de plagas en las plantas de cultivo (Gliessman, 2002). Además, al menos en cultivos anuales, existe abundante evidencia de que el proceso de domesticación de cultivos ha propiciado que las plantas domésticas posean caracteres físicos exagerados, un contenido de nutrientes alterado y menos defensas contra herbívoros y patógenos (Chen *et al.*, 2015). Esto genera que los cultivos domesticados sufran ataques más frecuentes y con mayores niveles de daño foliar (Chen *et al.*, 2015). Sin embargo, actualmente existe escasa información sobre este proceso en cultivos perennes como el café.

En los sistemas agrícolas el crecimiento exponencial de las poblaciones de herbívoros plaga puede ocasionar grandes pérdidas a las cosechas. De hecho, se estima que anualmente la herbivoría contribuye a la pérdida de una quinta parte de la producción agrícola mundial (Sallam, 1999). Para poder reducir estas pérdidas es importante conocer qué factores pueden modificar las interacciones planta-herbívoro de forma que las poblaciones de herbívoros se mantengan controladas y la producción agrícola se optimice sin la necesidad de usar plaguicidas. Se espera que en un sistema de cultivo con mayor diversidad vegetal e inmerso en una matriz de vegetación natural exista un mayor control de la herbivoría, ya sea por efectos directos de la comunidad de plantas sobre la comunidad de herbívoros o por efectos indirectos a través del aumento de los enemigos naturales de los herbívoros (Perfecto *et al.*, 2004; Letourneau *et al.*, 2001). Sin embargo, aún falta conocer más a fondo estos efectos y determinar cómo se relaciona la diversidad vegetal y otros aspectos del manejo con las interacciones planta herbívoro a nivel comunitario en los cultivos.

Dentro del grupo funcional de artrópodos herbívoros que pueden causar daños en los cultivos, los lepidópteros son un grupo relevante ya que la mayoría las especies de este orden son herbívoras en estado larvario (Miller, 1993). Varias especies de lepidópteros constituyen plagas importantes en distintos cultivos. En África y México los barrenadores de tallo son la principal plaga que afecta los cultivos de cereales como maíz, sorgo y arroz (Kfir *et al.*, 2002). Si bien los lepidópteros en su estado larvario representan una de las principales causas de daño en los cultivos de algodón (Oerke, 2006) y pueden generar pérdidas de hasta el 100% en otros cultivos (Cocco *et al.*, 2013), en estado adulto pueden ser polinizadores naturales del cultivo y de ésta forma tener un efecto benéfico sobre el cultivo.

El café es un cultivo muy importante para México ya que representa una de las principales fuentes de divisas agrícolas y de ingreso económico de muchas comunidades rurales, principalmente en zonas tropicales con alta marginación donde más de 400 mil familias dependen de este cultivo (Calo and Wise, 2005). Además, los cafetales tienen una gran relevancia ecológica, ya que poseen un alto potencial de conservación de la biodiversidad, en particular cuando la diversidad de árboles utilizados para dar sombra es alta (Méndez *et al.*, 2010). Sin embargo, actualmente el sector cafetalero en México atraviesa una crisis caracterizada principalmente por la baja rentabilidad financiera de las fincas, ya que los costos de producción son altos y el rendimiento es bajo (López-Morgado *et al.*, 2013a). El daño por herbívoros y patógenos son uno de los factores que pueden reducir el rendimiento y elevar los costos de producción, a causa de los insumos y mano de obra necesarios para controlar el crecimiento de sus poblaciones (López-Morgado *et al.*, 2013b). Dentro de las plagas más importantes para el café se encuentran insectos herbívoros como la broca del café (Coleoptera; *Hypothenemus hampei*) que oviposita en los frutos del café y otros insectos que causan daño foliar como la escama verde del café (Hemiptera; *Coccus viridis*), el chacuatete y otros grillos del género *Idiarthron* (Orthoptera). En cuanto a los lepidópteros, en América se han registrado 31 especies de este orden que actúan como plagas del café, incluyendo al minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) que es considerado la plaga más importante dentro de este grupo (Barrera,

2008). Además, los cafetales pueden sufrir diversas enfermedades como la roya, una de las enfermedades más agresivas del cultivo de café (López-Morgado *et al.*, 2013b), causada por el hongo *Hemileia vastarix* que causa defoliaciones en las plantas de café y que se traducen en pérdidas significativas en la producción. Los cultivos de café son un modelo apropiado para realizar estudios de la relación entre la diversidad vegetal con la comunidad de herbívoros y su daño foliar, ya que el tipo de manejo que se le da a este cultivo abarca un amplio gradiente de prácticas distintas y complejidad, desde las plantaciones de sombra con bajos insumos donde se conserva la diversidad y estructura del bosque, hasta las plantaciones a pleno sol en las que se talan todos los árboles y se aplica una gran cantidad de agroquímicos (Perfecto y Vandermeer, 2014). Sin embargo, esta diversidad de prácticas dificultan la tarea de medir el grado de intensidad de manejo. Por esta razón Mas y Dietsch (2003) y Hernández-Martínez *et al.* (2009) proponen el uso de índices de manejo cuantitativos en los que se incluyan variables de la estructura vegetal y del uso de insumos externos para poder entender mejor el gradiente de intensidad de manejo.

A lo largo de este gradiente de intensidad de manejo, variables ecológicas como la estructura de la comunidad vegetal, la diversidad vegetal, el contenido de nutrientes y agua del suelo, así como la diversidad funcional de los microorganismos del suelo se ven afectadas. Además, también se modifican ciertos factores ambientales como el porcentaje de sombra, la temperatura y la humedad relativa así como cambia el grado de heterogeneidad ambiental (Moguel & Toledo, 1999; Cruz-Angón y Greenberg, 2005; Avelino *et al.*, 2011).

Estos cambios ecológicos y ambientales afectan a la comunidad de herbívoros y la cantidad de daño foliar que pueden causar, ya que al modificarse la diversidad y estructura vegetal también cambian las fuentes de alimento que disponibles, y las condiciones ambientales alteran la calidad del hábitat de los herbívoros (Moguel & Toledo, 1999; Avelino *et al.*, 2011). Además el contenido de nutrientes y defensas de las plantas se ve modificado por los nutrientes del suelo lo que afecta directamente los niveles de daño foliar (Altieri & Nicholls, 2003) .

El objetivo principal de este trabajo fue determinar cómo afecta la intensidad de manejo (incluyendo el uso de insumos externos y la estructura vegetal) a la comunidad de herbívoros, particularmente lepidópteros y al daño foliar que estos causan. Los objetivos particulares fueron a) construir un índice cuantitativo de la intensidad de manejo de plantaciones de café, b) determinar cómo cambian la riqueza, abundancia y composición de herbívoros a lo largo del gradiente de intensidad de manejo y c) determinar el porcentaje de daño foliar en cada plantación y su relación con la intensidad de manejo.

Response of lepidopteran herbivore communities to crop management in coffee plantations

Inari Sosa-Arandaa, Ek del-Valb, Gerardo Hernández-Martínezc, Karina Boege*

a Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-275, Ciudad Universitaria, CP 04510, Ciudad de México, Mexico.

b Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Ex-Hacienda de San José de La Huerta, CP 58190 Morelia, Michoacán, Mexico

c Centro Agroecológico del Café A. C. Cluster Biomimic-Inecol, Carretera Antigua a Coatepec No. 351 Colonia El Haya CP México, El Haya, 91070 Xalapa Enríquez Centro, Veracruz, Mexico.

*corresponding author: kboege@unam.mx

Abstract

Although the conservation potential of low input coffee plantations has been widely proved, the effect of management intensity on caterpillar communities has been scarcely studied. We used a quantitative index to assess changes in leaf damage and caterpillar abundance, species richness, evenness and community species composition along a management intensity gradient in coffee plantation located within 12 cloud forests sites in Veracruz, Mexico.

We found a negative relationship between management intensity and caterpillar abundance and richness, while evenness was positively related to management intensity. However, species composition was more strongly influenced by seasonality, rather than by management intensity. We found 202 lepidopteran morphospecies, of which 128 fed on coffee plants. Despite a greater caterpillar abundance and richness, mean leaf damage to coffee plants was lower in plantations with a low management intensity index. Overall, we suggest that low and intermediate management intensity can contribute to the conservation of Lepidoptera, which includes important functional groups such as herbivores and pollinators, without representing greater amounts of leaf damage and therefore not affecting yield production.

Keywords

Agroecology, Management intensity, coffee, caterpillar community, leaf damage.

1. Introduction

Conventional intensified agriculture is ecologically unstable and represents a threat to biodiversity conservation (Altieri, 1999). In contrast, low input management and alternative practices maintain certain ecological processes necessary for biodiversity conservation (Altieri, 1999). This kind of agriculture is especially important for conservation in fragmented landscapes (Perfecto & Vandermeer, 2002). In this context, in

the Neotropics coffee is a relevant crop for biodiversity conservation, because many of the traditional systems of coffee production preserve a great diversity of tropical forest species. In particular, their conservation potential increases as the canopy cover resembles the original forest (Méndez et al, 2010).

There is a continuous spectrum of management practices and intensity in coffee plantations, from rustic polycultures to sun coffee monocultures (Moguel & Toledo, 1999). Management practices include the use of external inputs such as fertilizers, insecticides and fungicides of both inorganic and organic origin. In addition, management of shade trees ranges from conservation of the original canopy cover, selective pruning and the introduction of commercial shade species, to the complete removal of native vegetation, directly exposing coffee plants to the sun. The use of external inputs and the degree of vegetation structure modification, however, do not necessarily covary, and thus management intensity is difficult to assess (Hernández-Martínez et al., 2009). Actually, Hernández-Martínez et al. (2009) proposed to measure intensity with an index that include vegetation structure variables such as percent canopy cover, mean height and richness, shade tree abundance and other management practices such as conventional or alternative fertilization, as well as pest and weed control.

In coffee plantations, like in any other agroecosystem, management practices influence biotic interactions and ecological processes that are linked to productivity, soil fertility, pest control and the conservation of local biodiversity (Moguel & Toledo, 1999; Thébaud & Fontaine, 2010). For example, arthropod communities are commonly affected by the use of pesticides and also by the reduction of vegetation structure complexity and plant diversity, leading to changes in plant-animal interactions such as pollination and herbivory (Isaacs et al., 2008). Herbivory is particularly important for agriculture and farmers because it can produce significant crop yield losses. In fact, it has been estimated that annually, herbivore damage causes the loss of one fifth of the world's agricultural production (Sallam, 2005). For coffee, over 900 herbivores have been reported to feed on this crop, and 31 caterpillar species have been registered as significant pests in the American continent (Barrera, 2008). However, in shaded coffee plantations, few herbivores

seem to represent serious pest problems, with the exception of the berry borer broca (*Hypothenemus hampei*) and the coffee leaf miner (*Leucoptera coffeella*), two of the most important pests for this crop. In addition, crop management can also affect higher-level species interactions. For example, evidence supports that, in shaded coffee plantations bird predation affects herbivore populations and this could explain why there are few pest outbreaks (Greenberg et al., 2000; Johnson et al., 2009). The understanding of how coffee management practices affect herbivore communities can help to design strategies to keep pests controlled while assuring the conservation of arthropod diversity of tropical wet and mountain forests.

