



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**Servicio ecosistémico de regulación de plagas agropecuarias en  
bosques tropicales secos manejados**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**FERNANDO ESTAÑOL TECUATL**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. PATRICIA BALVANERA LEVY**

**Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM**

**COMITÉ TUTOR: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI**

**Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia, UNAM**

**DRA. IRERI SUAZO ORTUÑO**

**Coordinación de la Investigación Científica, UMSNH**

**MORELIA, MICHOACÁN.**

**FEBRERO DE 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS Y SUSTENTABILIDAD**

**MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS**

**Servicio ecosistémico de regulación de plagas agropecuarias en  
bosques tropicales secos manejados**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**PRESENTA:**

**FERNANDO ESTAÑOL TECUATL**

**TUTORA PRINCIPAL DE TESIS: DRA. PATRICIA BALVANERA LEVY**

**COMITÉ TUTOR: DRA. EK DEL VAL DE GORTARI**

**Escuela Nacional de Estudios Superiores Morelia, UNAM**

**DRA. IRERI SUAZO ORTUÑO**

**Coordinación de la Investigación Científica, UMSNH**

**MORELIA, MICHOACÁN.**

**FEBRERO DE 2018**

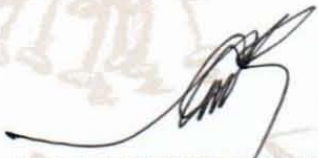
Lic. Ivonne Ramírez Wence  
Directora General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión ordinaria del día 06 de noviembre de 2017, se aprobó el siguiente jurado para la presentación del examen para obtener el grado de **Maestro en Ciencias Biológicas** del alumno **ESTAÑOL TECUATL FERNANDO** con número de cuenta **306067310**, con la tesis titulada **"Servicio ecosistémico de regulación de plagas agropecuarias en bosques tropicales secos manejados"**, dirigida por la **Dra. Patricia Balvanera Levy**:

Presidente: Dra. Ana Isabel Moreno Calles  
Vocal: Dr. Erick de la Barrera Montepellier  
Secretario: Dra. Ek del Val de Gortari  
Suplente: Dr. Carlos Ernesto González Esquivel  
Suplente: Dr. Pablo Fabián Jaramillo López

Sin otro particular, quedo de usted.

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 16 de enero de 2018

  
**DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA**  
**COORDINADOR DEL PROGRAMA**



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo técnico y académico que se me brindó a lo largo de la maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico para la realización de este posgrado a través de la beca número 2979607226.

A mi tutora principal Patricia Balvanera Levy por la oportunidad de aprender y generar nuevo conocimiento con ella.

A mi comité tutorial: Ek del Val de Gortari e Ileri Suazo Ortuño, por su confianza y por sus valiosas contribuciones a este proyecto.

A los proyectos PAPIIT IN211417 y SEP CONACyT 2015-255544 por el financiamiento.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES**

Al pueblo trabajador de México, cuyo esfuerzo sostiene a las universidades públicas.

A mis padres María Elizabeth Tecuatl Quechol y Fernando Estañol Salinas por tanto apoyo.

A toda mi familia, amigos y camaradas de lucha.

A los ejidatarios de Chamela, a quienes espero un día poder retribuir algo de lo mucho que ayudaron para la realización de este proyecto.

A Luis Felipe Arreola Villa por el enorme apoyo técnico y moral.

A Mauricio, Flor, Mario, José, Shanti, Yaxem, Manuel, Peny, Fany, Raiza, Gara, Nefris, Alan, Taggert, Natalia y a todas las personas que me brindaron su invaluable apoyo en campo.

A Sergio Ruiz por su invaluable apoyo en el laboratorio como servicio social.

## ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	3
1. Introducción	
1.1. Generalidades del servicio de regulación de plagas.....	4
1.2. El servicio de regulación de plagas en bosques tropicales secos.....	5
2. Objetivo.....	5
3. Antecedentes.....	6
4. Metodología	
4.1. Selección de parcelas. ....	6
4.2. Impacto de las plagas sobre los cultivos.....	7
4.3. Componentes ecológicos de la oferta del servicio de regulación.....	8
4.4. Papel relativo del bosque circundante y del manejo de parcela.....	9
4.5. Percepción de los campesinos.....	10
5. Resultados	
5.1. Impacto de las plagas sobre los cultivos.....	11
5.2. Componentes ecológicos de la oferta del servicio de regulación	
5.3.1 Actividad de enemigos naturales.....	12
5.3.2 Estructura de la comunidad de artrópodos.....	13
5.3. Papel relativo del bosque circundante y del manejo de parcela.....	14
5.3.1 Caracterización de las parcelas.....	14
5.3.2 Correlaciones con las variables a nivel de parcela y de paisaje.....	15
5.4. Percepción de los campesinos.....	17
6. Discusión	
6.1. Interpretación de resultados locales.....	20
6.2. Papel relativo de la matriz y del manejo local.....	22
6.3. Percepción del servicio vs diservicio por los agricultores.....	23
6.4. Sobre la aportación del trabajo.....	25
7. Conclusiones.....	25
Literatura citada.....	27
8. Anexo 1.....	31



## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

- Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala y de las parcelas.....7
- Figura 2. Larva artificial colocada sobre una hoja de maíz. Se aprecian marcas de ataque en su extremo derecho.....8
- Figura 3. Temporalidad de los daños al maíz, desglosados en A) porcentaje acumulado de plantas perdidas en cada mes para cada parcela; B) porcentaje de plantas con daño de nivel I, II, III y IV de daño por artrópodos; y C) porcentaje acumulado de plantas daños graves (tipo III y IV) por artrópodos y de plantas perdidas por ataque de mamíferos. Las barras de error denotan error estándar.....11
- Figura 4. Actividad de enemigos naturales en cada mes, medida como el porcentaje de ataque a larvas artificiales (A) y porcentaje del total de ataques a larvas artificiales en cada mes realizadas por artrópodos y aves (B). Las cifras encima de las barras de error en “A” indican el número de parcelas consideradas en cada mes. Las cifras encima de las barras en “B” indican el número total de orugas con daño en cada mes en el correspondiente número de parcelas señalado en “A” .....12
- Figura 5. Estructura de la comunidad de artrópodos en agosto y octubre en términos del número de especies colectadas (A) y de la abundancia de cada especie B). Con color rojo se señala a las especies de enemigos naturales, con verde a los herbívoros y con amarillo a los detritívoros.....13
- Figura 6. Análisis de Componentes Principales realizado a partir de las variables indicadoras de la intensidad del manejo a nivel local de las ocho parcelas estudiadas en octubre de 2016. Los vectores corresponden a las variables significativamente correlacionadas con el CP1 o CP2 (g.l.=6;  $p<0.05$ ).....14

Figura 7. Número de menciones entre los campesinos entrevistados respecto a las plagas que perjudican al maíz, y el daño que provocan con y sin manejo por parte de los campesinos (I=intesticida, S=plegaria al sacerdote, V= vigilancia, C=cacería, R= repelentes).....18

Figura 8. Número de menciones entre los campesinos entrevistados respecto los factores ambientales que condicionan a A) el gusano cogollero, B) el gusano arrasador, C) mamíferos y D) aves; E) el estadio de desarrollo del maíz en que causan perjuicios; y F) los enemigos naturales de los artrópodos y su relación con el bosque tropical seco circundante.....20

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables ambientales y los componentes del servicio medidos en las parcelas. Los números en negrita denotan correlaciones marginalmente significativas (\*\*=P<0.05) o muy significativas (\*\*\*)P<0.01).....16

## Resumen:

La evaluación de la capacidad de los ecosistemas para proveer el servicio de regulación de plagas debe contemplar tanto aspectos biofísicos como de percepción de beneficios por los agricultores. Dicho servicio ha sido relativamente poco estudiado en bosques tropicales secos a pesar de la importancia de este bioma y de su alto grado de amenaza por transformación con fines agropecuarios. El objetivo de este estudio fue evaluar cuatro aspectos del servicio ecosistémico de regulación de plagas de maíz en zonas modificadas de bosque tropical seco: 1) el impacto de las plagas sobre el cultivo; 2) la oferta del servicio en términos biofísicos; 3) el papel relativo de la cobertura forestal y del manejo de las parcelas en la oferta del servicio; y 4) la percepción de los campesinos respecto a la oferta del servicio. Para ello elegimos ocho parcelas de maíz en los alrededores de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México, ubicados en paisajes con diferentes coberturas vegetales. En cada una de las parcelas monitoreamos de julio a noviembre de 2016: 1) el daño al cultivo ocasionado por las plagas; 2) los niveles de ataque por enemigos naturales a larvas artificiales de lepidóptero; y 3) la comunidad de artrópodos terrestres. Para evaluar el papel del bosque y del manejo local sobre la oferta del servicio, correlacionamos las variables medidas en campo con la cobertura de bosque tropical seco, la distancia al bosque, un índice de intensidad de manejo y la cobertura vegetal dentro de la parcela. Adicionalmente, entrevistamos a los propietarios de las parcelas respecto a la identidad e importancia de las plagas que atacan al maíz, los factores ambientales que los favorecen así como la identidad y efectividad de los enemigos naturales de las plagas de artrópodos. Los daños al maíz provocados por insectos fueron importantes a principios de la temporada, en tanto que los provocados por mamíferos incrementaron al final. La actividad de enemigos naturales, medida como los niveles de ataque de enemigos naturales a larvas artificiales, incrementó al final de la temporada, siendo mayor la de artrópodos que la de aves. La comunidad de artrópodos presentó una alta diversidad de enemigos naturales y herbívoros tanto en agosto como en octubre, aunque su relación con los niveles de daño al maíz y actividad de enemigos naturales fue difusa. Los factores locales como la intensidad en el manejo y la estructura de la vegetación dentro de la parcela fueron más importantes que la cobertura de bosque en los alrededores de la parcela para la cantidad de arañas y lepidópteros. Por su parte, los propietarios consideran menos nocivos a los artrópodos que a los mamíferos, aunque varios de éstos últimos les sirven como alimento, a la vez que reconocen la existencia del servicio de regulación de plagas provisto por aves y avispas, aunque sus beneficios netos son insignificantes

para ellos. A pesar de que el bosque tropical seco de la región puede contribuir a la regulación de plagas de maíz, las pérdidas provocadas por herbívoros nativos también representan un diservicio importante. Se requiere de múltiples intervenciones para optimizar el servicio de regulación de plagas ejercido por enemigos naturales nativos hasta niveles de beneficio tangibles para los campesinos.

