

**INCIDENCIA DEL MANEJO AGRONÓMICO CONVENCIONAL Y
ORGÁNICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD EN SISTEMAS PRODUCTIVOS
DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) EN EL ESTADO DE
MICHOACAN, MÉXICO**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área de Recursos Naturales*

Laura Villamil Echeverri
Ecóloga - Pontificia Universidad Javeriana - 2004

Lugar de trabajo: Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco)
Universidad Nacional Autónoma de México



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Dra. Mayra Elena Gavito

Bióloga, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Msc. Universidad Nacional Autónoma de México, PhD. University of Guelph, Ontario, Canada

Consejero de Estudios

Dr. Mariano Devoto

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Msc. Recursos Naturales, Universidad de Buenos Aires, PhD. Universidad de Bristol, Reino Unido

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Dra. Mayra Elena Gavito

Bióloga, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Msc. Universidad Nacional Autónoma de México, PhD. University of Guelph, Ontario, Canada

JURADO

Dra. Lorena Ashworth

Bióloga. Facultad de Ciencias Exactas, físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba
Doctora en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba

JURADO

Dr. Lucas A. Garibaldi

Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires

Doctor en Ciencias Agropecuarias. Escuela de Graduados Alberto Soriano. Universidad de Buenos Aires

Fecha de defensa de la tesis: 9 de diciembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Este material está basado en trabajo apoyado en parte por la DGPA-UNAM bajo la Concesión IACOD No. T1200111 y PAPIIT No. TB100412-RR190412, y el proyecto "Evaluación del impacto ambiental de las plantaciones de aguacate en Michoacán: la validación de indicadores ambientales", financiado por Fundación Produce Michoacán y Coordinadora de Fundaciones Produce. Agradecemos la colaboración de los agricultores aguacatero de la región, a Luis Zamora y José Carlos Bautista, a la asociación de productores de aguacate en Uruapan, Michoacán (AALPAUM).

Doy mis más sinceros agradecimientos a quienes me acompañaron en este proceso de formación profesional pero sobre todo de formación personal. Todos y cada uno me dieron la fortaleza para avanzar y poder concluir este proceso. Muchas gracias.

A mi familia: Hernando, Ruth, Carlos, Juan, Yair, Elizabeth, Fanny, Ricardo, a mis abuelitos, y a todos, por su apoyo y su amor incondicional, (Gracias por toda su paciencia).

Especial agradecimiento con quienes compartí directamente este proyecto, quienes me apoyaron a cada momento, y me brindaron consejo en los momentos más oportunos: Dra. Mayra Gavito, Msc. Yair Merlín, Dr. Mariano Devoto, Dra. Marta Astier, Dr. Ricardo Ayala, Dr. Enrique García.

A todas las persona de la Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano, por su apoyo constante. Muchas gracias a la Dra. Amy Austin y al Dr. Martín Aguiar.

Especial agradecimiento a mi comité consejero quienes me acompañaron y retroalimentaron de una manera tan consiente y profunda, y a todo momento me hicieron caer en cuenta de mis errores, pero sobre todo aprender de ellos. Mil gracias Dra. Mayra, Dr. Mariano, Dra. Lorena y Dr. Lucas, por sus correcciones y comentarios tan pertinentes y sobre todo enriquecedores, los cuales me hicieron ver cuánto pueden mejorar las cosas cuando se tiene claridad, dedicación y esfuerzo.

A todas las personas del Centro de Investigaciones en Ecología CIEco y a la Universidad Nacional Autónoma de México, porque me acogieron y me hicieron parte de la comunidad. Muchas gracias a la Dra. Mayra Gavito, Dra. Marta Astier, Dr. Ricardo Ayala Barajas, M en C. Enrique Ramírez García, Dra. Ek de Val, Dra. Patricia Balvanera, M en C. Juan Martínez Cruz y M en C. Guadalupe Cornejo Tenorio.

A la comunidad de Unisarc, por creer en mí.

A todos y cada uno, mil gracias!!

DECLARACIÓN

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en la medida en que se identifiquen explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.”