The Lepidoptera is a particularly interesting group to study the effects of crop management in tropical ecosystems, as it represents an important component of biodiversity in tropical forests including both pollinators and herbivore guilds (Bawa, 1990; Dyer et al., 2007). Whereas the influence of different management practices has been assessed for pollinators (Klein et al., 2003; Ricketts, 2004; Vergara & Badano, 2009; Boreux et al., 2013), limited information is available for caterpillars on this regard. In particular, information on how management intensity affects caterpillar communities and the damage they produce on coffee crops is missing. Hence, the aim of this study was to evaluate changes in caterpillar community diversity and structure, and the damage they cause to coffee leaves along a management intensity gradient. As found by Borkhataria *et al.* (2006) and Perfecto *et al.* (1997) we expected a decrease in herbivore abundance and richness as management intensity increases, and thus, we also expected that foliar damage decrease too with management intensity increase.

2. Materials and methods

2.1 Study Site

This study was carried out in Veracruz, one of the most important coffee production areas in the country with small, medium and large landholders. Four municipalities were chosen (Coatepec, Naolinco, Cosautlán and Huatusco), with altitudes ranging from 1100 to 1400 m.a.s.l., a mean annual precipitation between 1350 to 2000

mm and mean annual temperatures from 19 to 21°C. These are considered optimal conditions for high-quality coffee production (López-Morgado et al., 2013). The predominant ecosystems in this region are cloud forest (Coatepec and Naolinco) and tropical rainforest (Cosautlán and Huatusco) (CONABIO, 2008). To assess the influence of management intensity in different ecoregions, eleven plantations (three in Cosautlán, three in Huatusco, three in Naolinco and two in Coatepec) with different management practices were selected to have a management intensity gradient from low input systems with shade polycultures to sun plantations with high agrochemical inputs (Figure 1). Each region had one plantation of each level of management intensity (low, intermediate and high, see results), except for Coatepec, which lacked a plantation with low intensity management.

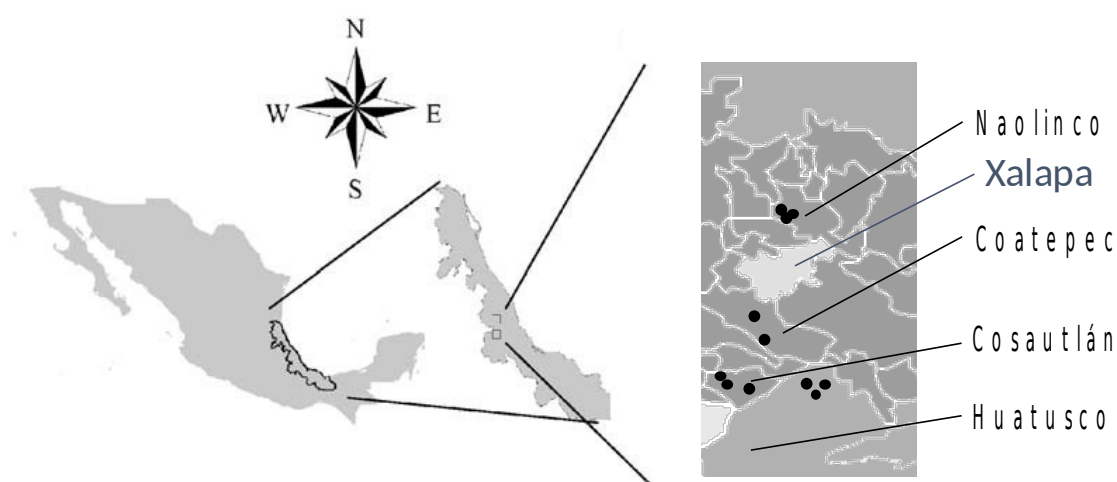


Figure 1. Location of the 11 coffee plantations (dots) within the four municipalities in Veracruz, Mexico, where the study was carried out. The capital city of Veracruz, Xalapa, is also shown.

2.2 Management intensity index

To group coffee plantations by management practices, we calculated a management intensity index based on Mas and Dietsch (2003) and Hernández-Martínez (2009). For this purpose, we measured 10 vegetation variables (percent canopy cover,

mean epiphyte cover, plant species richness and diversity, tree density, mean height, shade tree basal area, presence of herbs, number of strata and coffee density) and interviewed land owners to assess the use of 6 external inputs variables (fertilizers, insecticides, herbicides, fungicide, irrigation and plow). All variables were standardized using a scale ranging from 0 to 1, with increasing management intensity. The index of each plantation was calculated adding the standardized values of all variables.

2.3 Vegetation structure variables

To measure vegetation related variables, a 25 × 25 m quadrat was set at the center of each coffee plantation. All trees, shrubs and herbs taller than 50 cm inside the quadrat were registered and when necessary, collected for further identification. Tree density was extrapolated to an area of 1000 m² to have a standardized measure comparable with other studies. Plant species richness was estimated as species absolute number and species diversity was estimated using the Shannon-Wiener index. In addition, diameter at breast height of all trees was measured to calculate basal area. Trees were assigned into four categories of epiphyte cover (0-25%, 25-50%, 50-75% and 75-100%), which was visually determined. Trees were also assigned to a particular stratum category, based on their height: 1) < 6m tall, 2) 6-10m tall 3) 10-20m tall and 4) > 20m tall. Canopy height of each plantation was defined as the mean height of the highest stratum. Canopy cover was estimated with a densiometer in the four corners of the quadrat. Density of coffee plants was estimated by counting the number of coffee trees in a subquadrat of 10 × 10m, and extrapolating this number to an area of 1000m², for comparison with other studies. Three categories were established to assess the presence of herbs (unaltered, partial removal of herbs and complete removal of herbs).

2.4 External inputs

A questionnaire was applied to land owners to assess how frequently they used external inputs (fertilizers, herbicides, insecticides, fungicides, and irrigation), under the

following categories: never, sometimes or always. In addition, we asked if a plow was used when the plantation was established.

2.5 Leaf damage to coffee plants

To estimate leaf damage by herbivores, 21 coffee plants were selected in each of the 11 plantations. Three rows of coffee plants at the center of each plantation were chosen. Coffee plants were then systemically chosen every $x/7$ plants, x being the total number of plants in a particular row. Nine leaves per plant were systematically selected from different parts of the plant canopy: three leaves were taken from branches of the top, middle and low levels of the canopy. In each branch, we collected the tenth leaf counted from the trunk to the most external part of the branch. Collected leaves were oven dried at 60°C for 48hrs. Leaf length, width and area were measured using a portable foliar scanner (CI-202 CID Inc., Cama, WA, EUA). We selected a subset of leaves without herbivore damage to generate a linear regression model predicting the original leaf area (OA), from the product of leaf length and width. One regression model was calculated for each plantation, due to local variation in leaf size and shape. Estimated OA was used to calculate the percentage of leaf area damaged by herbivores (DA) as $DA = (OA-RA)/OA * 100$, where RA = remaining area measured with the portable scanner.

2.6 Herbivore sampling

A subset of five plantations from a single ecoregion was chosen to describe the communities of lepidopteran larvae and other herbivores. We selected only plantations in Coatepec and Naolinco municipalities to reduce the influence of environmental heterogeneity across regions and ecosystems on herbivore communities. Herbivores were collected during three censuses in July, September and December of 2016. Three transects of 30 × 2m were established at the center of each plantation. All plants (including coffee and other species) in each transect were surveyed for herbivores. We collected herbivores of five orders: Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera, Orthoptera and Phasmatodea. Except for lepidopterans, all insects were stored in 80% ethanol solution, identified to family level

and assigned to a functional guild (chewing, sucking, other). Caterpillars were collected and reared in lab to confirm the trophic interaction with the plant in which they were found and for further taxonomic identification, after they pupated and emerged as adults. Emerged adults were identified to species, and when caterpillars did not reach adulthood they were assigned a morphospecies, when clearly distinctive from other caterpillars (see supplementary material II). We calculated species richness, abundance, evenness and diversity of caterpillars feeding on coffee plants using data of the three censuses. We used first order Jackknife estimator for caterpillar species richness, a measure of evenness based on normalized Tsallis entropy at q^* , and true diversity (number of equivalents) for diversity measure. First order Jackknife estimator, evenness and true diversity were obtained with the VEGAN package in R (R Development Core Team 2008), using the function `specpool` for first order Jackknife and the function `evenstar` for evenness and true diversity.

2.7 Statistical analysis

Based on the management intensity index, the eleven plantations were classified in three categories (Low, Intermediate and High). To assess the effect of management intensity in leaf damage to coffee plants, a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) analysis was performed, with management category as fixed effect and region as random effect. Differences in herbivore communities among the five plantations were assessed by independent linear regressions in R (R Development Core Team 2008), considering the index of management intensity as the explanatory variable of abundance, richness and diversity of caterpillars, and abundance of other herbivore guilds. Data was pooled from all the three sampling seasons. A one way repeated measures ANOVA was performed to compare caterpillar richness and abundance between sampling seasons.

To analyze the similarity in species composition of caterpillar communities among plantations and sampling seasons we performed non-metric dimensional scale analysis using the `metaMDS` function of the VEGAN package of R. Statistical differences in community composition was assessed using a PERMANOVA (permutational non-

parametric multivariate analysis of variance) with Bray Curtis Index, comparing the three management intensity categories and the census of the three sampling seasons. The PERMANOVA was performed using the adonis function of the VEGAN package. This function works with dissimilarities matrices and use permutation methods to test for the effect of one or more groups (sampling months and management intensity categories) in community composition. Finally, to describe a general plant-caterpillar interaction network we used data of all caterpillars sampled in the subset of the five coffee plantations. One network was built with the BIPARTITE (R Development Core Team 2008), using the function networklevel to calculate network structure parameters. We did not build one network for each plantation due to the small number of interactions registered in plants different from coffee.

3. Results

3.1 Management Intensity Index

Coffee plantations showed a gradient of management intensity, with management index ranging from 2.85 to 13, distributed across all sites (Table 1). We further classified plantations into three categories based on their management index value: Low (<3), Intermediate (3-7) and High (>7) (Table 1). The use of external inputs was not always associated with high modification of vegetation structure (Supplementary material I). Whereas synthetic fertilizers and copper based fungicides were the most frequently used, only few plantations applied insecticides and herbicides (Table 1). Plantation CV4 was the only one using irrigation and plow upon establishment (Supplementary material I, table S2).