## Abstract:

Assessing ecosystem capacity to provide pest regulation services should include both biophysical aspects and perceptions of benefits by farmers. This service has been relatively little studied in tropical dry forests despite the importance of this biome and its high degree of threat by transformation for agricultural purposes. The aim of this study was to assess four aspects of the maize pest regulation ecosystem services in modified areas of tropical dry forest: 1) the impact of pests on the crop; 2) the service offer in biophysical terms; 3) the relative role of forest cover and plot management on the service offer; 4) farmer's perception of the service offer. For this, we chose eight plots located in landscapes with different vegetation cover around the Chamela-Cuixmala Biosphere Reserve, Jalisco, Mexico, in each of which we monitored from July to November 2016: 1) damage to crops caused by pests; 2) attack levels on artificial lepidopteran larvae; and 3) terrestrial arthropods community. In order to assess the role of forest cover and local management on the service offer, we correlated the variables measured on the field with the coverage of dry tropical forest, the distance to the forest, a management intensity index and the vegetation cover within the plot. In addition, we interviewed plot owners about the identity and importance of maize pests, the environmental factors that favor them, as well as the identity and effectiveness of natural enemies of arthropod pests. Damage to maize caused by insects was significant at the beginning of the season, while those caused by mammals increased in the end. The activity of natural enemies, measured as the levels of attack to artificial larvae, increased at the end of the season, being greater that of arthropods than the one of birds. The arthropod community presented a high diversity of natural enemies and herbivores both in August and October, although their relationship with levels of maize damage and natural enemies activity was diffuse. Local factors such as management intensity and vegetation structure within the plot were more important than forest cover for the number of spiders and Lepidoptera. Landowners, on the other hand, consider arthropods less harmful than mammals, although the latter serve as food, while recognizing the existence of the pest regulation service provided by birds and wasps, although their net benefits are insignificant for them. Although the dry tropical forest of the region may contribute to the maize pest regulation, losses by native herbivores also represent a major dis- service. Multiple interventions are required to optimize the pest regulation service exercised by native natural enemies to tangible levels of benefit to farmers.

## 1. Introducción

### 1.1. Generalidades del servicio de regulación de plagas

El aprovechamiento del servicio ecosistémico de regulación de plagas agrícolas, consistente tanto en la conservación de hábitat natural como en el cambio de prácticas de manejo para promover la presencia de enemigos naturales en los cultivos, es una posible alternativa para sostener la producción agrícola a la vez que se evitan los impactos ambientales negativos asociados al uso de pesticidas y demás prácticas de la agricultura convencional (Bianchi *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007; Garbach *et al.*, 2014). Los remanentes de vegetación natural sirven como hábitat para depredadores y parasitoides de plagas por lo que, en general, una alta proporción de vegetación natural alrededor de las parcelas agrícolas tiende a relacionarse con una mayor oferta del servicio de regulación de plagas (Hawkins *et al.*, 1999; Bianchi *et al.*, 2006; Chaplin-Kramer *et al.*, 2011; Rusch *et al.*, 2016). Así mismo, factores a nivel de parcela tales como una alta diversidad de la vegetación, el cultivo de recursos complementarios, el uso de insumos orgánicos y otras prácticas de manejo del hábitat también promueven la presencia de enemigos naturales e incrementan sus beneficios (Altieri, 1999; Landis *et al.*, 2000; Letourneau *et al.*, 2011).

La evaluación de la disponibilidad y utilidad del servicio de regulación de plagas debe considerar aspectos tanto de la capacidad biofísica del ecosistema para su provisión como de los beneficios recibidos por los agricultores (Bianchi *et al.*, 2006; Karp *et al.*, 2013). Algunos componentes clave son la abundancia de enemigos naturales y de plagas, el impacto de las plagas sobre los cultivos, el nivel de supresión de plagas por parte de los enemigos naturales y el impacto de la actividad de los organismos reguladores sobre el rendimiento del cultivo (Bianchi *et al.*, 2006). También es importante determinar la contribución relativa tanto de la cobertura de vegetación circundante como del manejo de las parcelas a la presencia y actividad de enemigos naturales y plagas (Woltz *et al.*, 2012; Karp *et al.*, 2013; Schellhorn *et al.*, 2015). Complementariamente, el conocimiento de la percepción que los campesinos tienen sobre la utilidad de los servicios es importante para tener una visión de conjunto del valor de la conservación y establecer prioridades para el manejo adaptativo de los ecosistemas en pro de sus beneficiarios (Bennett, 2016).

Aunque en general una alta biodiversidad es benéfica para la regulación de plagas y por lo tanto para los campesinos, existen múltiples situaciones y procesos en las que esto no se cumple y que por tanto hacen más compleja la tarea de evaluar el servicio. Por ejemplo, es común que los

remanentes de vegetación no sólo no provean de suficientes enemigos naturales para una regulación efectiva, sino incluso son fuente de las plagas que afectan a los cultivos (Norrays y Kogan, 2000; Zhang et al., 2007; Blitzers et al., 2012). En otros casos, los animales considerados como plagas son al mismo tiempo apreciados como recursos por los campesinos (véase Lele *et al.*, 2013; Saunders *et al.*, 2016; Ramussen *et al.*, 2017), de manera que se vuelve necesario un análisis más minucioso de las relaciones entre cada uno de los componentes del proceso de regulación de plagas para prescribir prioridades de manejo de los ecosistemas.

## 1.2 El servicio de regulación de plagas en bosques tropicales secos

Un buen sistema para el estudio de este servicio ecosistémico son los bosques tropicales secos, ya que constituyen el 42% de las zonas forestales tropicales y subtropicales (Murphy y Lugo, 1986), y su creciente transformación para la realización de actividades agropecuarias genera mosaicos paisajísticos que albergan una importante biodiversidad con el potencial de contribuir a la regulación de plagas (Miles *et al.*, 2006; Chazdon *et al.*, 2011). Por ejemplo, hay registros de enemigos naturales potenciales (p. ej. Delfín-González *et al.*, 2007; Hanson, 2011) y se ha estudiado la capacidad de la vegetación del bosque tropical seco para albergarlos y proveerlos a los cultivos (p. ej. Rosetti *et al.*, 2013; González *et al.*, 2014; González *et al.*, 2015). Así mismo, se ha documentado la interacción entre ciertas plagas y sus respectivos enemigos naturales a nivel de parcela (p. ej. Souza *et al.*, 2012; Aluja *et al.*, 2014) y la distribución de los enemigos naturales a nivel del paisaje (p. ej. Suazo-Ortuño *et al.*, 2008; Chazdon *et al.*, 2011). No obstante, a pesar de su importancia y de la urgencia por valorarlo para promover su conservación, el servicio de regulación ha sido relativamente poco estudiado en este ecosistema en comparación con otros, como los bosques tropicales húmedos (Balvanera *et al.*, 2011).

## 2. Objetivo

El objetivo de este estudio fue evaluar el servicio ecosistémico de regulación de plagas de maíz en zonas de bosque tropical seco modificadas para la agricultura, considerando tres aspectos: 1) la oferta de tres componentes ecológicos (comunidad de artrópodos, actividad de potenciales enemigos naturales de larvas de lepidópteros y el daño sobre el cultivo provocado por las plagas); 2) el papel relativo de la cobertura forestal y del manejo de las parcelas en la oferta del servicio; y

3) la percepción de los campesinos respecto a la contribución del bosque a la regulación de las plagas.

### 3. Antecedentes

Realizamos el estudio en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, ubicada en la costa del Pacífico del sur del estado de Jalisco, región que tiene bosque tropical seco como vegetación dominante (Durán *et al.*, 2002). Sus alrededores han sido transformados principalmente para actividades agropecuarias, a pesar de lo cual conservan altos porcentajes de la vegetación original (Castillo *et al.*, 2009). La agricultura de la región consiste en cultivos de riego (principalmente sandía, papaya, jitomate y chile) en las llanuras cercanas a la costa, así como cultivos de maíz de temporal en las zonas altas, principalmente destinados al autoconsumo y a alimentar ganado (Castillo *et al.*, 2009). En el bosque conservado, así como en bosques secundarios en distintas etapas sucesionales, se ha documentado la presencia de animales nativos que pueden estar contribuyendo a la regulación de plagas agropecuarias. Entre estos figuran artrópodos, anfibios, reptiles, aves y murciélagos insectívoros (Rodríguez-Palafox y Corona, 2002; Suazo-Orduño *et al.*, 2008; Avila-Cabadilla *et al.*, 2009; Chazdon *et al.*, 2011; Avila-Cabadilla *et al.*, 2012).

### 4. Metodología

#### 4.1. Selección de parcelas

Para estudiar el impacto de las plagas y la oferta del servicio de regulación en la región, situamos parcelas de 50 x 50 m al centro de ocho diferentes parcelas de maíz amarillo de al menos una hectárea de extensión, situadas en torno a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (Figura 1), con distintas coberturas relativas de bosque tropical seco en un radio de 500m.



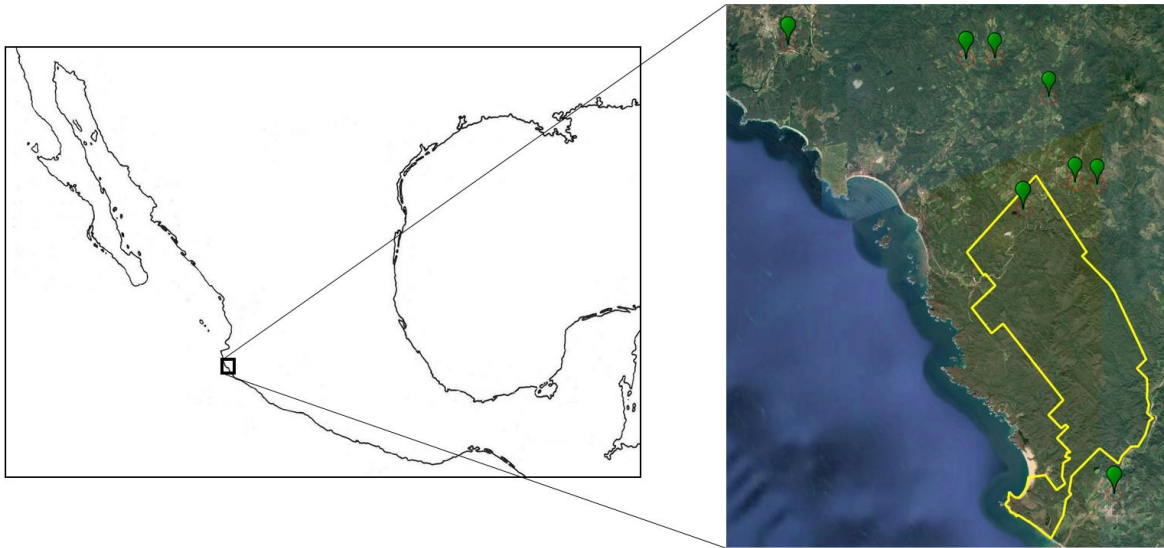


Figura 1. Ubicación de la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala y de las parcelas.