Laura Villamil Echeverri

ÍNDICE GENERAL

Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Introducción general	1
Aproximación metodológica	3
Área de estudio	3
Biodiversidad de visitantes florales y acarreadores de polen	5
Planteamiento de la tesis	6
Capítulo 1. Relación entre las prácticas de manejo agronómico y la biodiversidad a nivel de huerta	9
Resumen	10
1.1 Introducción	10
1.2 Metodología	12
1.2.1 Contexto general.....	12
1.2.2 Relevamiento de la información	12
1.2.3 Selección de variables de manejo e índice del efecto de los plaguicidas ...	13
1.2.4 Obtención de las Unidades Básicas de Clasificación (UBC's)	14
1.2.5 Comparación entre las Unidades Básicas de Clasificación (UBC's).....	15
1.3 Resultados	15
1.3.1 Identificación y selección de las variables.....	15
1.3.2 Selección de variables de manejo, análisis de componentes principales ...	16
1.3.3 Unidades Básicas de Clasificación, análisis de clúster	19
1.3.4 Correlación de las Unidades Básicas de Clasificación	20
1.4. Discusión.....	21
1.5 Conclusión	24
<i>Apéndice 1.1</i> Cuestionario sobre indicadores ecológicos en sistemas productivos de aguacate	25
<i>Apéndice 1.2</i> Listado de insecticidas identificados en el cultivo de aguacate en Michoacán, México	29
<i>Apéndice 1.3</i> Índice del uso de insecticidas en cada huerta	30
Capítulo 2. Ecología reproductiva del aguacatero y la respuesta al manejo convencional y orgánico	31
Resumen	32
2.1 Introducción	32
2.2 Metodología	37
2.2.1 Especie focal	37
2.2.2 Floración	38
2.2.2.1 Oferta floral	38
2.2.2.2 Sincronía diurna (dicogamia protogónica) de las flores del aguacatero	39
2.2.3 Diversidad de los visitantes florales y acarreadores de polen de aguacatero	39
2.2.4 Rol de los acarreadores nativos e introducidos de polen de aguacatero ..	39
2.2.5 Incidencia del manejo convencional y orgánico en la diversidad de los visitantes florales y acarreadores de polen	40
2.2.6 Fructificación	40

2.2.7	Análisis de datos	41
2.3.	Resultados	43
2.3.1	Floración	43
2.3.1.1	Hipótesis 1. Efecto de las condiciones ambientales y manejo agronómico sobre la oferta floral y la sincronía floral	43
2.3.2	Diversidad de los visitantes florales y acarreadores de polen de aguacatero	46
2.3.2.1	Visitantes florales	46
2.3.2.2	Acarreadores de polen	48
2.3.2.3	Hipótesis 2. Rol de acarreadores nativos e introducidos de polen de aguacatero	49
2.3.2.4	Hipótesis 3. Incidencia del manejo convencional y orgánico en la riqueza (diversidad alfa) y la composición (diversidad beta) de visitantes de flores y de acarreadores de polen del aguacatero	55
2.3.3	Fructificación	57
2.3.3.1	Hipótesis 4. Contribución de la presencia de visitantes florales en la producción de frutos	57
2.4.	Discusión	59
2.5	Conclusión	63
	<i>Apéndice 2.1</i> Riqueza y abundancia de los visitantes florales y acarreadores de polen del aguacatero	64
	<i>Apéndice 2.2</i> Tipos de polen acarreado en las huertas aguacateras	66
Capítulo 3.	Estructura de las redes de interacción de plantas-visitantes florales en huertas aguacateras	67
	Resumen	68
3.1	Introducción	68
3.2	Metodología	70
3.2.1	Sistema focal	70
3.2.2	Muestreo de acarreadores de polen y herbáceas	70
3.2.3	Puesta a prueba de las hipótesis	71
3.2.3.1	Hipótesis 1. Efecto del manejo agronómico sobre la composición de especies, interacciones y estructura de las redes de transporte de polen	71
3.2.3.2	Hipótesis 2. Similitud de los ensamblajes de especies acarreadoras de polen entre los dos momentos de floración	72
3.2.5	Análisis de datos	72
3.3.	Resultados	73
3.3.1	Diversidad de acarreadores de polen	73
3.3.2	Hipótesis 1. Efecto del manejo agronómico sobre la composición de especies, interacciones y estructura de las redes de transporte de polen	74
3.3.2.1	Ordenamiento de las especies en común respecto al total de especies	74
3.3.2.2	Comparación de las proximidades entre las interacciones y redes de transporte de polen entre el manejo convencional y orgánico	78
3.3.2.3	Estructura de la redes de polen	81
3.3.3	Hipótesis 2. Complementariedad de especies de acarreadores de polen entre los dos momentos de floración	85
3.4.	Discusión	85
3.5	Conclusión	88