Table 1. Clasification of plantations according to the management intensity index and traditional classification. * indicates plantations selected for the study of caterpillar communities.

Site	Region	Natural Vegetation	Management index	Management classification	Traditional classification
CV8	Cosautlán	Tropical rain forest	2.85	Low	Rustic/Traditional polyculture
CV7	Cosautlán	Tropical rain forest	2.89	Low	Rustic/Traditional polyculture
CV10	Huatusco	Tropical rain forest	3.57	Intermediate	Rustic/Traditional polyculture
CV2*	Naolinco	Cloud forest	4.23	Intermediate	Traditional polyculture
CV3*	Naolinco	Cloud forest	5.40	Intermediate	Traditional polyculture
CV6*	Coatepec	Cloud forest	5.69	Intermediate	Comercial polyculture
CV5*	Coatepec	Cloud forest	7.16	High	Mixed
CV12	Huatusco	Tropical rain forest	10.13	High	Shaded monoculture
CV9	Cosautlán	Tropical rain forest	10.17	High	Shaded monoculture
CV11	Huatusco	Tropical rain forest	10.82	High	Shaded monoculture
CV1*	Naolinco	Cloud forest	13.00	High	Sun monoculture

3.2 Leaf damage to coffee plants

Coffee plants in low management intensity plantations had lower percentage of leaf area consumed by herbivores than intermediate and high management intensity plantations (Fig. 2). No correlation was found between chewing herbivore abundance and leaf area consumed ($R^2 = 0.12$, $P = 0.56$), nor between caterpillar abundance and leaf area consumed ($R^2 = 0.003$, $P = 0.93$) or between caterpillar species richness and leaf area consumed ($R^2 = 0.008$, $P = 0.63$).

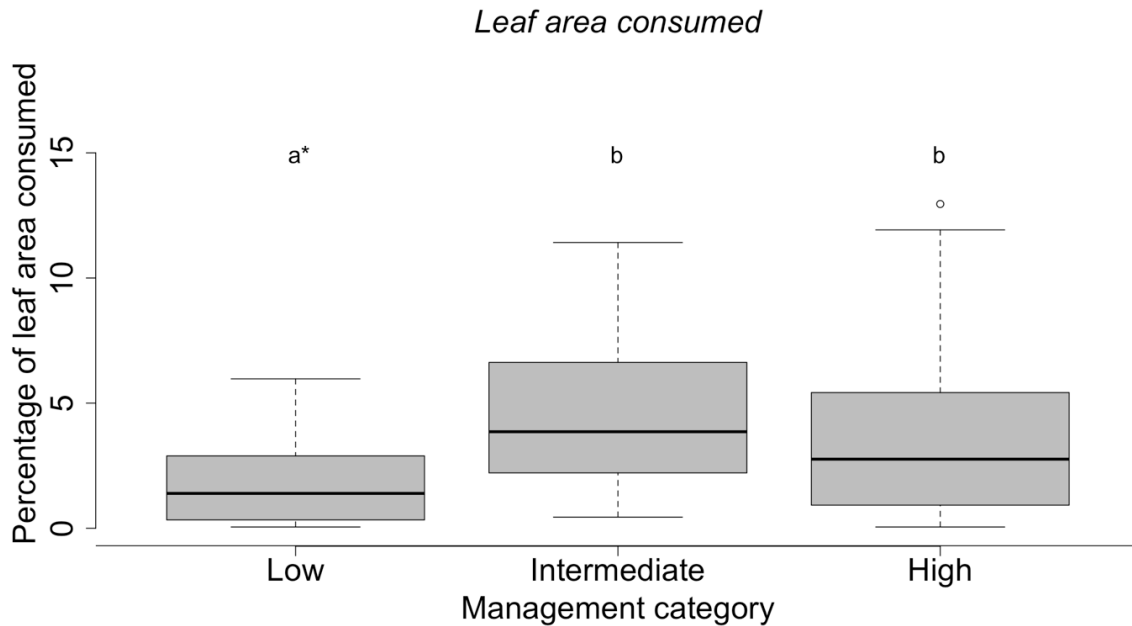


Figure 2. Boxplot showing the percentage of leaf area of coffee plantations consumed by herbivores. GLMM analysis. Different letters indicate statistically significant differences between coffee plantations management categories ($P < 0.01$).

3.3 Caterpillar and herbivore community structure

A total of 764 caterpillars were collected and sorted into 202 morphospecies, including 88 identified species (see supplementary material II). We found a significant negative relationship between management intensity and caterpillar abundance ($R^2 = 0.93$, $P < 0.01$, Fig. 3a) and richness ($R^2 = 0.78$, $P < 0.05$; Fig. 3b), and the opposite pattern was found for evenness ($R^2 = 0.91$, $P < 0.05$; Fig. 3c). No relationship was found between management intensity and True Diversity ($R^2 = 0.10$, $P = 0.31$), the abundance of caterpillars feeding on coffee ($R^2 = 0.5$, $P = 0.18$, Fig. 3), or the abundance of all herbivorous insects ($R^2 = 0.11$, $P = 0.58$).

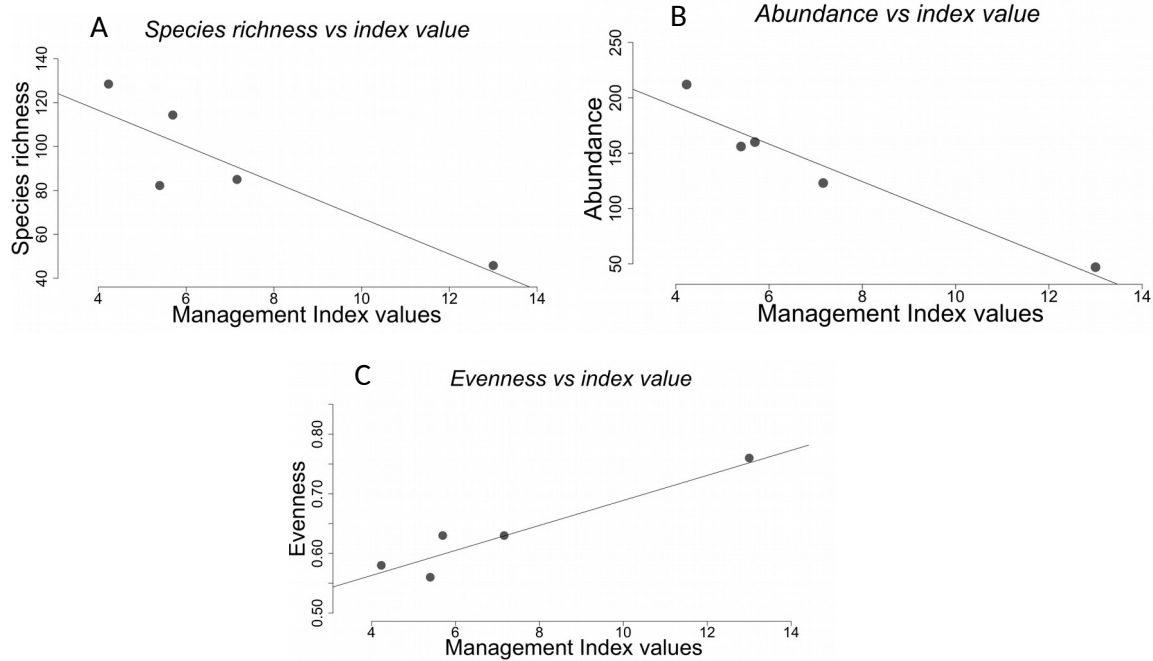


Figure 3. Linear regressions showing the relationship between management intensity of coffee plantations and a) caterpillar abundance, b) caterpillar species richness and c) caterpillar species evenness.

One-way repeated measures ANOVA showed that there is a peak in caterpillar abundance and richness during the rainy season (May to October), being July the richest month, while in December we found less than one third of the species richness found in July (Fig. 4).

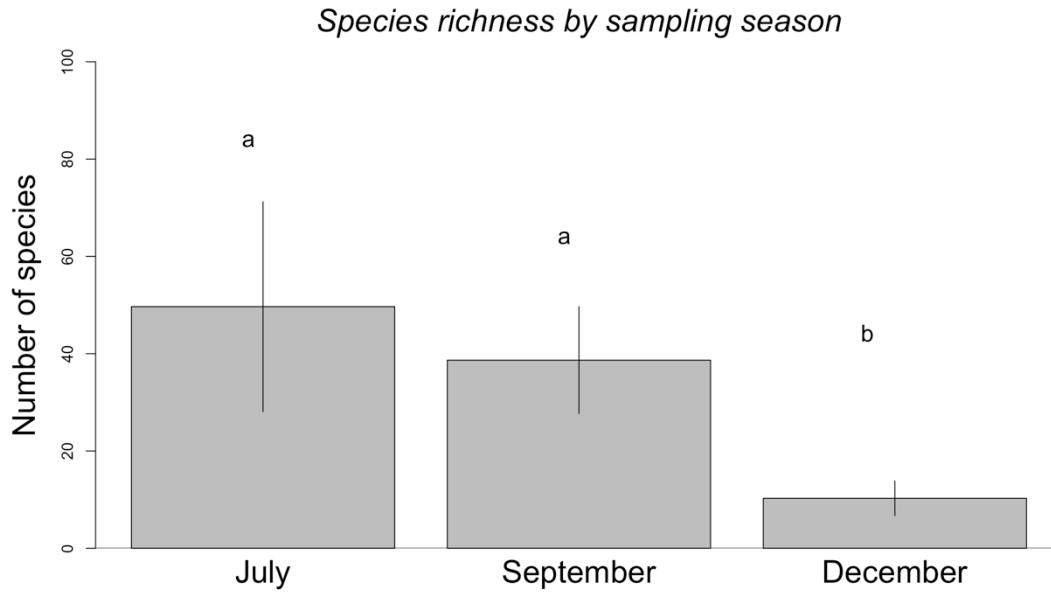


Figure 4. Caterpillar species richness by sampling season within coffee plantations located al Veracruz, México. Black lines indicate standard deviation. Repeated measures ANOVA. Different letters indicate statistically significant differences between seasons ($P < 0.01$).

Caterpillar communities were more similar within seasons regardless of the management practice (PERMANOVA). However, the sun monoculture plantation (CV1) was significantly different from the rest of the plantations both in July and September, but not in December (Fig. 5).