#### 4.2. Impacto de las plagas sobre los cultivos

Para determinar el impacto de las plagas, entendiendo por plaga a cualquier animal que se alimenta del cultivo en cualquier etapa desde la siembra hasta la cosecha, visitamos mensualmente las parcelas entre julio y noviembre. En cada parcela elegimos 50 plantas de maíz al azar, de cada una de las cuales estimamos: 1) el porcentaje de superficie foliar comida o lesionada en la primera hoja de arriba hacia abajo con el collar del pistilo al descubierto y 2) la proporción de daño al meristemo apical (cogollo). Con ello formamos una escala de cuatro categorías de daño adaptadas para este estudio a partir de la escala visual desarrollada por Fernández (2002): Tipo I, con menos de 20% de daño foliar; Tipo II, con 20% a 50% de daño foliar y/o con daño en el cogollo menor al 20%; Tipo III, con 50% a 70% de daño foliar y/o de 20% a 50% de daño al cogollo; y Tipo IV, con más de 70% de daño foliar y/o con más de 50% de daño al cogollo. Adicionalmente, en cada muestreo recorrimos cada parcela y contamos el número total de plantas, así como el número de plantas derribadas por mamíferos. A partir del número total de plantas y de los porcentajes de plantas dañadas estimamos el número de plantas con las distintas gravedades de daño consideradas por muestreo.

#### 4.3. Componentes ecológicos de la oferta del servicio de regulación

Para estimar el nivel de actividad de enemigos naturales potenciales de las plagas, elaboramos larvas artificiales con masa casera para moldear Play Doh<sup>®</sup> adaptadas a partir del método utilizado por Solis-Gabriel *et al.* (2017), de 3 mm de ancho por 3 cm de largo, cuyas dimensiones y colores imitaban a los del gusano cogollero (*Lepidoptera: Spodoptera frugiperda*), previamente identificado como una de las plagas más importantes en la región. En cada visita mensual, colocamos 100 larvas artificiales, una por planta separada entre sí cada 5 m, en la mitad del haz de la primera hoja de arriba hacia abajo con el collar del pistilo al descubierto. Las larvas fueron dejadas por 24 horas, luego de lo cual contamos el número de ejemplares con marcas de ataque y las clasificamos en ataques por ave y ataques por artrópodos (Figura 2).



Figura 2. Larva artificial colocada sobre una hoja de maíz. Se aprecian marcas de ataque en su extremo derecho.

Para estudiar el proceso de regulación en términos de la presencia de artrópodos plaga y enemigos naturales, en agosto y octubre colocamos trampas de caída de 7 cm de diámetro por 10 cm de largo llenas en tres cuartas partes de alcohol al 70% y jabón, en seis de las parcelas en un arreglo cuadrado de una trampa cada 20 m. Las trampas fueron dejadas durante tres días, luego de lo cual se enfrascaron los artrópodos. Los ejemplares capturados fueron identificados a nivel de orden o familia, separados en morfoespecies y clasificados en herbívoros, enemigos naturales (depredadores y parasitoides) y detritívoros. Como indicadores relevantes calculamos el Índice de

Diversidad de Simpson y determinamos 1) el número de especies y abundancia de enemigos naturales; 2) abundancia de herbívoros; 3) proporción de enemigos naturales con respecto al número de herbívoros; 4) número de especies y abundancia de avispas; 5) número de especies y abundancia de arañas; 6) número de especies y abundancia hormigas depredadoras y parasitoides; y 7) abundancia de lepidópteros.

#### 4.4. Papel relativo del bosque circundante y del manejo de parcela

Para estimar el papel del bosque tropical seco, empleamos imágenes satelitales de *Google Earth* de principios de 2016, de la región de Chamela-Cuixmala, con las que se calculó la proporción de bosque tropical seco en torno a cada parcela en un radio focal de 500 m, sin hacer distinción entre estadios sucesionales medios y tardíos ni entre comunidades vegetales diferenciadas en otros estudios (p. ej. bosque de ribera, selva media subcaducifolia, etc.).

Para estimar el grado de intensidad del manejo, para cada parcela registramos: 1) el número inicial de plantas cultivadas; 2) los años de uso a partir del desmonte; 3) el número de aplicaciones de insecticidas por ciclo de cultivo; 4) el número de aplicaciones de herbicidas por ciclo de cultivo; 5) el tipo de manipulación del suelo, en una escala ordinal (0=primera siembra con coa, 1=varios años de siembra con coa, 2= varios años de siembra con tractor, 3= varios años de siembra con doble paso del tractor); 6) la cobertura de herbáceas dentro de la parcela, calculada visualmente a partir de la división de la parcela en cuadros de 5 x 5 m. Con el objetivo de reducir las variables en un sólo índice de intensidad en el manejo de parcela, para cada variable restamos el valor mínimo y dividimos entre el rango, luego de lo cual hicimos un análisis de componentes principales. Usamos los *scores* del primer componente principal como valores del índice de intensidad en el uso del suelo, se acuerdo a Mas y Dietsch (2003), Hernández-Martínez (2009) y Armengot *et al.* (2011). Calculamos el índice de correlación de Spearman entre los *scores* de componente principal y los valores de cada parcela para elegir a aquellas que pudieran ser utilizadas como variable explicativa extra.

Para encontrar patrones de asociación del paisaje y el manejo local con la oferta del servicio, realizamos correlaciones de Pearson entre 1) cobertura de bosque, distancia al bosque, índice de intensidad del manejo y la cobertura vegetal como variables explicativas, e 2) Índice de Diversidad de Simpson, número de especies y abundancia de distintos grupos (enemigos naturales, herbívoros,

avispas, hormigas depredadoras, arañas y lepidópteros), y proporción de la abundancia de enemigos naturales con respecto a la de herbívoros como variables de respuesta.

Para encontrar patrones de asociación entre la diversidad de artrópodos y de enemigos naturales con el grado de actividad de enemigos naturales y la abundancia de plagas, hicimos correlaciones de Pearson entre 1) Índice de Diversidad de Simpson, número de especies de enemigos naturales y abundancia de enemigos naturales como variables explicativas y 2) porcentaje de ataques a larvas artificiales en octubre, abundancia de lepidópteros, y abundancia de herbívoros como variables de respuesta.

Para encontrar patrones de asociación entre la actividad y presencia de los distintos grupos de enemigos naturales y la presencia de las plagas, hicimos correlaciones de Pearson entre 1) número de especies y abundancia de avispas, de hormigas depredadoras y parasitoides y de arañas; y porcentaje de larvas artificiales atacadas en octubre como variables explicativas, y 2) abundancia de lepidópteros y abundancia de herbívoros como variables de respuesta.

Para encontrar patrones de asociación entre la presencia de plagas su el impacto sobre los cultivos, hicimos correlaciones de Pearson entre 1) abundancia de lepidópteros y abundancia de herbívoros como variables explicativas y 2) el porcentaje de daños graves por artrópodos como variable de respuesta.

Dado el limitado número de réplicas, usamos como el criterio de validación usado por Zermeño-Hernández *et al.* (2015), consistente en quitar una réplica en cada correlación para determinar si los modelos se mantenían significativos, repitiendo el procedimiento para los ocho modelos de correlación posibles. Usando una prueba de  $X^2$  ( $p < 0.05$ , g.l.=1) probamos si la frecuencia de modelos significativos para cada correlación era mayor a la esperada por azar (50% de los casos). Si esto ocurría en más de la mitad de las correlaciones posibles entonces la prueba era dada por válida.

#### 4.5. Percepción de los campesinos

Para conocer la percepción de los campesinos sobre el servicio de regulación de plagas, realizamos entrevistas semiestructuradas a los ocho dueños de las parcelas en las que trabajamos (Anexo 1). Acotamos el grupo focal considerando que el acercamiento previo con estos campesinos permitió un grado de confianza y calidad de la información revelada en las entrevistas que no se lograría con campesinos recién conocidos. Con base en entrevistas piloto, se les preguntó sobre a)

la identidad de las plagas que atacan al maíz, con énfasis en *S. frugiperda*, el “gusano arrasador” (*Mocis* sp.), mamíferos y aves; b) el momento de la temporada de siembra en que atacan; c) el nivel de daño que provocan; d) la existencia y grado de efectividad de enemigos naturales de los gusanos, y e) la influencia del bosque sobre la presencia de herbívoros y sus enemigos naturales (para el caso del gusano cogollero y del gusano arrasador).

## 5. Resultados

### 5.1. Impacto de las plagas sobre los cultivos

El porcentaje de pérdidas de plantas respecto al total inicial y sin distinguir entre las causas fue muy variado, siendo de 7% hasta un 88 %, sufriendo la mayoría de parcelas pérdidas de alrededor de 20% (Figura 3, A).

A lo largo de la temporada, la mayor parte de las plantas de maíz sufrieron daños mínimos por artrópodos (tipos I y II), siendo en general menos de 10 % de las plantas las que presentaron daños graves (tipo III y IV) (Figura 3, B). Los daños acumulados tipo III y IV llegaron hasta 29%, comenzando a ser importantes desde julio, en tanto que los daños por mamíferos llegaron a un promedio de 17%, aunque con una gran variabilidad (Figura 3, C).