<i>Apéndice 3.1</i> Fenología de la floración del aguacatero y la comunidad de herbáceas asociadas al cultivo	89
<i>Apéndice 3.2</i> Riqueza y abundancia de los visitantes florales de las flores de las herbáceas de las huertas aguacateras	90
<i>Apéndice 3.3</i> Riqueza y abundancia de los visitantes florales de las flores herbáceas de las huertas de aguacate según el manejo agronómico	91
<i>Apéndice 3.4</i> Nombre de los tipos de polen según el código mostrado en las redes de transporte de polen	93
<i>Apéndice 3.5</i> Validación cruzada: Clasificación a priori y a posteriori, probabilidades de pertenencia, coordenadas de las observaciones y cuadrados de las distancias	94
Conclusiones y recomendaciones generales	95
Referencias	99

ÍNDICE DE TABLAS

Introducción general

Tabla 1. Características generales y condiciones ambientales de las 10 huertas de aguacate	3
Tabla 2. Cuadro resumen de la información generada en cada capítulo de la tesis	7

Capítulo 1

Tabla 1. Resultados de las variables identificadas para la generación de las Unidades Básicas de Clasificación (UBC)	16
Tabla 2. Valores propios de todos los componentes generados en el Análisis de Componentes Principales (ACP)	17
Tabla 3. Carga factorial y contribuciones de las variables de manejo a los tres factores principales seleccionados	18
Tabla 4. Correlaciones de las variables de manejo y biodiversidad	18
Tabla 5. Clasificación de las huertas según los atributos de las huertas según las Unidades Básicas de Clasificación (UBC)	19

Capítulo 2

Tabla 1. Estructura del árbol de clasificación, basado en el estado sexual de la flor en plantas de aguacate de la franja aguacatera mexicana	45
Tabla 2. Relación entre las variables ambientales	47
Tabla 3. Riqueza, abundancia e índices de diversidad de los visitantes de la flor del aguacatero por huerta	51
Tabla 4. Especies acarreadoras de polen de aguacatero	52
Tabla 5. Clasificación de las huertas según los índices de diversidad de los visitantes forales y los acarreadores de polen de aguacatero, diversidad alfa y diversidad beta ...	54
Tabla 6. Riqueza, abundancia e índice de similitud de Jackard de visitantes florales por huerta y de acarreadores de polen por manejo convencional y orgánico	57

Capítulo 3

Tabla 1. Índices de acumulación de individuos acarreadores de polen observados de acuerdo con el muestreo e individuos observados de las especies de acarreadores de polen durante la floración del aguacatero y la floración de las herbáceas	74
Tabla 2. Ensamblaje de los tipos de polen acarreado en el momento de la floración del aguacatero y de las herbáceas y la cantidad de especies de insectos que lo acarrearón y la contribución de cada tipo de polen al total de granos de polen acarreado	75
Tabla 3. Índices de similitud de Sorensen para acarreadores de polen durante la floración del y solo floración de las herbáceas	76
Tabla 4. Índices de similitud de Sorensen para Especies tipos de polen acarreado durante la floración del aguacatero y durante la floración de las herbáceas	76
Tabla 5. Valores del nivel de significación del análisis de Monte Carlo y de estrés en el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico	76
Tabla 6. Resultados del análisis de procrustes generalizado	79
Tabla 7. Características estructurales de las redes de transporte de polen de cada huerta	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Introducción general

Figura 1. Mapa de ubicación de las huertas estudiadas	4
---	---

Capítulo 1

Figura 1. Modelo metodológico utilizado para la generación de las Unidades Básicas de Clasificación según los atributos de manejo y biodiversidad	13
Figura 2. Comparación de la riqueza de las herbáceas y de los visitantes florales del aguacatero y las herbáceas en los manejos convencional y orgánico	17
Figura 3. Selección de variables y de los factores mediante análisis de componentes principales	19
Figura 4. Dendrograma que representa los grupos de huertas o UBC's basado en las distancias de disimilitud en el atributo de manejo	20
Figura 5. Dendrograma que representa los grupos de huertas o UBC's basado en las distancias de disimilitud en el atributo de biodiversidad	20
Figura 6. Correlación entre las matrices de disimilaridad de las UBC's de los atributos de manejo y biodiversidad	21