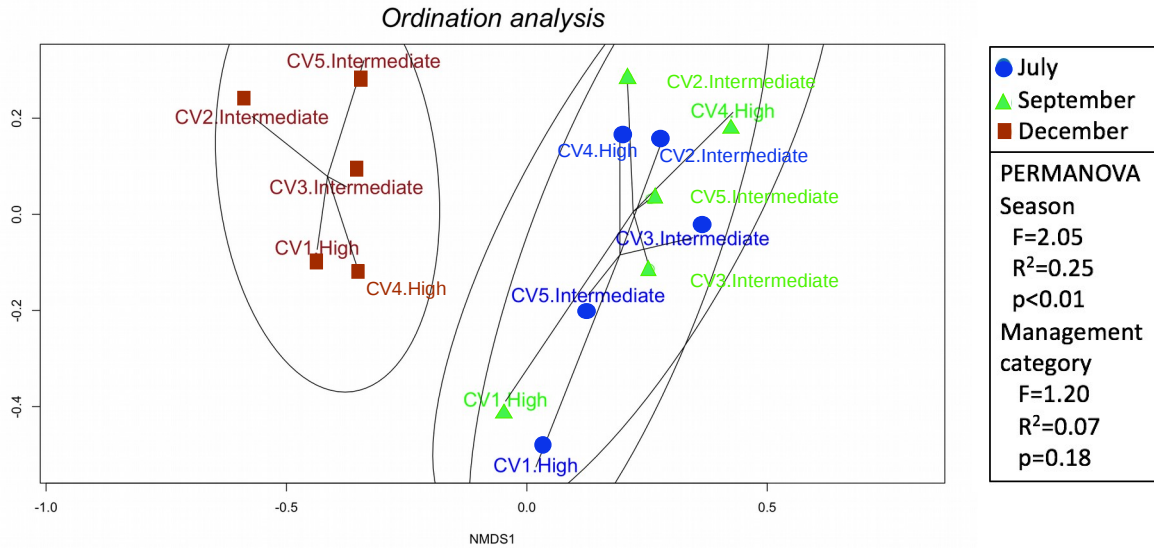


Figure 5. Ordination analysis showing caterpillar community composition similitude for the three sampling seasons and the five coffee plantations, and results of PERMANOVA analysis testing for the effect of season and management.

The interaction network showed that most caterpillar species present in coffee plantations interact with this crop (128 morphospecies; Fig. 6). The network had low connectance (0.064) with an average of 1.044 links per species and a web asymmetry of 0.8. The web was more modular than nested, with eight compartments and a nestedness of 4.1.

Plant-caterpillar interaction network

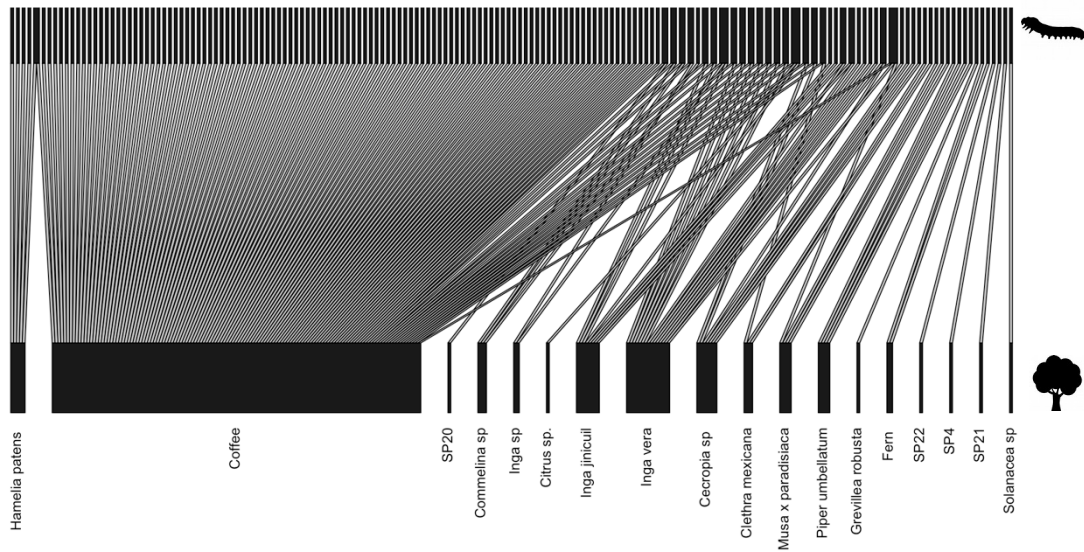


Figure 6. Caterpillar-plant interaction network in five coffee plantations in central Veracruz, Mexico.

4. Discussion

Management intensity of coffee plantations affected caterpillar community, decreasing richness and abundance, but increasing evenness. This could be related to greater plant diversity and more complex vegetation structure in less managed plantations, providing more suitable conditions for caterpillars. Furthermore, we found that increased caterpillar abundance and diversity was not translated into greater damage to coffee plants. Hence, we propose that coffee plantations with low and intermediate management intensity represent an excellent opportunity for conservation of the lepidopteran diversity of tropical forests along with a productive system.

4.1 Leaf damage to coffee plants

Herbivore damage to coffee plants has been reported to be around 12-20% in different parts of the Neotropics (Monterrey, 1990; Barrera et al., 2003; De la Mora et al., 2008), but can be as high as 40% after *Leucoptera coffeella* outbreaks (Martins et al., 2004, Borkhataria et al., 2006). However, several studies of *Leucoptera coffeella* infestations in coffee crops have estimated that important reduction to photosynthesis and possible yield

losses occur when foliar damage is above 20% (Souza, *et al.* 1998; Guerreiro, 2006; Neves, *et al.* 2006;). Nevertheless, despite the great abundance of caterpillars found in the studied coffee plantations herbivore damage was rather low (between 3-7%), which is unlikely to represent a major threat for coffee production. Interestingly, plantations with low management index had significantly lower percentage of leaf damage than plantations with more intensive management, even when all high management plantations used insecticides. Similar results have been reported by Muñoz (2000), who registered the percentage of leaves with damage in a coffee plantation during nine years (1986-1994). The first year insecticide was applied and 29% of the leaves presented herbivore damage; the next year the use of insecticide was suspended and leaf damage increased to 40%, but during the following years the percentage of leaves with damage decreased to 1-3%. This evidence supports the idea that in low input agroecosystems herbivore damage is naturally controlled by the presence of natural enemies and diversity of food sources and thus no pesticides are necessary (Gliessman, 1990; Altieri, 1999).

Increased plant diversity can limit the dispersal and spread of some herbivores, preventing them to become pests. In fact, significant relationships between high coffee plant densities and greater pest and disease attack have been previously reported for coffee (Avelino *et al.*, 2011). Given that most coffee herbivore species are specialists and depend only on coffee plants, shade canopy plants are unlikely to attract more coffee herbivores, but rather promote a more diverse herbivore community (Perfecto *et al.*, 1996; Staver *et al.*, 2001). This could help to explain the lack of relation between the abundance of chewing insects or caterpillars and the percentage of leaf damage, as not all chewing insects were found feeding on coffee. Actually, while there was a negative significant relationship between management intensity and caterpillar abundance, there was no relationship with the abundance of caterpillar species in which the trophic interaction with coffee was proven.

The use of synthetic fertilizers can increase the susceptibility of a crop to herbivore attacks, by increasing nutrients and reducing carbon based secondary metabolites in the foliage (Phelan *et al.* 1996; Altieri & Nicholls, 2003; Van Der Putten *et al.*, 2009; Avelino *et al.*,

2011). Increased nitrogen concentrations in crop plants due to N-fertilization has been positively correlated with aphid and mite abundance in different crops (Altieri & Nicholls, 2003). Because high management plantations used more synthetic fertilizers, the greater damage found on their coffee plants could be due to an increased leaf palatability, which actually would have surpassed the effects of pesticides applied.

4.2 Herbivore community structure

The management intensity index was a useful tool to evaluate caterpillar community changes through a continuous gradient of intensity, avoiding the limitations of the traditional classification of coffee plantations (no distinction within management categories, lack of consistency in the intensity indicators selected and the assumption of a correlation between external inputs and vegetation modification). Previous reports have identified that different taxa respond differently to management intensity in coffee plantations. For example, a study in Puerto Rico found that avian species as insects in the orders Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Neuroptera, and Psocoptera, and two species of the genus *Anolis* were significantly more abundant in shade coffee plantations, while orthopterans and other two species of the genus *Anolis* were significantly more abundant in sun coffee. Additionally, in Southern Mexico Perfecto *et al.* (2003) has reported that richness of butterflies and ants was reduced with increasing management intensity, the former group being more sensitive to habitat modification than the latter. Bird richness in contrast, was found to increase or decrease as a function of crop management intensity in different sites. Also, in a different study spider richness was not affected by management intensity, but mean spider abundance per plant decrease with decrease management intensity (Marin & Perfecto, 2013).

Caterpillars can be more sensitive to habitat modification than other groups of insects because they are highly dependent on their host plants (Novotny, 2006). With some important exceptions, caterpillar assemblages tend to be very specialized (Forister *et al.*, 2015) and host plants are usually associated to few, closely related caterpillar species (Janzen, 1988; Bodner *et al.*, 2012). This could explain the positive relationship between

evenness and management intensity. Plantations with greater plant diversity had a high abundance of specialist caterpillars, while in plantations with lower tree diversity caterpillar species were more evenly distributed. For these reasons, if certain shade plants are removed the loss of complete caterpillar assemblages could be expected, reducing the overall local diversity of this group. Nevertheless, we found 128 caterpillar morphospecies feeding on coffee plants with no evident dominant species. This suggests that this crop is able to somehow recruit a large proportion of the local caterpillar diversity, not necessarily specialized in coffee plants. However, the performance and fitness of these caterpillars should be further investigated to assess the viability of their populations, if exclusively feeding on coffee plants.

A complex vegetation structure provides heterogeneous temperature, humidity and sun exposure conditions, relevant for ectotherm organisms such as caterpillars, which rely on different microclimates to regulate their body temperature (Casey et al., 1988; Turlure et al., 2011). Thus, increasing management intensity and decreasing vegetation complexity are likely to promote poor conditions for caterpillars.

5. Conclusions

Lepidoptera is a sensitive group to management intensity and hence can be a good indicator of the consequences of crop management intensification in coffee plantations. Overall, we suggest that low and intermediate intensity management practices can contribute to the conservation of Lepidoptera, which includes important functional groups such as herbivores and pollinators, without resulting in greater amounts of leaf damage and thus significant yield losses.