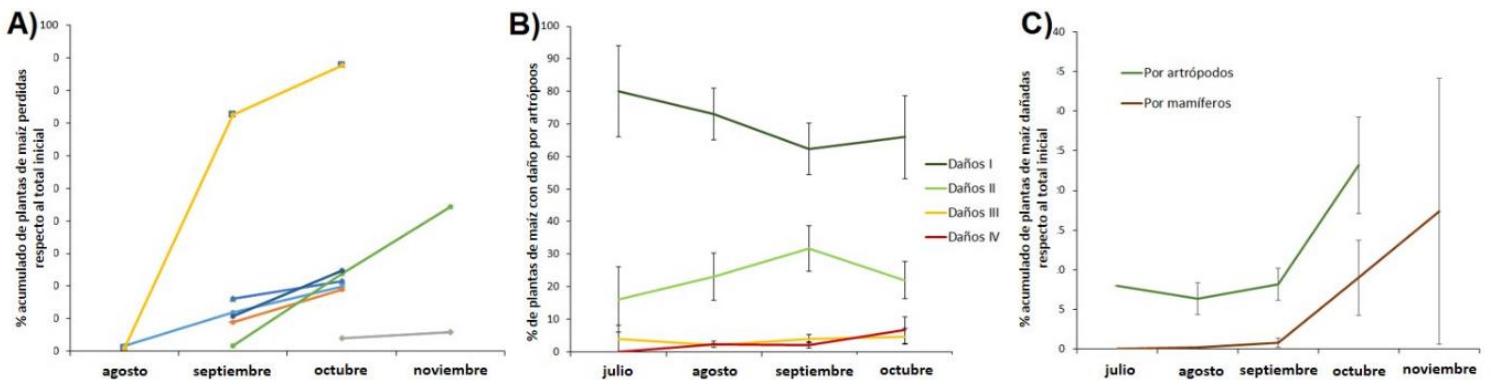


Figura 3. Temporalidad de los daños al maíz, desglosados en A) porcentaje acumulado de plantas perdidas en cada mes para cada parcela; B) porcentaje de plantas con daño de nivel I, II, III y IV de daño por artrópodos; y C) porcentaje acumulado de plantas daños graves (tipo III y IV) por

artrópodos y de plantas perdidas por ataque de mamíferos. Las barras de error denotan error estándar.

## 5.2. Componentes ecológicos del proceso de regulación

### 5.2.1 Actividad de enemigos naturales

La actividad de enemigos naturales potenciales estimado a través del porcentaje de larvas artificiales con marcas de ataque fue de 3.5% en el mes de julio, disminuyendo en agosto hasta 2.3% para aumentar los siguientes meses, alcanzando 7.2% en octubre (Figura 4, A). El porcentaje de ataques por aves disminuyó de julio a octubre, incrementándose el de artrópodos (Figura 4, B).

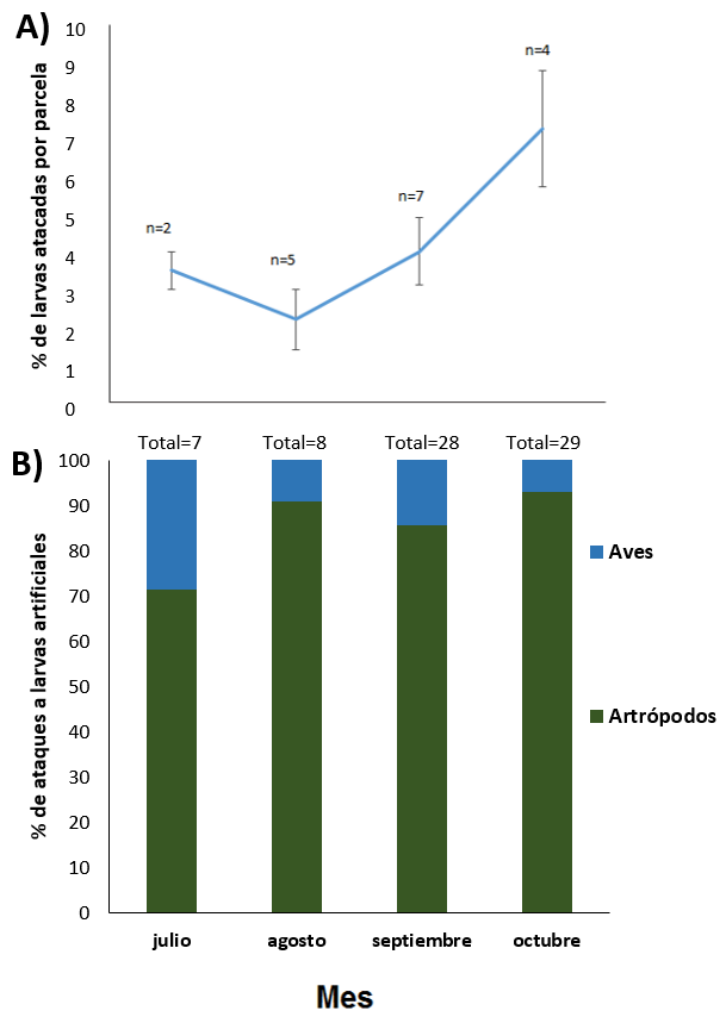


Figura 4. Actividad de enemigos naturales en cada mes, medida como el porcentaje de ataque a larvas artificiales (A) y porcentaje del total de ataques a larvas artificiales en cada mes realizadas por artrópodos y aves (B). Las cifras encima de las barras de error en "A" indican el número de parcelas

consideradas en cada mes. Las cifras encima de las barras en “B” indican el número total de orugas con daño en cada mes en el correspondiente número de parcelas señalado en “A”.

### 5.2.2 Estructura de la comunidad de artrópodos

Los principales grupos de enemigos naturales colectados fueron los himenópteros (avispa y hormigas), arañas, dípteros y coleópteros, en tanto que los de herbívoros asociados al maíz fueron los hemípteros, coleópteros, homópteros y lepidópteros (Figura 5).

Para las seis parcelas se colectó una cantidad semejante de morfoespecies entre ambos meses, con una mayor cantidad de morfoespecies de lepidópteros en agosto y una mayor de homópteros en Octubre (Figura 5, A). La abundancia también fue semejante entre ambos meses, aunque hubo una ligera disminución en la abundancia de herbívoros en octubre, de entre los cuales la abundancia de lepidópteros se redujo a casi una décima parte, en tanto que la proporción de enemigos naturales incrementó, especialmente en cuanto a himenópteros y arañas (Figura 5, B).

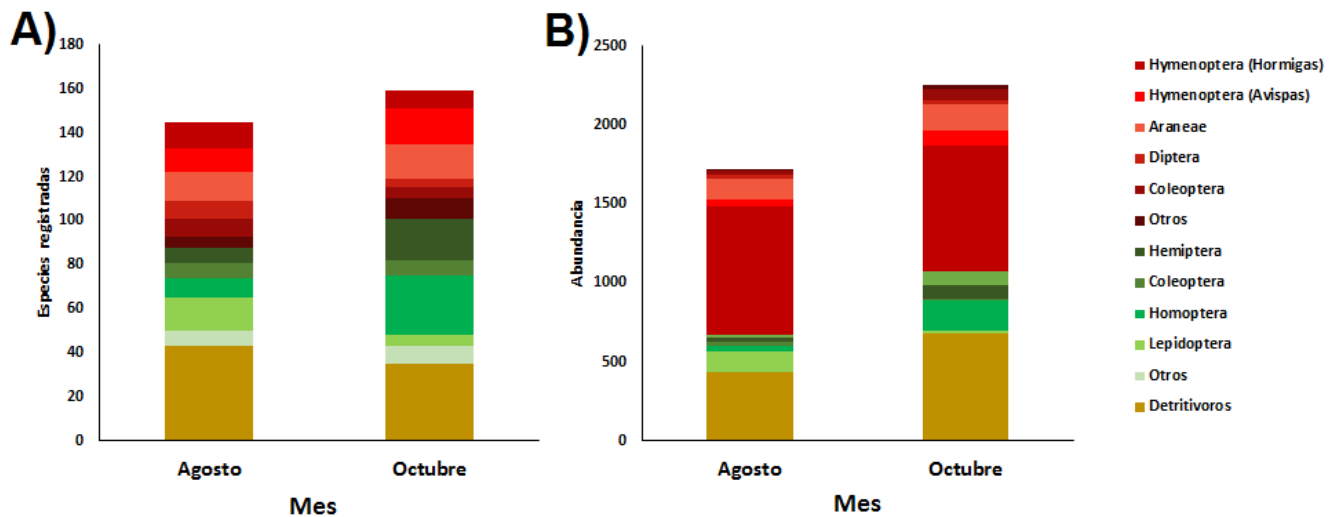


Figura 5. Estructura de la comunidad de artrópodos en agosto y octubre en términos del número de especies colectadas (A) y de la abundancia de cada especie B). Con color rojo se señala a las especies de enemigos naturales, con verde a los herbívoros y con amarillo a los detritivos.

### 5.3. Papel relativo del bosque y del manejo de parcela

#### 5.3.1 Caracterización de las parcelas

El Análisis de Componentes Principales para las variables relacionadas con el manejo de la parcela a nivel local explicó el 84.7% de la varianza, de la que el Componente Principal 1 (CP1) explicó el 72.4% y el Componente Principal 2 (CP2) un 12.3% (Figura 6). Todas las variables estuvieron significativamente correlacionadas con el CP1 o CP2 (g.l.=6;  $p < 0.05$ ). Se observa una importante variación a lo largo del CP1, con un extremo conformado por tres parcelas caracterizadas por un gran nivel de manipulación del suelo y uso de herbicida, además de muchos años desde el desmonte del bosque original (Figura 6). A lo largo del CP2 las parcelas varían principalmente en función del número inicial de plantas, la aplicación de insecticidas y la cobertura de vegetación en su interior. Elegimos la cobertura vegetal dentro de la parcela como otra variable explicativa de los indicadores del servicio debido a su variación entre parcelas y a que se ha documentado como un factor importante para la diversidad de enemigos naturales (Landis *et al.*, 2000).

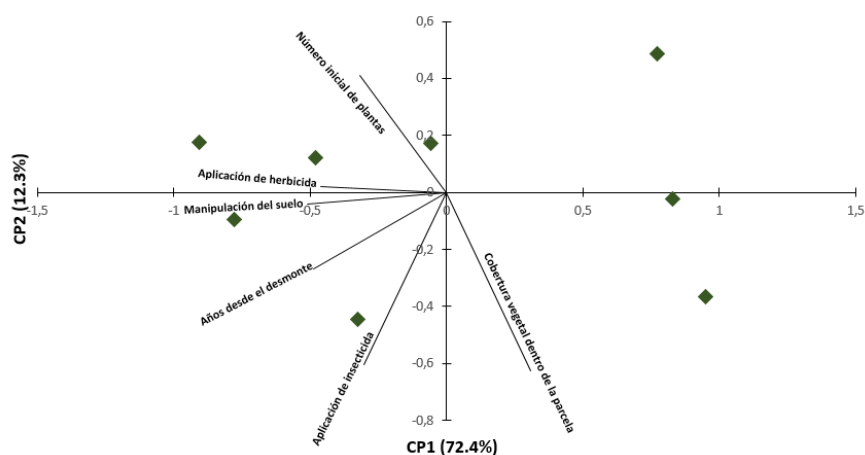


Figura 6. Análisis de Componentes Principales realizado a partir de las variables indicadoras de la intensidad del manejo a nivel local de las ocho parcelas estudiadas en octubre de 2016. Los vectores corresponden a las variables significativamente correlacionadas con el CP1 o CP2 (g.l.=6;  $p < 0.05$ ).