Capítulo 2

Figura 1. Estado femenino y masculino de la flor de aguacate	34
Figura 2. Patrones generales del ciclo floral de la flor de aguacate	35
Figura 3. Área efectiva de muestreo de cada árbol	38
Figura 4. Promedio del número de flores abiertas durante el día en cada huerta	43
Figura 5. Comportamiento de los estados florales del aguacatero durante el día	44
Figura 6. Comportamiento de los estados florales del aguacatero en rangos de temperatura	44
Figura 7. Histograma de la importancia clasificatoria de las variables ambientales predictoras del estado sexual de la flor del aguacatero	46
Figura 8. Ordenación de las huertas aguacateras en función de la riqueza específica y la abundancia de los visitantes florales	47
Figura 9. Diversidad de los visitantes florales del aguacatero	49
Figura 10. Proporción de la riqueza específica y abundancia de acarreadores de polen de aguacate respecto a los no acarreadores de polen	50
Figura 11. Distancias de disimilitud y tipología de las especies de acarreadores de polen del aguacate	54
Figura 12. Riqueza y abundancia de los visitantes florales y acarreadores de polen en el manejo convencional y orgánico	55
Figura 13. Proporción de la riqueza y abundancia de los visitantes florales y acarreadores de polen en el manejo convencional y orgánico cuando se excluye la abeja europea	56
Figura 14. Cantidad de frutos encontrados a los 2, 5 y 9 meses	57
Figura 15. Promedio de frutos por m ² por árbol, con exclusión y sin exclusión de visitantes florales del aguacatero	58

Capítulo 3

Figura 1. Ordenación de las 10 huertas según las 35 especies y 4 morfotipos de acarreadores de polen durante la floración del aguacatero	77
Figura 2. Ordenación de las 10 huertas según las 48 especies y 16 morfotipos de acarreadores de polen durante la floración de las herbáceas	77
Figura 3. Ordenación de las 10 huertas según los 12 tipos de polen acarreado durante la floración del aguacatero	78

Figura 4. Ordenación y de las 10 huertas según los 19 tipos de polen acarreado cuando solo había floración de las herbáceas	78
Figura 5. Mapa factorial de las dos configuraciones de los manejos convencional y orgánico de acuerdo a los tipos de polen, durante la floración del aguacatero y solo con floración de las herbáceas	79
Figura 6. Mapa factorial de las dos configuraciones de los manejos convencional y orgánico de acuerdo a las especies acarreadoras de polen, durante la floración del aguacatero y solo con floración de las herbáceas	80
Figura 8. Redes cuantitativas de transporte de polen durante la floración del aguacatero y solo floración de las herbáceas en el manejo convencional	83
Figura 9. Redes cuantitativas de transporte de polen durante la floración del aguacatero y solo floración de las herbáceas en el manejo orgánico	84
Figura 7. Representación de las observaciones sobre los ejes factoriales	85

Resumen

La pérdida de la biodiversidad que genera la disminución de interacciones bióticas y procesos ecosistémicos es uno de los principales problemas ecológicos en la actualidad. Esta situación se ha relacionado a la simplificación de los sistemas naturales y a la intensificación de los sistemas productivos agrícolas, prácticas que incluso pueden ir en detrimento del rendimiento de los campos de cultivo. Sin embargo, las huertas podrían ser reservorios de biodiversidad y recursos alimenticios que provean hábitats de alta calidad para muchos organismos. En este trabajo, se relaciona el tipo de manejo agronómico (convencional y orgánico) en huertas aguacateras con la riqueza y la composición de las comunidades de visitantes florales, acarreadores de polen y plantas herbáceas con el fin de estudiar la diversidad asociada a dichos sistemas y la incidencia del manejo agronómico sobre estas comunidades.