Acknowledgments

We thank Ruben Perez Ishiwara for his logistical assistance. We also thank John Larsen for advice and consultation throughout the process of research and writing. To Denise Arroyo Lambaer, Rodrigo González Chauvet and Adriana Uscanga Castillo, M. Avitia, K. Carrasco., A. Barrón, E. Audate, Y. Narváez, F.J. Pérez, C.M. García, V. Vázquez, V. Peña, V. Piña, J. Zetina, S. Soria, V.J. Taracena, K. Jiménez, D.K.Ysimoto, J. Campuzano, and B. Esquivel for their invaluable help in the field. To Aldolfo Ibarra and Rafael Turrent for moth and

butterfly identification. To E. Zeno and G. Muñoz for their help in plant identification. The landholders F. Caraza, J. Loeza, V. Viveros, F. Garzota, J. Garzota, E. Acosta, R. García, J. Müller, L. Muñoz, C. Cadena, A. Martínez, R. Gasperín, are thanked for the facilities given to this project. Funding was provided to KB and EDV by CONACYT (247672). IS acknowledges CONACyt and the graduate program Posgrado en Ciencias Biológicas at the Universidad Nacional Autónoma de México for the academic and financial support. This article is a requirement for the first author Inari Sosa Aranda to obtain her Master's Degree in Biological Sciences (Ecology) of the Posgrado en Ciencias Biológicas from the Universidad Nacional Autónoma de México.

References

- Altieri, M.A. 1999. Agroecología. Bases Científicas para una agricultura sustentable. Nordan-comunidad, Montevideo
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I. 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Res.* 72, 203-211.
- Avelino, J., Ten Hoopen, G. M., DeClerck, F. 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the neotropics, in: Bruno R., LeCoq J. F., Beer J. (Eds.), *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry Measurement and Payment*. Earthscan Publications, London, pp.91-117.
- Barrera, J. F., J.Herrera, R. Rabanales, AND E. Rabanales y Pinson. 2003. Es *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) plaga secundaria en cafetales donde *Idiarthron subquadratum* (Orthoptera: Tettigoniidae) es plaga clave? In M. Vazquez, J. F. Perez, K. H. Ibarra, C. I. Balpuesta, J. R. Vazquez, J. Cervantes, and N. Ibarra (Eds.). *Memorias del XXVI Congreso Nacional de Control Biológico*, Guadalajara, Jalisco, México. , pp. 114-117.
- Barrera, J. F. 2008. Coffee pests and their management, in: Capinera, J.L. (Ed.), *Encyclopedia of Entomology*. Springer, Netherlands. pp. 961-998.
- Bawa, K. S. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Anny. Rev. Ecol. Syst.* 1990, 21, 399-422.
- Bodner, F., Strutzenberger, P., Brehm, G., Fiedler, K. 2012. Species richness and host specificity among caterpillar ensembles on shrubs in the Andes of southern Ecuador. *Neotrop. Entomol.*, 41, 375-385.

- Boreux, V., Kushalappa, C. G., Vaast, P., Ghazoul, J. 2013. Interactive effects among ecosystem services and management practices on crop production: Pollination in coffee agroforestry systems. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 8387–8392.
- Borkhataria, R. R., Collazo, J. A., Groom, M. J. 2006. Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto Rican coffee plantation. *Ecol. Appl.* 16, 696-703.
- Borkhataria, R. R., Collazo, J. A., Groom, M. J. 2012. Species abundance and potential biological control services in shade vs. sun coffee in Puerto Rico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 151, 1-5.
- Calo, M., Wise, T. A. 2005. Revaluing peasant coffee production: Organic and fair trade markets in Mexico. Global Development and Environment Institute, Tufts University.
- Casey, T. M., Joos, B., Fitzgerald, T. D., Yurlina, M. E., Young, P. A. 1988. Synchronized group foraging, thermoregulation, and growth of eastern tent caterpillars in relation to microclimate. *Physiol. Zool.* 61, 372-377.
- CONABIO. 2008. Ecorregiones terrestres de México.
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/region/biotic/ecort08gw
- De la Mora, A., Livingston, G., Philpott, S. M. 2008. Arboreal ant abundance and leaf miner damage in coffee agroecosystems in Mexico. *Biotropica.* 40, 742-746.
- Dyer, L. A., Singer, M. S., Lill, J. T., Stireman, J. O., Gentry, G. L., Marquis, R. J., Ricklefs R.E., Greeney H.F., Wagner D.L., Morais,H.C., Diniz I.R. Kursar T.A. Coley, P. D. 2007. Host specificity of Lepidoptera in tropical and temperate forests. *Nature.* 448, 696–699.
- Forister, M. L., V. Novotny, A. K. Panorska, L. Baje, Y. Basset, P. T. Butterill, L. Cizek, P. D. Coley, F. Dem, I. R. Diniz, P. Drozd, M. Fox, A. E. Glassmire, R. Hanzen, J. Hrcek, J. P. Jahner, O. Kaman, T. J. Kozubowski, T. A. Kursar, O. T. Lewis, J. Lill, R. J. Marquis, S. E. Miller, H. Morais, M. Murakami, H. Nickel, N. A. Pardikes, R. E. Ricklefs, M. S. Singer, A. M. Smilanich, J. O. Stireman, S. Villamarín-Cortez, S. Vodka, M. Volf, D. L. Wagner, T. Walla, G. D. Weiblen and L. A. Dyer. 2015. The global distribution of diet breadth in insect herbivores. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 442-447.
- Gliessman, S. R. 1990. *Agroecology: researching the ecological basis for sustainable*

- agriculture, in: Gliessman S.R. (Ed.), *Agroecology*. Springer, New York. pp. 3-10.
- Greenberg, R., Bichier, P., Angon, A. C., MacVean, C., Perez, R., Cano, E. 2000. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology*. 81. 1750-1755.
- Guerreiro, O.(2006). Coffee Leaf Miner. *Braz. J. Plant Physiol.* 18, 109-117.
- Hernández-Martínez, G., Manson, R. H., Hernández, A. C. 2009. Quantitative classification of coffee agroecosystems spanning a range of production intensities in central Veracruz, Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 134, 89–98.
- Isaacs, R., Tuell, J., Fiedler, A., Gardiner, M. Y Landis, D. 2008. Maximizing arthropod-mediated ecosystem services in agricultural landscapes: the role of native plants. *Front. Ecol. Environ.* 7, 196-203.
- Janzen, D. H. 1988. Ecological characterization of a Costa Rican dry forest caterpillar fauna. *Biotropica*. 20, 120-135.
- Johnson, M. D., Levy, N. J., Kellermann, J. L., Robinson, D. E. 2009. Effects of shade and bird exclusion on arthropods and leaf damage on coffee farms in Jamaica's Blue Mountains. *Agrofor. Syst.* 76, 139-148.
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., Tschardt, T. 2003. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *J. Appl. Ecol.* 40, 837–845.
- López-Morgado, R., Barrera, J.F., Pérez, N., Pinson, E.P., Becerra, E. N. 2013. Plagas y enfermedades del café. In: López Morgado, R., Díaz, G., Zamarripa, A. (Eds). *El sistema producto café en México: Problemática y tecnología de producción*. México. INIFAP.
- Marin, L., & Perfecto, I. 2013. Spider diversity in coffee agroecosystems: the influence of agricultural intensification and aggressive ants. *Environ. Entomol.* 42, 204–213.
- Martins, M., Guimaraes mendes, A. N. and Nogueira Alvarenga, A. N. 2004. Incidencia de pragas e doenças em agroecossistemas de café organico de agricultores familiares em poco fundomg. *Ciencia Agrotecnologica*. 28,

1306–1313.

- Mas, A. H., Dietsch, T. V. 2003. an Index of Management Intensity for Coffee Agroecosystems To Evaluate Butterfly Species Richness. *Ecol. Appl.* 13, 1491–1501.
- Mendez, V. E., Bacon, C. M., Olson, M., Morris, K. S., Y Shattuck, A. 2010. Agrobiodiversity and Shade Coffee Smallholder Livelihoods: A Review and Synthesis of Ten Years of Research in Central America. *The Professional Geographer.* 62, 357-376.
- Moguel, P., Toledo, V. M. 1999. Biodiversity conservation in tradicional Coffee systems of Mexico. *Conserv. Biol.* 13, 11–21.
- Monterrey J. 1990. Poblaciones del minador de la hoja de cafeto (*Leucoptera coffeella*) durante la estacion seca en plantaciones cafetaleras de la IV region de Nicaragua. M.Sc. Thesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Muñoz, R. H. 2000. Plagas insectiles del cafeto. Manual de caficultura. 3rd edition. Instituto Hondureño del Café. Honduras.
- Neves, A. D., Oliveira, R. F., & Parra, J. R. P. 2006. A new concept for insect damage evaluation based on plant physiological variables. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 821–35.
- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S. E., Kulfan, M., Janda, M., Basset, Y., Weiblen, G. D. 2006. Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests?. *Science.* 313, 1115-1118.
- Perfecto, I., Rice, R., Greenberg, R. 1996. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. *BioScience.* 46, 598–608.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Hanson, P., & Carti, V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodivers. Conserv.* 6, 935–945.
- Perfecto, I., Vandermeer, J. 2002. Quality of Agroecological Matrix in a Tropical Montane Landscape: Ants in Coffee Plantations in Southern Mexico Calidad de la Matriz Agroecológica en un Paisaje Montañoso Tropical: Hormigas en Plantaciones de Café

en el Sur de México. *Conserv. Biol.* 16, 174–182

Perfecto, I., Mas, A., Dietsch, T., Vandermeer, J. 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: A tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodivers. Conserv.* 12, 1239–1252.

Phelan P.L., Norris K.H., Mason J.F. 1996. Soil-management history and host preference by *Ostrinia nubilalis*: evidence for plant mineral balance mediating insect–plant interactions. *Environ. Entomol.* 25, 1329–1336

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conserv. Biol.* 18, 1262-1271.

Sallam, M. N. 2005. Post-harvest Operations FAO.

SAGARPA. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Avances de la Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

Staver, C., Guharay, F., Monterroso, D., Muschler, R. G. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: Shade-grown coffee in central america. *Agrofor. Syst.* 53, 151–170.

Souza, J. C. de, Reis, P. R., & Rigitano, R. L. de O. 1998. Bicho Mineiro do Cafeeiro: Biologia, Danos e Manejo Integrado. *Boletim Técnico EPAMIG*.

Thébault, E., Fontaine, C. 2010. Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. *Science.* 329, 853-856.

Turlure, C., Radchuk, V., Baguette, M., Van Dyck, H., Schtickzelle, N. 2011. On the significance of structural vegetation elements for caterpillar thermoregulation in two peat bog butterflies: *Boloria eunomia* and *B. aquilonaris*. *J. Therm. Biol.* 36, 173-180.