### 5.3.2. Correlaciones con las variables a nivel de parcela y de paisaje

La proporción de bosque estuvo positivamente correlacionada ( $p>0.05$ ) con el número de especies de avispas, en tanto que la intensidad de manejo estuvo positivamente correlacionada ( $p>0.05$ ) con la abundancia de lepidópteros (Tabla 1). Por su parte, la distancia al bosque estuvo positivamente correlacionada ( $p>0.05$ ) con la Diversidad de Simpson, la cantidad de especies de avispas y la cantidad de avispas (Tabla 1). La cobertura vegetal en la parcela estuvo positivamente correlacionada con el número de especies de arañas ( $p>0.05$ ) (Tabla 1). El número de especies de enemigos naturales estuvo positivamente correlacionado ( $p>0.05$ ) con el porcentaje de larvas atacadas en octubre y la abundancia de avispas depredadoras está positivamente correlacionada ( $p>0.05$ ) con la abundancia de herbívoros (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables ambientales y los componentes del servicio medidos en las parcelas. Los números en negrita denotan correlaciones marginalmente significativas (\*\*=P<0.05) o muy significativas (\*\*P<0.01).

Variables de la comunidad de artrópodos	Factores de configuración de paisaje y manejo de parcela			
	Porcentaje de bosque	Distancia al bosque	Intensidad del manejo	Cobertura de la vegetación en la parcela
Diversidad de Simpson	-0.411	<b>**0.438</b>	0.460	0.230
Número de especies de enemigos naturales	-0.984	0.417	-0.432	-0.057
Abundancia de enemigos naturales	-0.532	0.117	-0.616	-0.225
Proporción enemigos naturales/herbívoros	0.425	-0.211	0.357	0.264
Número de especies de arañas	0.196	-0.404	0.206	<b>**0.366</b>
Abundancia de arañas	-0.159	0.277	-0.007	-0.720
Número de especies de avispas depredadoras o parasitoides	<b>**0.739</b>	<b>**0.711</b>	-0.478	-0.248
Abundancia de avispas depredadoras o parasitoides	-0.572	<b>**0.801</b>	-0.181	-0.047
Número de especies de hormigas depredadoras	-0.340	0.468	-0.309	-0.254
Abundancia de hormigas depredadoras	0.116	-0.135	-0.634	-0.328
Porcentaje de orugas dañadas	-0.027	-0.058	-0.327	-0.184
Abundancia de herbívoros	-0.479	0.601	-0.264	0.137
Abundancia de lepidópteros	-0.193	-0.224	<b>**0.708</b>	<b>***0.937</b>

Ataques a plagas y presencia de plagas	Diversidad de la parcela y de enemigos naturales			Impacto sobre el cultivo	Presencia de las plagas		
	Diversidad de Simpson	Número de especies de enemigos naturales	Abundancia de enemigos naturales		Proporción enemigos naturales/herbívoros	Abundancia de herbívoros	Abundancia de lepidópteros
Porcentaje de ataques a larvas artificiales	0.013	<b>**0.825</b>	0.233	Porcentaje de daños graves por artrópodos	0.05	-0.281	0.344
Abundancia de lepidópteros	0.125	0.063	0.601				
Abundancia de herbívoros	-0.329	0.233	0.224				

Presencia de plagas	Presencia de enemigos naturales						
	Número de especies de arañas	Abundancia de arañas	Número de especies de avispas depredadoras o parasitoides	Abundancia de avispas depredadoras o parasitoides	Número de especies de hormigas depredadoras	Abundancia de hormigas depredadoras	Porcentaje de orugas dañadas
Abundancia de herbívoros	-0.281	0.344	0.080	*0.718	0.611	0.396	-0.228
Abundancia de lepidópteros	-0.120	-0.582	0.258	-0.198	0.167	0.374	0.418

#### 5.4. Percepción de los campesinos

Las plagas más referidos en las entrevistas fueron los pericos (*Aratinga canicularis*, *Forpus cyanopygius*, *Amazonia finschi* y *A. oratrix*), el gusano cogollero (*S. frugiperda*) y el pecarí (*Pecari tajacu sonoriensis*) con ocho menciones, seguidos del coatí (*Nasua narica molaris*) y mapache (*Procyon lotor hernandezii*), con siete; el venado (*Odocoileus virginianus sinaloae*), con cinco; el coyote (*Canis latrans vigilis*) y el “gusano arrasador” (*Mocis* sp.), con cuatro; el zorro (*Urocyon cinereoargenteus nigristrois*), con tres; el pichichi (*Dendrocygna autumnalis*), el zanate (*Quiscalus mexicanus*), las palomas (*Patagioenas flavirostris*, *Zenaida asiática*, *Leptotila verreauxi* y *Geotrygon moritana*) y el filerillo (*Diabrotica* sp.) con dos; y los tlacuaches (*Didelphis virginiana californica* y *Tlacuatzin canescens*), los tordos (*Agelaius phoeniceus*, *Molothrus aeneus* y *M. ater*) y la gallinilla (*Phallophaga* sp.) con una (Figura 7).

Las plagas más referidas como causantes de pérdidas más graves en ausencia de cuidado activo del cultivo son el gusano arrasador, el gusano cogollero, el coatí, el coyote, el pecarí, el mapache y los pericos (Figura 7). Aún con cuidado activo los mamíferos referidos siguen provocando daños graves y moderados. Las gallinillas, tlacuaches y tordos son referidos como causantes de daños mínimos e incidentales. A los artrópodos se les controla mediante aplicación de insecticidas, en tanto que a las aves y a los mamíferos se les ahuyenta con vigilancia activa. Todos los mamíferos menos el coyote son fueron referidos como fuentes de alimento, aún de manera ocasional.

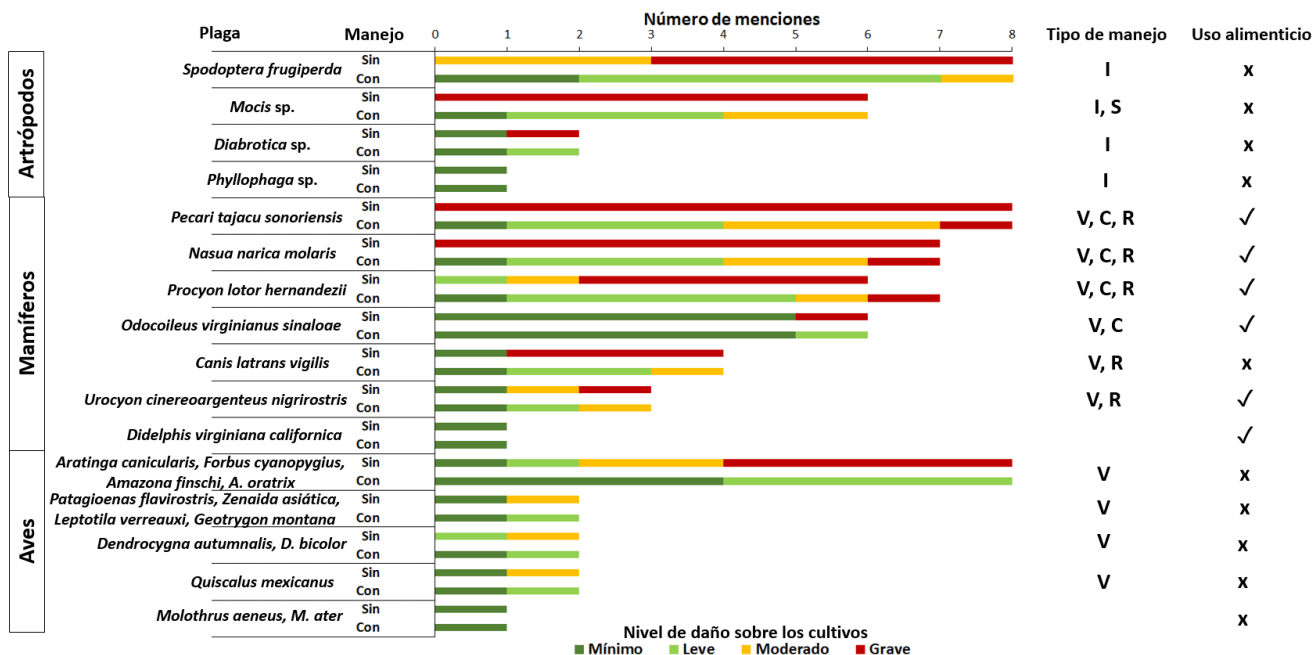


Figura 7. Número de menciones entre los campesinos entrevistados respecto a las plagas que perjudican al maíz, y el daño que provocan con y sin manejo por parte de los campesinos (I=intesticida, S=plegaria al sacerdote, V= vigilancia, C=cacería, R= repelentes).

Tanto para el gusano cogollero como para el gusano arrasador hubo menciones de que los campos de cultivo y pastizales circundantes favorecen su presencia en el maíz, y que la lluvia inhibe su proliferación (Figura 8, A y B). Sólo para el gusano arrasador hubo menciones de que el bosque circundante favorece su presencia. Tanto para el gusano cogollero como para el arrasador hubo menciones de enemigos naturales conocidos.

Tanto para mamíferos como para aves, los campesinos dijeron que proceden del bosque circundante y la humedad favorece su presencia (Figura 8, C y D), aunque los ejidatarios fueron enfáticos en que dichos organismos son capaces de moverse a grandes distancias desde el bosque hasta zonas cultivadas. Se mencionó que la presencia de aves es favorecida por la cantidad de cultivos en los alrededores, contrario a los mamíferos de los que se percibe una menor presencia cuantos más cultivos circundantes hay.

Los ejidatarios refieren que el maíz tiene pérdidas desde el momento de la siembra debido a mamíferos y aves que desentierran y comen las semillas (Figura 8, E). Las únicas plagas que se alimentan de las partes vegetativas durante el desarrollo (primer y segundo mes) son el gusano

cogollero y el gusano arrasador. El estadio más atacado por las plagas es cuando las mazorcas de maíz están tiernas, siendo pecaríes, pericos, coatíes y mapaches las más referidas.