El trabajo se compone de 3 capítulos. El primer capítulo plantea la relación entre el manejo agronómico y la diversidad de visitantes florales y plantas herbáceas a partir de la generación de Unidades Básicas de Clasificación (UBC). En el segundo capítulo, se aborda la ecología reproductiva del aguacatero, en donde se estimó la oferta floral, la diversidad de la comunidad de visitantes florales y acarreadores de polen, su eficiencia de estos en el acarreo de polen y su contribución a la producción de frutos bajo el manejo agronómico orgánico y convencional. En el tercer capítulo, se construyeron y analizaron seis redes de interacción de polen acarreado-acarreador en dos momentos del cultivo: i) durante la floración del aguacatero y ii) en ausencia de floración del aguacatero. El estudio se llevó a cabo durante dos años consecutivos en el pico de floración 2010/2011 y 2011/2012 en 6 huertas orgánicas y 4 convencionales.

En el capítulo 1 se reporta que para la UBC de los atributos de manejo se distinguieron tres grupos de huertas. De igual forma, en la UBC de los atributos de biodiversidad se generaron tres grupos. Las variables uso de insecticidas y frecuencia de corte de hierbas separaron a las huertas en dos grupos iniciales, orgánicas y convencionales, pero además la separación de dos grupos en las huertas orgánicas se debió sobre todo, al tamaño del área de bosque dentro de la huerta y la frecuencia del corte de las herbáceas creciendo alrededor y debajo del aguacatero.

En el capítulo 2 se demuestra que la sincronización diurna de los estados femenino y masculino de la flor del aguacate variedad Hass no corresponde al tipo A. La flor masculina predominó en horas de la mañana, mientras que la flor femenina se observó durante todo el día pero en menor proporción, por lo que se confirmó una alta coincidencia de ambos estados durante varias horas del día. Se identificaron 4 órdenes, 22 familias, 58 especies y 12 morfotipos, de las cuales 39 especies fueron confirmadas como acarreadoras de polen de aguacate, con gran variación en la cantidad y la localización del polen. La abeja europea *Apis mellifera* fue, por mucho, el visitante y acarreador más abundante y se registraron pocos visitantes y acarreadores nativos, principalmente moscas, avispa y abejas. A pesar de que los promedios de varios estimadores de riqueza y diversidad de plantas, visitantes florales y acarreadores de polen fueron más altos en el manejo orgánico, no se encontraron diferencias significativas con el manejo convencional por la alta variación entre huertas. Se demostró que la presencia de visitantes florales durante la floración aumentó significativamente el número de frutos logrados.

En cuanto al capítulo 3, las redes generadas durante la floración del aguacatero estuvieron dominadas por *A. mellifera* y en la floración de las herbáceas las redes presentaron menor dominancia. Las redes mostraron diferencia en tamaño, reflejando mayor riqueza y abundancia de tipos de polen y acarreadores de polen durante la floración de las herbáceas y en el manejo orgánico. Sin embargo, la estructura de las redes de transporte de polen no presentó diferencias significativas entre los tipos de manejo.

Los resultados de este trabajo mostraron como el manejo agronómico puede influir en la estructura de la comunidad de visitantes, acarreadores de polen y herbáceas. Considerando que el cultivo del aguacatero presenta la floración en una época específica del año, es importante que existan de forma continua otros recursos florales para los acarreadores como son las herbáceas. Los recursos provenientes de estas plantas pueden mantener durante el año la funcionalidad de la comunidad de visitantes y acarreadores, proporcionando el servicio ecosistémico de la polinización de plantas silvestres y de las cultivadas. A su vez, la tesis contribuye al fortalecimiento del conocimiento de patrones que proponen que la disponibilidad de recursos florales en las huertas derivados de manejos agronómicos más integrales y menos intensivos que favorecen el incremento de la riqueza de visitantes de flores y acarreadores de polen nativos.

Palabras clave: visitantes florales, acarreadores de polen, Unidades Básicas de Clasificación, redes polen-acarreador.

Abstract

The loss of biodiversity generating a decrease in biotic interactions and ecosystem processes is currently one of the major environmental problems. This situation is related to the simplification of natural systems and the intensification of agricultural production systems, practices that may turn detrimental to crop yields. However, orchards could become reservoirs of biodiversity and food resources providing high quality habitats to many organisms. This work studied the relation between the type of agricultural management in avocado orchards (conventional and organic) and the richness and composition of floral visitor, pollen carrier and herbaceous plant communities, to know the diversity associated with these production systems and the impact of agricultural practices on these communities.