- Van Der Putten, W. H., Bardgett, R. D., De Ruiter, P. C., Hol, W. H. G., Meyer, K. M., Bezemer, T.M., Bradford, M. A., Christensen, S., Eppinga, M. B., Fukami, T., Hemerik, L., Molofsky, J., Schädler, M., Scherber, C., Strauss, S. Y., Vos, T. M., Wardle, D. A. 2009. Empirical and theoretical challenges in aboveground-belowground ecology. *Oecologia*, 161, 1–14.
- Vergara, C. H., Badano, E. I. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantations: The importance of rustic management systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129, 117–12.

Discusión General

En este estudio se encontraron 202 morfoespecies de orugas, lo que muestra el gran potencial de los cafetales para preservar la diversidad de lepidópteros del bosque mesófilo de montaña. Sin embargo, nuestros resultados indican que esta gran riqueza y abundancia de orugas no se traduce en daños considerables en las hojas de plantas de café, y por tanto no deberían de representar un problema para la producción de este cultivo. Las orugas pueden ser un grupo indicador de la salud de un agroecosistema ya que mostraron más sensibilidad a la intensidad de manejo que otros grupos de herbívoros. Conforme aumenta la intensidad de manejo disminuye la riqueza y la abundancia de orugas, pero aumenta la equitatividad de las comunidades.

Índice de intensidad de manejo

El uso de un índice de manejo cuantitativo brinda la capacidad de medir de forma más precisa la intensidad de manejo, algo que es muy importante cuando se tiene un gradiente de intensidad continuo. Esta herramienta permitió hacer una clasificación más clara de las parcelas, sobre todo en los casos en los que no era fácil asignar las plantaciones a una categoría de acuerdo a la clasificación tradicional. Además, otra ventaja de adoptar el índice cuantitativo es que puede facilitar las comparaciones entre estudios en distintas regiones o con distintos taxa (Mas & Dietsch, 2003). Igual que Hernández-Martínez *et al.*, (2009), se encontró que el alto uso de insumos externos no necesariamente se relaciona con un alto grado de modificación de la estructura vegetal, de tal forma que un índice que mida la intensidad de manejo debe integrar ambos grupos de variables. Sin embargo, para hacer el índice aún más preciso, es importante hacer una caracterización más detallada del uso de insumos externos, tomando en cuenta el tipo de agroquímicos utilizados, las cantidades exactas empleadas, etc., ya que distintos agroquímicos y la forma en que se emplean pueden tener efectos diferentes sobre el agroecosistema y la diversidad (Alister & Kogan, 2006).

Comunidad de orugas y otros herbívoros

Se encontró una respuesta diferente de los grupos de herbívoros a la intensidad de manejo, ya que los lepidópteros mostraron una clara reducción de la riqueza y abundancia conforme aumentó la intensidad de manejo, mientras que la abundancia y riqueza de los demás órdenes no estuvo correlacionada con el índice de manejo. Esto puede estar relacionado con el método de colecta, que es más efectivo para coleccionar lepidópteros que otros órdenes. Sin embargo, esto también puede estar reflejando una mayor sensibilidad del grupo de los lepidópteros, como se encontró en Perfecto *et al.* 2003. En este estudio realizado en dos sitios en Chiapas, México, se reportaron diferencias en las respuestas de distintos taxones ante la intensidad de manejo en cafetales. Mientras que la respuesta del grupo de las aves no fue clara, exhibiendo un aumento en la riqueza de especies en un sitio y una disminución en el segundo sitio, tanto la riqueza de mariposas y hormigas se redujo consistentemente con la reducción de sombra y diversidad de árboles. Siendo el grupo de las mariposas más sensible que el de las hormigas.

En general, las orugas pueden ser más sensibles a la modificación del hábitat debido a que son dependientes de sus plantas hospederas (Novotny *et al.*, 2006). Aunque existen importantes excepciones, los ensamblajes de orugas tienden a ser muy especializados y dominados por pocas especies muy abundantes (Janzen, 1988; Bodner *et al.*, 2012). Esto puede explicar la relación positiva entre la equitatividad de las comunidades y la intensidad de manejo, pues en la mayoría de los árboles de sombra y plantas presentes en los cafetales los ensamblajes de orugas estuvieron dominados por pocas especies muy abundantes. Sin embargo, las plantas de café representan una clara excepción a este patrón, ya que se encontraron 128 morfoespecies de orugas interactuando con esta planta. De esta manera, las plantaciones con mayor diversidad de plantas tuvieron una alta abundancia de orugas especialistas, mientras que en las plantaciones con menor diversidad y mayor densidad de plantas de café, las especies de orugas estaban distribuidas de forma más equitativa.

Los ensambles de orugas sobre plantas hospederas de la misma especie o incluso del mismo género, son generalmente muy similares y predecibles, mientras que entre ensambles sobre plantas de distintas familias hay una gran disimilitud (Novotny *et al.*, 2002, 2006). Por esta razón, cuando una especie de planta es sustraída de una comunidad, se pierden también las especies de orugas asociadas a ésta. Esto ayuda a explicar la pérdida de la abundancia y la riqueza de orugas en los cafetales con mayor intensidad de manejo, en los que se reduce la diversidad de la vegetación y la densidad de árboles de sombra. Además, una mayor complejidad de la vegetación proporciona condiciones heterogéneas de temperatura, humedad e incidencia de la luz del sol. Debido a que las orugas son organismos ectotermos, necesitan poder alternar entre distintos microclimas para poder regular su temperatura corporal (Casey *et al.*, 1988; Turlure *et al.*, 2011). Así, un incremento en la intensidad de manejo y disminución en la complejidad vegetal, puede reducir las opciones de las orugas para encontrar microclimas adecuados.

Daño foliar por herbívoros

A lo largo de todo el gradiente de intensidad de manejo el daño foliar fue muy bajo (entre 3 y 7%) comparado con lo que se ha reportado para otros cafetales en los neotrópicos que es de alrededor de 12-20% (Monterrey, 1990; Barrera *et al.*, 2003; De la Mora *et al.*, 2008) y que puede alcanzar hasta el 40% con brotes de plagas como el minador de la hoja *Leucoptera coffeella* (Martins *et al.*, 2004, Borkhataria *et al.*, 2006).

Esto implica que, sin importar el tipo de manejo, el daño foliar no parece ser un problema para la producción en estas plantaciones del estado de Veracruz y que todos los tipos de manejo estudiados son capaces de regular el daño que los herbívoros le causan al cultivo. Sin embargo, a pesar de no utilizar plaguicidas, los manejos de baja intensidad fueron los más eficientes para controlar la herbivoría, ya que presentaron los menores niveles de daño foliar. Mientras que no hubo diferencias significativas entre el daño foliar promedio en las parcelas con intensidad de manejo intermedia y las parcelas con alta intensidad de manejo, siendo que en estas últimas se utilizaban plaguicidas frecuentemente y en las primeras no.

Resultados similares se han reportado en otros estudios. Por ejemplo, Muñoz (2000) realizó un estudio en el cual se le dio seguimiento al daño foliar en una plantación de café durante 9 años. El primer año se aplicó plaguicida en tres temporadas diferentes y el daño foliar fue del 29%, al siguiente año se suspendió por completo el uso de plaguicidas y el daño foliar aumentó al 40%. Sin embargo, en los años siguientes el daño foliar disminuyó constantemente hasta alcanzar niveles de 1-3% en el último año del estudio. Así mismo, en un estudio con jitomates en cultivos orgánicos y convencionales se encontró que la ausencia de plaguicidas no reduce el daño foliar ya que los niveles de daño foliar fueron iguales en ambos tratamientos. Sin embargo, la diversidad y abundancia de artrópodos fue mayor en los cultivos orgánicos (Letourneau & Goldstein, 2001). Estas evidencias apoyan no sólo la idea de que el uso de insecticidas no es necesariamente la forma más eficiente de reducir el daño foliar, sino también que en los cultivos con bajos insumos los procesos ecológicos son capaces de mantener un control natural sobre la herbivoría (Altieri, 1999; Gliessman, 2002).

La presencia de enemigos naturales, la diversidad de fuentes alimenticias y la disminución de la densidad de la planta de cultivo son mecanismos que contribuyen al control del daño foliar en cultivos menos intensivos (Altieri, 1999; Gliessman, 2002). En cafetales se ha estudiado ampliamente el efecto de los enemigos naturales en distintos tipos de manejo sobre el daño foliar y la abundancia de herbívoros. En estos estudios se ha encontrado que la riqueza y abundancia de aves aumenta en los cafetales de sombra (Avelino *et al.*, 2011), que la presencia de éstos y otros vertebrados depredadores puede reducir hasta un 80% el número de insectos y en un 50% el daño foliar (Greenberg *et al.*, 2000; Perfecto *et al.*, 2004; Borkhataria *et al.*, 2006; Johnson *et al.*, 2009). Sin embargo, en este trabajo se encontró que no existe una relación entre la abundancia de insectos herbívoros y el daño foliar. Inclusive, para el grupo de las orugas encontramos que la abundancia aumentó conforme disminuía la intensidad de manejo, sin que esto se viera reflejado en un mayor daño foliar.

Es posible que la diversidad de fuentes de alimento y una menor densidad de las plantas de cultivo sean los mecanismos que actúan como control del daño foliar,

reduciendo la proporción de insectos alimentándose de las hojas del café. Una gran parte de las orugas presentes en las plantaciones con menor manejo se encontraron alimentándose de plantas distintas al café. El hecho de que no se encontrara relación entre el número de orugas que se alimentan de café y la intensidad de manejo apoya esta hipótesis.

Por otro lado, de acuerdo a la hipótesis del balance de carbono: nutrientes (Bryant et al 1991), se ha reportado, que plantas que crecen en suelos enriquecidos con nitrógeno por el uso de fertilizantes sintéticos son más susceptibles al ataque de plagas, ya que tienen una mayor proporción de nitrógeno (Phelan et al. 1996; Van Der Putten et al., 2009). Al mismo tiempo, que plantas creciendo bajo sombra sufren menos ataques de áfidos y otras plagas debido a sus bajos contenidos de carbono (Francesconi et al., 1996; Altieri & Nicholls, 2003). De esta manera, es posible que el tejido de las plantas de las plantaciones intensivas sea de mejor calidad para los insectos herbívoros, mientras que en las plantaciones menos intensivas el consumo de los insectos es menor por la baja calidad del tejido de las plantas.

Conclusiones

El índice de intensidad de manejo es una herramienta útil para medir de manera cuantitativa la intensidad de manejo en cultivos de café, integrando variables de la estructura vegetal y del uso de insumos externos. Lo que permite caracterizar el gradiente continuo de intensidad de manejo.

La riqueza y abundancia de la comunidad de herbívoros en general no mostró cambios con respecto a la intensidad de manejo en las plantaciones de café. Sin embargo, la comunidad de orugas si se vio afectada por la intensidad de manejo, mostrando un incremento en la equitatividad y una reducción en la riqueza y abundancia ante el incremento en la intensidad de manejo.