Los enemigos naturales referidos del gusano cogollero y del arrasador son los mismos: hormigas, avispas y aves, siendo estas últimas las más referidas (Figura 8, F). Tanto para avispas como para aves se mencionó que es el bosque el que promueve su presencia. Se refirió que los enemigos naturales mencionados aparecen en cuanto aparecen las plagas.

Los siete ejidatarios que reconocieron la existencia de enemigos naturales perciben también que la presencia de dichos organismos en los cultivos les es benéfica debido a su actividad supresora de plagas, aunque la cantidad de organismos plaga comidos por éstos es muy pequeña y por ende el beneficio de los enemigos naturales es mínimo.

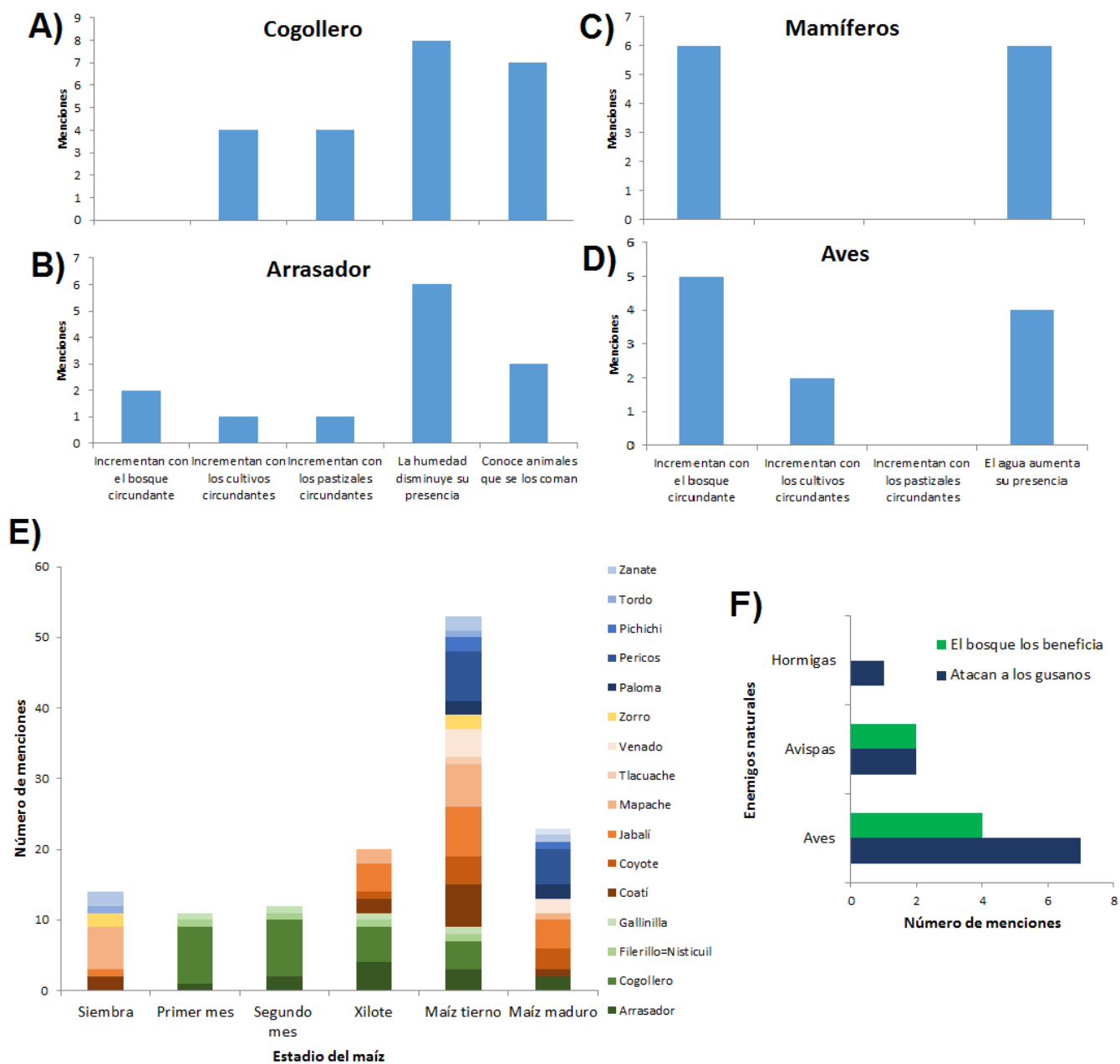


Figura 8. Número de menciones entre los campesinos entrevistados respecto los factores ambientales que condicionan a A) el gusano cogollero, B) el gusano arrasador, C) mamíferos y D) aves; E) el estadio de desarrollo del maíz en que causan perjuicios; y F) los enemigos naturales de los artrópodos y su relación con el bosque tropical seco circundante.

## 6. Discusión

### 6.1. Interpretación de resultados locales

En el presente estudio de caso, se encontró que el servicio de regulación de plagas en este sistema es muy limitado. Una gran parte del daño al cultivo es provocada por artrópodos en los primeros meses de la temporada, en que hay mayores abundancias de lepidópteros (siendo presumiblemente *S. frugiperda* el responsable de la mayor parte de los daños) a la vez que los niveles de actividad de enemigos naturales, en términos de los ataques a larvas artificiales, son relativamente bajos. Esto a pesar de que la proporción del número de enemigos naturales potenciales con respecto al número de plagas se mantiene relativamente alta desde agosto y, para grupos particulares como las avispas, de hecho aumenta en octubre.

La alta abundancia observada de enemigos naturales potenciales podría ser un indicador de una regulación de plagas importante, pero no es una evidencia suficiente. La proporción en el número de enemigos naturales con respecto al de plagas se ha utilizado como indicador de la efectividad del control biológico (p. ej. Cebolla et al., 2009). Sin embargo, es indispensable confirmar qué enemigos naturales potenciales realmente atacan y, más aún, cuáles tienen impacto significativo sobre las densidades de plagas. Ya se ha documentado que, aunque exista una gran diversidad de enemigos naturales activos, en general son pocos o ninguno los realmente efectivos para suprimir significativamente los niveles de infestación (Tscharntke *et al.*, 2016). De hecho, en este sistema, encontramos una correlación positiva entre la abundancia de avispas y la abundancia de todos los herbívoros, y ninguna correlación con la densidad de lepidópteros, lo que sugiere que las avispas no están controlando efectivamente las plagas, a pesar de que las avispas son importantes enemigos naturales de organismos como el propio *S. frugiperda* (Bahena y Cortes, 2015). La depredación intragremio puede limitar la capacidad de los propios enemigos naturales efectivos para regular a las plagas (Polis *et al.*, 1989; Davey, 2013), fenómeno que probablemente está ocurriendo en este sistema entre los múltiples grupos de artrópodos carnívoros y en el que incluso también podrían estar interviniendo las aves, cuya actividad depredadora también fue detectada.

Los enemigos naturales potenciales más detectados a través de los ataques a las larvas artificiales son los artrópodos, tal y como se ha reportado para las regiones tropicales y las bajas altitudes (Roslin *et al.*, 2017). Puede que la poca evidencia de actividad de aves depredadoras de larvas se deba a que las especies de aves insectívoras en bosques tropicales prefieren los terrenos con abundante vegetación, evitando lugares abiertos como los propios cultivos (Tscharntke et al., 2008).

En ese sentido, para la región de Chamela, se ha encontrado que, en parcelas sujetas a restauración de bosque tropical seco, los niveles de ataque por ave llegan a ser de hasta más de la mitad de los de artrópodos, que llegan a un 25% de las larvas artificiales utilizadas (Solis-Gabriel *et al.*, 2017). El hecho de que los ataques a las larvas hayan aumentado hacia el final de la temporada, ya superados los estadios de desarrollo más vulnerables para el maíz por parte de *S. frugiperda* (García Roa *et al.*, 1999), expresa un desfase temporal entre la oferta y el momento de mayor necesidad de la regulación, también documentado como una limitante importante al servicio (Hough-Goldstein *et al.*, 1993; Tscharrntke *et al.*, 2016).

## 6.2. Papel relativo de la matriz y del manejo local

El limitado número de réplicas en este estudio impide hacer generalizaciones concluyentes sobre el rol de la matriz y del manejo, por lo que las tendencias observadas deben ser tomadas como posibles patrones que deben ser explorados a mayor profundidad. En ese sentido, hay muy pocas correlaciones significativas que abonen evidencia de que la matriz paisajística esté contribuyendo de manera importante a la actividad de enemigos naturales o de plagas. Es reconocido que la relación entre la proporción de vegetación natural a nivel de paisaje y regulación de plagas a menudo es difusa, lo que complica la prescripción de medidas prácticas relevantes para la producción (Crowder y Jabbour, 2014; Schellhorn *et al.*, 2015). Los datos muestran que existen múltiples enemigos naturales en la región, aunque su presencia en las parcelas tiende a ser mayor conforme incrementa la distancia al bosque y menor es la cobertura de este en los alrededores a la escala considerada.

Los pocos resultados significativos en relación con el paisaje, sugieren que es el manejo local el que en este contexto juega un papel más importante en la modulación de algunos componentes de la diversidad. La menor presencia de lepidópteros en parcelas con alta intensidad en el manejo puede estar asociada al uso de insecticidas (factor que forma parte del índice de intensidad y que no controlamos en este) a la vez que se observa una correlación positiva con la cobertura vegetal en la parcela, contradiciendo el patrón de mayor infestación observado en agroecosistemas simplificados y las tenencias a la regulación natural en entornos diversificados (Letourneau *et al.*, 2011; Iverson *et al.*, 2014). Aunque en general se ha argumentado y acumulado evidencia de que el terreno no cultivado es la fuente de enemigos naturales y otros organismos benéficos, es sabido que los cultivos y probablemente la diversidad de plantas asociadas a estos cultivos, en sí mismos tienen la



capacidad de constituir un buen hábitat para ciertos grupos de enemigos naturales (Norriss y Kogan, 2000; Bianchi *et al.*, 2006; Wunder *et al.*, 2014; Garbach *et al.*, 2014), tal y como lo sugiere el que la riqueza de avispas tienda a incrementar conforme aumenta la distancia al bosque y el que la cantidad de arañas está positivamente correlacionado con porcentaje de vegetación dentro de la parcela. Para el caso de las arañas, se ha observado que este grupo de depredadores es sensible a los cambios en la estructura de la comunidad vegetal en el agroecosistema, incrementando su actividad reguladora cuando ésta es espacialmente más compleja (Diehl *et al.*, 2013).