El daño foliar no estuvo correlacionado con la riqueza ni con la abundancia de orugas, sin embargo si se vio afectado por la intensidad de manejo, siendo menor el daño foliar en las plantaciones con baja intensidad de manejo.

A pesar de que se encontraron 127 morfoespecies de orugas que se alimentan de la planta de café, nuestros resultados indican que los cafetales de sombra tienen la capacidad de regular la herbivoría, manteniendo el daño al cultivo en niveles mínimos.

Este estudio muestra que los cultivos de café de baja y media intensidad de manejo en la zona central de Veracruz tienen la capacidad de conservar una alta diversidad de lepidópteros a la vez que mantienen bajos niveles de daño foliar.

Referencias

- Alister, C., & Kogan, M. (2006). ERI: Environmental risk index. A simple proposal to select agrochemicals for agricultural use. *Crop Protection*, 25(3), 202–211. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.04.006>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2003). Soil fertility management and insect pests: Harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 203–211. [http://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00089-8](http://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00089-8)
- Biology, T. (2009). Ecological Characterization of a Costa Rican Dry Forest Caterpillar Fauna Author (s): Daniel H . Janzen Published by : The Association for Tropical Biology and Conservation Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/2388184>, 20(2), 120–135.
- Bodner, F., Strutzenberger, P., Brehm, G., & Fiedler, K. (2012). Species Richness and Host Specificity among Caterpillar Ensembles on Shrubs in the Andes of Southern Ecuador. *Neotropical Entomology*, 41(5), 375–385. <http://doi.org/10.1007/s13744-012-0066-4>
- Borkhataria, R. R., Collazo, J. A., & Groom, M. J. (2006). Additive effects of vertebrate predators on insects in a Puerto Rican coffee plantation. *Ecological Applications*, 16(2), 696–703. [http://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[0696:AEOVPO\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[0696:AEOVPO]2.0.CO;2)
- Chen, Y. H., Gols, R., & Benrey, B. (2015). Crop Domestication and Its Impact on Naturally Selected Trophic Interactions. *Annual Review of Entomology*, 60(1), 35–58.
- Cruz-Angón, A., & Greenberg, R. (2005). Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 42(1), 150–159. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00983.x>
- Factsheets, P. T. (2014). Coffee Leaf Miner, 18(January), 1983–1984.
- Francesconi, A. H. D., Lakso, A. N., Nyrop, J. P., Barnard, J., & Denning, S. S. (1996). Carbon Balance as a Physiological Basis for the Interactions of European Red Mite and Crop

- Load on “ Starkrimson Delicious ” Apple Trees, 121(5), 959–966.
- Impact, T. H. E., Avian, O. F., On, I., In, D., Guatemalan, S., & Plantations, C. (2000). The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage.pdf, 81(6), 1750–1755.
- Jacques Avelino, G. M. ten H., & DeClerck, and F. A. J. (2011). Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry, (September 2017).
<http://doi.org/10.4324/9781849775656>
- Johnson, M. D., Levy, N. J., Kellermann, J. L., & Robinson, D. E. (2009). Effects of shade and bird exclusion on arthropods and leaf damage on coffee farms in Jamaica’s Blue Mountains. *Agroforestry Systems*, 76(1), 139–148. <http://doi.org/10.1007/s10457-008-9198-2>
- Letourneau, D. K., & Goldstein, B. (2001). Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology*, 38(3), 557–570. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00611.x>
- Marin, L., & Perfecto, I. (2013). Spider diversity in coffee agroecosystems: the influence of agricultural intensification and aggressive ants. *Environmental Entomology*, 42(2), 204–213. <http://doi.org/10.1603/EN11223>
- Mas, A. H., & Dietsch, T. V. (2003). an Index of Management Intensity for Coffee Agroecosystems To Evaluate Butterfly Species Richness. *Ecological Applications*, 13(5), 1491–1501. <http://doi.org/10.1890/01-5229>
- Neves, A. D., Oliveira, R. F., & Parra, J. R. P. (2006). A new concept for insect damage evaluation based on plant physiological variables. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 821–35. Retrieved from
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17143415>
- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S. E., & Kulfan, M. (2006). Species of Herbivorous Insects, 738(August), 2003–2006.
- Novotny, V., Miller, S. E., Basset, Y., Cizek, L., Drozd, P., Darrow, K., & Leps, J. (2002). Predictably simple: assemblages of caterpillars (Lepidoptera) feeding on rainforest trees in Papua New Guinea. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 269(1507), 2337–2344. <http://doi.org/10.1098/rspb.2002.2166>
- Perfecto, I., Vandermeer, J. H., Bautista, G. L., Nuñez, G. I., Greenberg, R., Bichier, P., & Langridge, S. (2004). Greater predation in shaded coffee farms: The role of resident neotropical birds. *Ecology*, 85(10), 2677–2681. <http://doi.org/10.1890/03-3145>

Perfecto, I., Vandermeer, J., Hanson, P., & Carti, V. (1997). Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 6, 935–945. <http://doi.org/10.1023/A:1018359429106>

Souza, J. C. de, Reis, P. R., & Rigitano, R. L. de O. (1998). Bicho Mineiro do Cafeeiro: Biologia, Danos e Manejo Integrado. *Boletim Técnico EPAMIG*.

Van Der Putten, W. H., Bardgett, R. D., De Ruiter, P. C., Hol, W. H. G., Meyer, K. M., Bezemer, T. M., ... Wardle, D. A. (2009). Empirical and theoretical challenges in aboveground-belowground ecology. *Oecologia*, 161(1), 1–14. <http://doi.org/10.1007/s00442-009-1351-8>

Supplementary material I
Management intensity index

Table S1. Values of the 10 vegetation structure variables measured for each plantation. *(0= no removal of herbs, 0.5=partial removal of herbs, 1=complete removal of herbs).

Site	Region	Epiphyte cover	Canopy cover	Species richness	Shade trees density	Coffee trees density	Canopy height	Strata	Diversity (Shannon-Wiener)	Basal Area (m2)	Presence of herbs
CV1	Naolinco	0%	0%	0	0	800	0	0	0	0	1
CV2	Naolinco	25-75%	84.08%	17	78.4	420	10	2	1.86	141.22	0
CV3	Naolinco	25-75%	87.49%	15	41.6	300	12	2	2.06	686.17	0.5
CV4	Coatepec	25-75%	84.99%	17	30.4	600	20	2	2.41	1659.54	1
CV5	Coatepec	0-25%	80.66%	14	30.4	420	25	2	2.46	509.21	0
CV6	Cosautlán	50-75%*	90.90%	12	36.8	240	20	3	2.22	1255.26	0
CV7	Cosautlán	50-75%*	87.26%	35	100.8	240	20	4	3.22	265.83	0
CV8	Cosautlán	0-25%	55.87%	4	6.4	490	3	1	1.15	312.2	0.5
CV9	Huatusco	12.5%-87.5%	73.61%	21	22.4	420	25	3	2.87	1228.48	0
CV10	Huatusco	0-25%	74.07%	6	32	420	3	1	0.9	145.21	1
CV11	Huatusco	0-25%	16.96%	2	14.4	420	8	1	0.35	195.41	1

Table S2. External inputs variables measured in frequency of use (0=never, 0.5=sometimes, 1=always). ** indicates that plow was used only in some parts of the plantation.

Fertilizers use*	Pesticides use*	Herbicides use*	Fungicides use*	Irrigation*	Plow
0.5	0.5	1	0.5	0.5	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0.5	0.5	0	0
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5**
0.5	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0.5	0	0
1	0.5	0.5	1	0	0
0.5	0	0	0.5	0	0
1	0.5	1	1	0	0
0	0.5	1	0.5	0	0

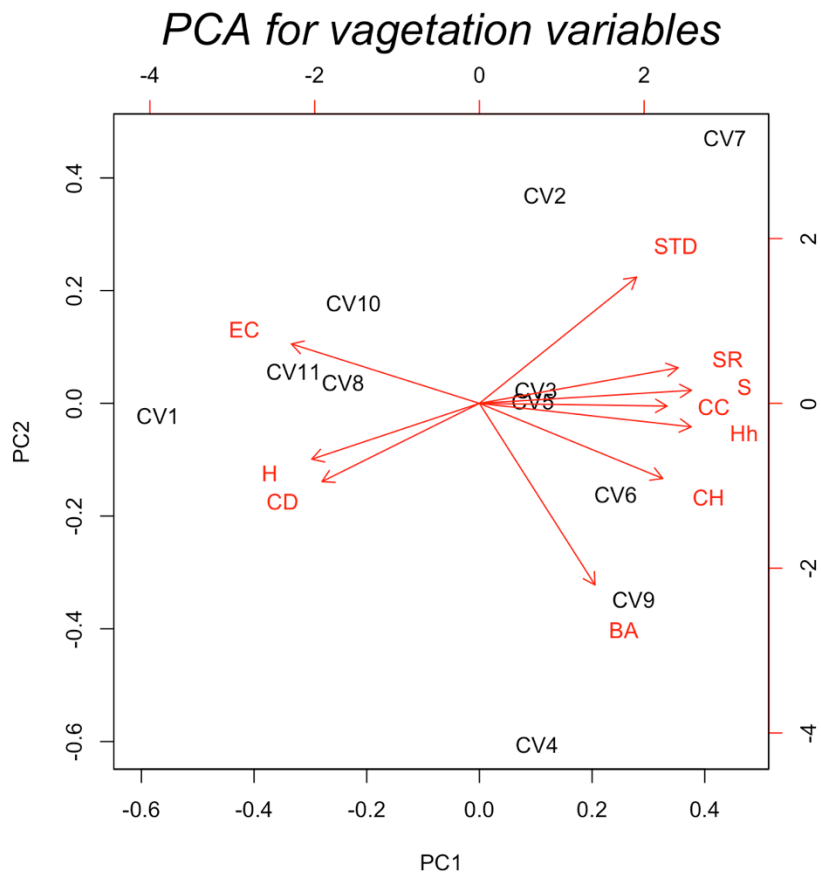


Figure 1. Principal components analysis using only the vegetation variables. EC= epiphyte cover; CC= canopy cover; SR= species richness, STD= shade tree density; CD= coffee tree density; CH= canopy height; S= strata, Hh= Diversity (Shannon-Wiener); BA= Basal Area; H= presence of herbs.