Sin embargo, lo anterior no indica que la conservación del bosque tropical seco no pueda llegar a ser importante, ya que las especies identificadas como potenciales enemigos naturales están asociadas precisamente a este bioma, aunque sus flujos y procesos demográficos relevantes para los cultivos puedan estar mediados por procesos aún no explorados en este contexto, tales como su afinidad por distintas especies vegetales dentro de los cultivos y la capacidad de los remanentes de vegetación natural circundantes para albergarlos. En ese sentido, Tschardtke *et al.* (2005) y Tschardtke *et al.* (2017) sugieren que el manejo local para optimizar el servicio de regulación de plagas sólo puede hacer mejoras relevantes en matrices paisajísticas con complejidades intermedias: con mucha vegetación natural los niveles de actividad de enemigos naturales se mantienen a niveles semejantes a los que tienen en el hábitat no modificado (así sean poco útiles para la agricultura, como en este caso), en tanto que en paisajes poco diversos no existe siquiera un *pool* de especies de las que se pueda disponer para el control biológico. Conclusiones más sólidas al respecto deben obtenerse de la comparación de la oferta con regiones con paisajes aún más simplificados por las actividades agropecuarias.

### 6.3 Percepción de la relación servicio y diservicio por los agricultores

Los niveles de daño al maíz detectados en las parcelas concuerdan con la percepción de los campesinos de que el beneficio del servicio de regulación de plagas provisto por los enemigos naturales nativos es mínimo y por ende éstas siguen generando pérdidas. No obstante, existe una discrepancia en el hecho de que los campesinos reconocen como principales enemigos naturales de las larvas de lepidóptero (*S. frugiperda* y *M. sp.*) a las aves y no a los artrópodos, cuya potencial actividad supresora detectada con las larvas artificiales fue dominante. Una posible vía de investigación es la de la observación participativa con ejidatarios sobre el rol de las avispas y otros

artrópodos como reguladoras de plagas, así como de las prácticas que promueven su presencia y actividad.

El bosque tropical seco genera entonces tanto servicios como diservicios asociados a los mamíferos que ahí habitan. Por un lado, los mamíferos dañan las mazorcas de maíz, lo cual fue una causa importante de pérdida en los cultivos. Ya se han documentado daños a la agricultura por parte de la fauna tropical que se busca proteger en distintos programas de manejo, incluyendo en bosques tropicales secos a mamíferos como roedores pequeños y capibaras (de Barroz Ferraz *et al.*, 2007; Schäckermann *et al.* 2015; Rasmussen *et al.*, 2017). Por otro lado, a pesar de este aspecto nocivo, los ejidatarios reconocen el potencial de la mayoría de dichos mamíferos como alimento. De acuerdo a Rasmussen *et al.*, (2017), la cultura y la condición económica de los agricultores es un factor que permite el equilibrio estable entre la percepción de los animales como servicio y como diservicio: su valoración simultánea como plaga y como alimento puede estar siendo favorecida por el hecho de que la producción en todos los cultivos considerados en este estudio está destinada al autoconsumo (como forraje para el ganado propio), promoviendo la interrelación con elementos de la biodiversidad que no son tolerados en los cultivos más tecnificados y extensivos, destinados a la venta en el mercado.

En este tipo de contextos se recomienda un manejo especial para minimizar los diservicios de los mamíferos a la vez que se preservan los servicios provistos por los remanentes de vegetación (Schäckermann *et al.*, 2015). Podría desarrollarse un régimen de aprovechamiento especial basado en la observación participativa, reconociendo al propio agroecosistema como proveedor del servicio ecosistémico de aprovisionamiento de carne de caza, entre otras cosas por facilitar el acceso a presas sin las largas búsquedas que caracterizan a la cacería en el bosque tropical seco (Ango *et al.*, 2014; Rasmussen *et al.*, 2017). Sería necesario explorar si esto no resulta una “trampa ecológica” para los animales que obtienen en los cultivos los recursos que les es más difícil de encontrar en el propio bosque (Battin, 2004). Dado que ninguno de los mamíferos considerados plaga en este estudio está enlistado como especie en riesgo en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), el esquema de aprovechamiento extractivo podría tener sustento técnico y legal en el marco de una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) (CONABIO, 2012), como los ya desarrollados para venado cola blanca y pecarí (véase SEMARNAT, 2007a y 2007b).

#### 6.4. Sobre la aportación del trabajo

Este estudio de caso aporta un ejemplo de cómo el aprovechamiento del servicio ecosistémico de regulación de plagas puede ser limitado e incluso contrarrestado, en términos de perjuicios, por las propias capacidades biofísicas del ecosistema, proceso que también puede estar más mediado por el manejo de la parcela que por la matriz paisajística. No sólo documentamos un caso más en la larga lista de diservicios globales (véase Zhang *et al.*, 2007; Dunn, 2010), sino que dimos cuenta de una relación compleja entre un servicio, en este contexto poco efectivo, provisto por el bosque (regulación de plagas de artrópodos), que ocurre a la par con un diservicio (plagas de mamíferos) el cual llega a ser considerado simultáneamente por los agricultores como un servicio (alimento). Contribuimos así a ahondar en enfoques relativamente poco explorados de la evaluación de servicios ecosistémicos (véase Ango *et al.* 2014; Rasmusen *et al.*, 2017), sobre la que aún hace falta ahondar en bosques tropicales secos.

### 7. Conclusiones

Tanto artrópodos como mamíferos son plagas que generaron daños importantes a los cultivos de maíz, los primeros durante los estadios de crecimiento y los segundos en la etapa de fructificación. Encontramos actividad de enemigos naturales potenciales de larvas de lepidóptero que aumentan a finales de la temporada, dominando la actividad de los artrópodos seguida por la de las aves. Encontramos también una importante diversidad de artrópodos carnívoros que podrían ser enemigos naturales de las plagas.

El paisaje y el manejo local no tuvieron efectos claros sobre la regulación de plagas presencia de lepidópteros y la riqueza de arañas. Por su parte, los campesinos reconocen la presencia de enemigos naturales de las larvas de lepidóptero, aunque consideran que la magnitud de al rendimiento del cultivo es mínima. Además, consideran que las plagas que causan daños más importantes son los mamíferos y las aves, aunque la presencia de los primeros les llega a ser benéfica como fuente de alimento.

Como conclusión general, la biodiversidad del bosque tropical seco tiene potencial para proveer el servicio ecosistémico de regulación de plagas agrícolas, aunque éste puede no solo ser limitado y estar más directamente relacionado con el manejo local que con la cobertura de vegetación natural, sino incluso verse contrarrestado por un diservicio a la producción agrícola por parte de la misma

fauna silvestre de la región, que a su vez es percibida como positiva en tanto es útil como recurso alimenticio. En estos contextos se requiere explorar múltiples aproximaciones a nivel de manejo de parcela y de observación participativa con los agricultores, con la perspectiva de optimizar el servicio de regulación, minimizar los diservicios causados por herbívoros y aprovechar la utilidad de los agroecosistemas como proveedores de recursos asociados al bosque.

## Literatura citada

- Altieri, M. A. 1999. Agroecología. Bases Científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan-comunidad. Montevideo. 325p.
- Aluja, M., J. Sivinski, R. V. Driesche, A. Anzures-Dadda, y L. Guillén. 2014. Pest management through tropical tree conservation. *Biodiversity and Conservation*, 23: 831-853.
- Ango, T. G., L. Börjeson, F. Senbeta, y K. Hylander. 2014. Balancing ecosystem services and disservices: Smallholder farmers' use and management of forest and trees in an agricultural landscape in southwestern Ethiopia. *Ecology and Society*, 19: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06279-190130>.
- Avila-Cabadilla, L. D., K. Stoner, M. Henry, y M. Y. Alvarez-Añorve. 2009. Composition, structure and diversity of phyllostomid bat assemblages in different successional stages of a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 258: 986-996.
- Avila-Cabadilla, L. D., G. A. Sanchez-Azofeifa, K. E. Stoner, M. Y. Alvarez-Añorve, M. Quesada, y C. A. Portillo-Quintero. 2012. Local and landscape factors determining occurrence of phyllostomid bats in tropical secondary forests. *PLoS ONE*, 7: e35228. doi: 10.1371/journal.pone.0035228.
- Bahena, F., y E. Cortez. 2015. Gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). En: H. C. Arredondo Bernal y L. A. Rodríguez del Bosque (eds.). *Casos de control biológico en México Vol. 2*. Printing arts Mexico S. de R. L. de C. V. México D. F. Pp. 181 – 250.
- Balvanera, P., A. Castillo, y M. Martínez-Harms. 2011. Ecosystem services in seasonally dry tropical forest. En: R. Dirzo, H. Young, H. Mooney y G. Ceballos (eds.). *Seasonally dry tropical forest: ecology and conservation*. Island Press. Washington D.C. Pp. 259-278.
- Battin, J. 2004. When good animals love bad habitats: ecological traps and the conservation of animal populations. *Conservation Biology*, 18: 1482-1491.
- Bennett, N. J. 2016. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. *Conservation Biology*, 00: 1-11.
- Bianchi, F. J. J. A., C. J. H. Booij, y T. Tschardtke. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc Biol Sci*, 273: 1715-1727.
- Cebolla, R., S. Pekár, y J. Hubert. 2009. Prey range of the predatory mite *Cheylethus malaccensis* (Acari: Cheyletidae) and its efficacy in the control of seven stored-products pests. *Biological Control*, 50: 1-6.
- Chaplin-Kramer, R., M. E. O'Rourke, E. J. Blitzer, y C. Kremen. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*, 14: 922-932.