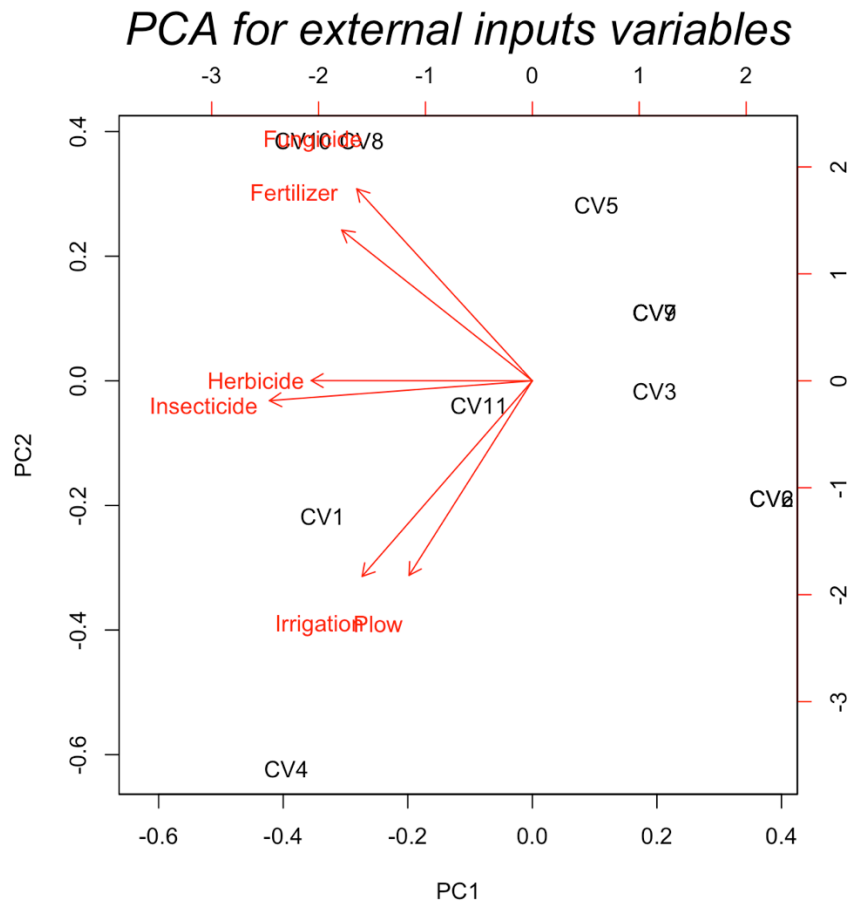


























Figure 2. Principal components analysis using only the external inputs variables.



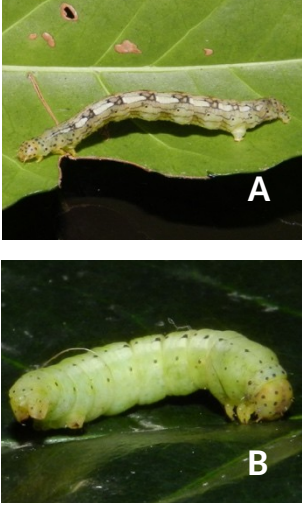





Supplementary material II
Lepidopteran species and morphoespecies










Table S3. Identified species







Family	Subfamily	Species	Larvae	Adult
Bombycidae	Apatelodinae	<i>Zanola verago</i> (Walker)		
Crambidae	Spilomelinae	<i>Palpita quadristigmalis</i>	NA	
Dalceridae	Acraginae	<i>Acraga sp.</i>		
Erebidae	Arctiinae	<i>Carales astur astur</i> (Cramer, 1777)		
Erebidae	Arctiinae	<i>Estigmene acraea acraea</i> (Drury, 1773)		







Erebidae	Arctiinae	<i>Crambidia lithosioides</i>	NA	
Erebidae	Arctiinae	<i>Lophocampa pectina</i> (Rothschild, 1909)	NA	
Erebidae	Arctiinae	<i>Lophocampa annulosa</i>		
Erebidae	Arctiinae	<i>Ecpantheria sp</i>		
Erebidae	Arctiinae	<i>Bertholdia sp.</i>		









Erebidae	Arctiinae	<i>Eucereon</i> sp.	NA	
Erebidae	Arctiinae	<i>Gymnelia ethodaea</i> (Druce, 1889)		
Erebidae	Arctiinae	<i>Dinia aegrus</i> (Cramer, [1779])	NA	
Erebidae	Arctiinae	<i>Episcepsis inornata</i>		
Erebidae	Arctiinae	<i>Euchaetes egle</i>		NA







Erebidae	Calpinae	<i>Gonodonta pygro</i> (Cramer, [1777])		
Geometridae		<i>Leuculodes ablinearia</i>		
Geometridae		<i>Drepanoides aenilusa</i>		
Geometridae	Ennominae	<i>Sabulodes arses</i> (Druce, 1891)		

Geometridae	Ennominae	<i>Sabulodes matrona</i>		
Geometridae	Ennominae	<i>Oxydia sp. 1</i>		
Geometridae	Ennominae	<i>Oxydia sp. 2</i>		
Geometridae	Ennominae	<i>Oxydia distichata</i>		
Geometridae	Ennominae	<i>Semiothisa acutaria</i>	NA	

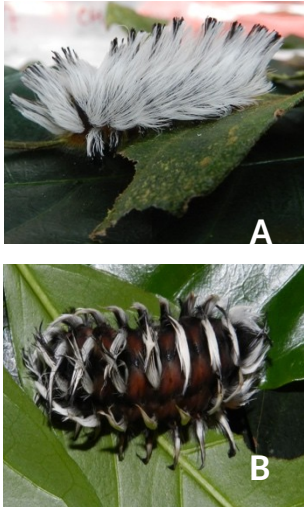




Geometridae	Ennominae	<i>Sphacelodes vulneraria</i> (Hübner)	NA	
Geometridae	Ennominae	<i>Anacamptodes herse</i>		
Geometridae	Ennominae	<i>Prochoerodes</i> <i>sp.</i>	NA	
Geometridae	Ennominae	<i>Melanolopia sp</i>	NA	
Geometridae		<i>Ophthalmophora limbegutata</i>	NA	








Geometridae		Geometridae sp. 1	NA	
Geometridae		Geometridae sp. 2		
Geometridae		Geometridae sp. 3	NA	
Hesperiidae	Hesperiinae	<i>Ancyloxypha arene</i>	NA	
Lasiocampidae	Poecilocampinae	<i>Artace cibraria</i>	NA	








Limacodidae	Limacodinae	<i>Phobetron sp.1</i>		
Limacodidae	Limacodinae	<i>Phobetron sp.2</i>		
Limacodidae	Limacodinae	<i>Talima aurora</i>		
Limacodidae	Limacodinae	<i>Talima straminea</i> Schaus, 1892	NA	
Limacodidae	Limacodinae	<i>Acharia stimulea</i>		NA








Lycaenidae	Theclinae	Tmolus crolinus	NA	
Megalopygidae	Megalopyginae	<i>Megalopyge albicollis</i>		
Megalopygidae	Megalopyginae	<i>Megalopyge opercularis</i>		
Megalopygidae	Megalopyginae	<i>Megalopyge sp. 1</i>		NA









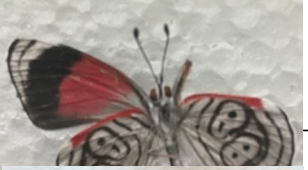











Megalopygidae	Megalopyginae	<i>Podalia sp. 1</i>		NA
Megalopygidae	Trosiinae	<i>Norape sp.</i>		
Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 1	NA	
Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 2		







Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 3	NA	
Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 4	NA	
Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 5		
Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 6	NA	
Microlepidoptera		Microlepidoptera sp. 7		









Noctuidae		<i>Hampsonoides mastoides</i> (Hampson, 1910)		
Notodontidae	Hemiceratinae	<i>Hemiceras cadmia</i> (Guenee, 1852)	NA	
Notodontidae	Hemiceratinae	<i>Hemiceras alba</i> Walker, 1865	NA	
Notodontidae	Hemiceratinae	<i>Hemiceras nubilata</i> (Schaus, 1901)	NA	
Notodontidae	Hemiceratinae	<i>Hemiceras deornata</i> (Walker, 1865)		

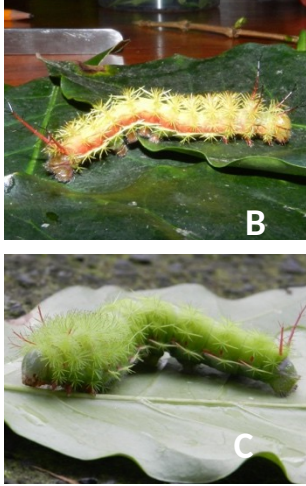





Notodontidae	Hemiceratinae	<i>Hemiceras bilinea</i> (Schaus, 1901)	NA	
Notodontidae	Hemiceratinae	<i>Hemiceras sp.</i>		
Notodontidae	Heterocampinae	<i>Rosema epigena</i>	 	
Notodontidae	Heterocampinae	<i>Rosema deolis</i> (Cramer, 1779)	NA	







<p>Notodontidae</p>	<p>Phalerinae</p>	<p><i>Datana sp.</i> Walker, 1855</p>		
<p>Nymphalidae</p>	<p>Nymphalinae</p>	<p><i>Hypanartia goldmanii</i></p>		
<p>Nymphalidae</p>	<p>Danainae</p>	<p><i>Mechanitis menapis doryssus</i></p>		
<p>Nymphalidae</p>	<p>Biblidinae</p>	<p><i>Diaethria anna</i></p>		 
<p>Pieridae</p>	<p>Coliadinae</p>	<p><i>Rhabdodryas trite</i></p>		

<p>Pieridae</p>	<p>Coliadinae</p>	<p><i>Phoebis agarithe maxima</i></p>		
<p>Pieridae</p>	<p>Dismorphiinae</p>	<p><i>Dismorphia amphione praxinoe</i></p>		
<p>Pieridae</p>	<p>Pierinae</p>	<p><i>Catantix flisa</i></p>		
<p>Psychidae</p>		<p>Psychidae sp. 1</p>		

Psychidae		Psychidae sp. 2		
Pyralidae		Pyralidae sp. 1	NA	
Pyralidae		Pyralidae sp. 2	NA	
Pyralidae		Pyralidae sp. 3	NA	
Pyralidae		Pyralidae sp. 4	NA	

Pyralidae		Pyralidae sp. 5	NA	
Pyralidae		Pyralidae sp. 6		
Pyralidae		Pyralidae sp. 7	NA	
Riodinidae	Riodininae	<i>Rhetus arcus</i>		
Saturniidae	Hemileucinae	<i>Periphoba arcaei</i> (Druce, 1886)		

				
Saturniidae	Hemileucinae	<i>Automeris randa</i>		
Tortricidae		Tortricidae sp. 1	NA	
Tortricidae		Tortricidae sp. 2		

Tortricidae		Tortricidae sp. 3		
Tortricidae		Tortricidae sp. 4		
Tortricidae		Tortricidae sp. 5		
Tortricidae		Tortricidae sp. 6	