- Chisholm, P. J., M. M. Gardiner, y E. G. Moon. 2014. Tools and techniques for investigating impacts of habitat complexity on biological control. *Biological Control*, 75: 87-57.
- CONABIO, 2012. Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2017. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/usuarios/UMAs.html>
- Crowder, D., y R. Jabbour. 2014. Relationships between biodiversity and ecological control in agroecosystems: Current status and future challenges. *Biological Control*, 75: 8-17.
- Davey, J.S, I.P. Vaughan, R. Andrew King, J. R. Bell, D. A. Bohan, M. W. Bruford, y W. O. Symondson. 2013. Intraguild predation in winter wheat: prey choice by a common epigeal carabid consuming spiders. *Journal of Applied Ecology*, 50: 271-279.
- Fernández, J. L. 2002. Estimación de umbrales económicos para *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo del maíz. *Centro Agrícola*, 29: 5-9.
- Garbach, K., J. C. Milder, M. Montenegro, D. S. Karp, y F. A. J. DeClerck. 2014. Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Volume 2*. Pp. 21-40.
- González, E., A. Salvo, y G. Valladares. 2014. Arthropods on plants in a fragmented neotropical dry forest: a functional analysis of area loss and edge effects. *Insect Science*, 00, 1–10, DOI 10.1111/1744-7917.12107
- González, E., A. Salvo, y G. Valladares. 2015. Sharing enemies: evidence of forest contribution to natural enemy communities in crops, at different spatial scales. *Insect Conservation and Diversity*, 8: 359-366.
- Hanson, P., E. 2011. Insect diversity in seasonally dry tropical forests. En: R. Dirzo, H. Young, H Mooney y G. Ceballos (eds.). *Seasonally dry tropical forest: ecology and conservation*. Island Press. Washington D.C. Pp. 71-84.
- Hawkins, B.A., Mills, N. J., y M. A. Price, P. W. 1999. Is the biological control of insects a natural phenomenon? *Oikos*, 86: 496-512.
- Karp, D. S., D. M. Chase, R. Figueroa Sandí, N. Chaumont, P. R. Ehrlich, E. A. Hadly, y G. C. Daily. 2013. Forest bolsters bird abundance, pest control and coffee yield. *Ecology Letters*, 16: 117-1183.
- Landis, D. A., S. D. Wratten, y G. M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45, 175-201.
- Letourneau, D. K., I. Armbrrecht, B. Salguero Rivera, J. Montoya Lerma, E. Jiménez Carmona, M. Constanza Daza, S. Escobar, V. Galindo, C. Gutiérrez, S. Duque López, J. López Mejía, A. M. Acosta Rangel, J. Herrera Rangel, L. Rivera, C. A. Saavedra, A. M. Torres, y A. R. Trujillo. 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applicatios*, 21: 9-21.

- Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos, y J. E. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33: 491-505.
- Murphy, P. G., y A. E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 67-88.
- Polis, G. A., C. A. Myers, y R. D. Holt. 1989. The ecology and evolution of intraguild predation: Potential competitors that eat each others. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20: 297-330.
- Rasmussen, L. V., A. E. Christensen, F. Danielsen, N. Dawson, A. Martin, O. Mertz, T. Sikor, S. Thongmanivong, y P. Xaydongvanh. 2017. From food to pest: Conversion factors determine switches between ecosystems services and disservices. *Ambio*, 46: 173-186.
- Rodríguez-Palafox, A., y A. M. Corona. 2002. Lista de artrópodos de la región de Chamela, Jalisco, México. En: Historia Natural de Chaela. En: F. A. Noguera, J. H. Vega Rivera, A. N. García Aldrete y M. Quesada Avendño (eds). Instituto de Biología, UNAM, México D.F. Pp. 203-232.
- Rosetti, M. R., A. Salvo, M. Videla, y G. Valladares. 2013. Forest remnants contribute to parasitoid conservation: experimental evaluation of parasitism on a leafminer host. *Journal of Insect Conservation*, 17: 1137-1144.
- Rusch, A., R. Chaplin-Kramer, M. M. Gardiner, V. Hawro, J. Holland, D. Landis, C. Thies, T. Tschardtke, W. W. Weisser, C. Winqvist, y M. Woltz. 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221: 198-204.
- Schellhorn, N. A., H. R. Parry, S. Macfadyen, Y. Wang, y M. Zalucki. 2015. Connecting scales: Achieving in-field pest control from areawide and landscape ecology studies. *Insect Science*, 22: 35-51.
- SEMARNAT. 2007a. Plan de manejo tipo de pecarí de collar en climas áridos y semiáridos del norte de México. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2017. Disponible en: [http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/guardaparques/articulos/Plan\\_Manejo\\_Tipo\\_Pecari\\_collar.pdf](http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/guardaparques/articulos/Plan_Manejo_Tipo_Pecari_collar.pdf)
- SEMARNAT. 2007b. Plan de manejo tipo de venado cola blanca en climas zonas templadas y tropicales de México. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2017. Disponible en: [http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/guardaparques/articulos/Plan\\_Manejo\\_Tipo-VenadoColaBlanca-Zonas\\_Templadas\\_Tropicales.pdf](http://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/guardaparques/articulos/Plan_Manejo_Tipo-VenadoColaBlanca-Zonas_Templadas_Tropicales.pdf)
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2017. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010)

- Solis-Gabriel, L., W. Mendoza-Arroyo, K. Boege, y E. del-Val. 2017. Restoring lepidopteran diversity in a tropical dry forest: relative importance of restoration treatment, tree identity and predator pressure. *PeerJ* 5: e3344.
- Suazo-Ortuño, I., J. Alvarado-Díaz, y M. Martínez-Ramos. 2008. Effects of conversion of dry tropical forest to agricultural mosaic on herpetofaunal assemblages. *Conservation Biology*, 22: 362-374.
- Tallis, H., H. Mooney, S. Andelman, P. Balvanera, W. Cramer, D. Karp, S. Polasky, B. Reyers, T. Ricketts, S. Running, K. Thonicke, B. Tietjen, y A. Walz. 2012. A Global System for Monitoring Ecosystem Service Change. *Bioscience*, 62: 977-986.
- Tscharntke, T., A. M. Klein, A. Kruess, I. Steffan-Dewenter, y C. Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8: 857-874.
- Tscharntke, T., R. Bommarco, Y. Clough, T. O. Crist, D. Kleijn, T. A. Rand, J. M. Tylianakis, S. van Nouhuys, y S. Vidal. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43: 294-309.
- Tscharntke, T., C. H. Sekercioglu, T. V. Dietsch, N. S. Sodhi, P. Hoehn, y J. M. Tylianakis. 2008. Landscape constrains on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecology*, 89: 944-951.
- Tscharntke, T., D. S. Karp, R. Chaplin-Kramer, P. Batáry, F. DeClerk, C. Gratton, L. Hunt, A. Ives, M. Jonsson, A. Larsen, E. A. Martin, A. Martínez-Salinas, T. D. Meehan, M. O'Rourke, K. Poveda, J. A. Rosenheim, A. Rusch, N. Schellhorn, T. C. Wanger, S. Wratten, y W. Zhang. 2016. When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204: 449-458.
- Villamagna, A. M., P. M. Angermeier, y E. M. Bennett. 2013. Capacity, pressure, demand and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 15: 114 - 121.
- Woltz, J. M., R. Isaacs, y D. A. Landis. 2012. Landscape structure and hábitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 152: 40-49.
- Zermeño-Hernández, I., M. Méndez-Toribio, C. Siebe, J. Benítez-Malvido, y M. Martínez-Ramos. 2015. Ecological disturbance regimes caused by agricultural land uses and their effects on tropical forest regeneration. *Applied Vegetation Science*, 8: 443-455.
- Zhang, W., T. H. Ricketts, C. Kremen, K. Carney, y S. M. Swinton. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64: 253-260.



## ANEXO 1

Ejemplo de formulario usado en cada entrevista a cada ejidatario.

Nombre del ejidatario:

Fecha:

Localidad:

### **Sobre el gusano cogollero**

¿En qué momento de la temporada ataca al cultivo?

¿Qué parte de la planta ataca o se come?

¿Cómo evita usted que dañe al maíz?

¿Cuánto dinero invierte en ello?

¿Cuánto tiempo invierte en ello?

¿Qué tan efectivo es esto para disminuir la cantidad de plaga?

¿Cuánta pérdida genera el gusano?

¿La cantidad de gusano depende del tipo de terreno alrededor del cultivo?

¿Aumenta o disminuye?

¿Por qué?

Monte

Barbecho

Cultivos

Pastizal

Otro

¿Conoce animales que se coman al gusano cogollero?

¿Cuáles? (Paso al formato de "Enemigo natural")

¿Hay otro factor natural que mate al gusano cogollero o que evite que dañe al cultivo?

### **Sobre el gusano arrasador**

¿En qué momento de la temporada ataca al cultivo?

¿Qué parte de la planta ataca o se come?

¿Cómo evita usted que dañe al maíz?

¿Cuánto dinero invierte en ello?

¿Cuánto tiempo invierte en ello?

¿Qué tan efectivo es esto para disminuir la cantidad de plaga?

¿Cuánta pérdida genera el gusano arrasador?

¿La cantidad de gusano depende del tipo de terreno alrededor del cultivo?

¿Aumenta o disminuye?

¿Por qué?

Monte

Barbecho

Cultivos

Pastizal

Otro

¿Conoce animales que se coman al gusano arrasador?

¿Cuáles?

¿Hay otro factor natural que mate al gusano arrasador o que evite que dañe al cultivo?

### **Sobre las aves plaga**

¿Hay aves que se comen el maíz?

¿Cuáles?

¿En qué momento de la temporada atacan al cultivo?

¿Qué parte de la planta atacan o se comen?

¿Cómo evita usted que dañen al maíz?

¿Cuánto tiempo invierte en ello?

¿Cuánto tiempo invierte en ello?

¿Qué tan efectivo es esto para disminuir la cantidad de plaga?

¿Cuánta pérdida generan?

¿La cantidad de aves depende del tipo de terreno alrededor del cultivo?

¿Aumenta o disminuye?

¿Por qué?

Monte

Barbecho

Cultivos

Pastizal

Otro

¿Hay algún factor natural que disminuya el ataque de las aves?

### **Sobre los mamíferos plaga**

¿Hay mamíferos que se coman el maíz?

¿Cuáles?

¿En qué momento de la temporada atacan al cultivo?

¿Qué parte de la planta atacan o se comen?

¿Cómo evita usted que dañen al maíz?

¿Cuánto tiempo invierte en ello?

¿Cuánto tiempo invierte en ello?

¿Qué tan efectivo es esto para disminuir la cantidad de plaga?

¿Cuánta pérdida generan?

¿La cantidad de mamíferos depende del tipo de terreno alrededor del cultivo?

¿Aumenta o disminuye?

¿Por qué?

Monte

Barbecho

Cultivos

Pastizal

Otro

¿Hay algún factor natural que disminuya el ataque de los mamíferos?

**Para cada enemigo natural mencionado:**

¿Qué tan efectivo es para disminuir la cantidad de plaga?

¿En qué momento de la temporada aparece?

¿Cómo ataca?

¿Su presencia depende del tipo de terreno alrededor del cultivo?

¿Aumenta o disminuye?

¿Por qué?

Monte

Barbecho

Cultivos

Pastizal

Otro

¿Considera su actividad (atacar plagas) como algo positivo para el cultivo?

¿Hay algo dentro del cultivo que aumente su presencia?

¿Hay algún otro factor natural que aumente su presencia?

¿Se puede hacer algo para aumentar su presencia?