The work is presented in 3 chapters. The first chapter establishes the relationship between agricultural management and the diversity of floral visitors and herbaceous plants, based on Basic Units of Classification (UBC's). The second chapter addresses the reproductive ecology of avocado, studying the flower offer, the diversity of flower visitor and pollen carrier communities, their efficiency as pollen carriers and as contributors to fruit production, under conventional and organic management. In the third chapter, six pollen-carrier networks were constructed and analyzed, in two periods: i) during avocado flowering and ii) the absence of avocado flowers. The study was conducted in two consecutive years in the floral booms 2010/2011 and 2011/2012 in 6 organic and 4 conventional orchards.

In chapter 1, the analyses identified three groups of UBC's based on both management and diversity variables. The use of insecticides and the frequency of herb trimming separated the conventional and organic orchards, but the organic orchards were separated further in two groups mainly by the size of forested area within the orchard and frequency of trimming of herbs growing under and around avocado trees.

Chapter 2 shows that the flower opening pattern did not conform to type A; masculine stage flowers predominated early in the morning and feminine stage flowers were found all day long, with several hours of overlapping. Four orders, 22 families, 58 species and 12 morphotypes of avocado flower visitors were found. From these, 39 species were confirmed as avocado pollen carriers, with large variation in quantity and localization of pollen. The European bee, *Apis mellifera*, was by far the most abundant visitor and pollen carrier, and there were few native visitors and carriers, mainly flies, wasps and bees. Despite having higher mean values in several species richness and diversity estimators, the organic orchards were not significantly different from the conventional orchards due to the large variation among orchards. Allowing flower visitors increased significantly the number of fruits produced.

In chapter 3, the networks generated show the dominance of *A. mellifera* during avocado flowering, with lower dominance when only herbs were flowering. The networks showed difference in size, reflecting increased richness and abundance of pollen types and pollen carriers during the flowering of herbs and under organic management. However, the structure of pollen networks showed no significant differences between the types of management. These results suggest that the management of orchards studied modifies the diversity of the insect fauna, having greater diversity under organic management.

The results of this work showed how crop management can influence the community structure of visitors, pollen carriers and herbaceous plants. Considering that avocado flowering occurs only at certain times during the year, it is important that the community of visitors and pollen carriers finds other floral resources in the herbaceous plants. These plants can help maintaining these communities along the year, supporting the pollination ecosystem service for wild and cultivated plants. Similarly, this work contributes to support knowledge suggesting that less intensive agricultural management increases floral resource availability in the orchards and favours richness of native flower visitors and pollen carriers.

Key words: floral visitors, pollen carrier, Basic Units of Classification, pollen-carrier networks.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los sistemas productivos agrícolas son considerados agroecosistemas por contener en alguna proporción los componentes y procesos de los ecosistemas naturales (Conway, 1985). Uno de los procesos ecosistémicos más importantes es la polinización, función ecológica que permite la reproducción de las plantas y la adquisición de recursos alimenticios para los visitantes florales por medio de la interacción planta-animal (Memmot, 1999; Kremen et al., 2002). Los agroecosistemas son sistemas productivos con intervención constante, que incluyen componentes naturales (como los productores y consumidores) y procesos ecosistémicos (como las interacciones planta-animal), cuya biodiversidad pueden alterar las prácticas de manejo agronómico (Altieri, 1999; Swift y Anderson, 1993).

Se ha reconocido que el cambio de cobertura vegetal, la intensificación de las prácticas de manejo y el aumento de la aplicación de agroquímicos son causales de la pérdida de biodiversidad (Pimentel et al., 1992; Holzschuh et al., 2008; Potts et al., 2010; Kennedy et al., 2013). Por esto, el manejo convencional, el cual presenta aplicaciones de productos de síntesis química y prácticas intensivas en el corte de herbáceas se ha considerado como potenciador del descenso generalizado de la riqueza y abundancia de polinizadores en los cultivos, a diferencia del manejo orgánico que presenta insumos para la fertilización y manejo de plagas de origen orgánico, además de mayor diversidad de herbáceas (Altieri, 1999; Morandin y Winston, 2005).

Los insectos visitantes de las flores y las plantas herbáceas son dos de los grupos funcionales de los agroecosistemas que han sido afectados negativamente por el uso de agroquímicos (Kevan, 1977; Allen-Wardell et al., 1998; Wilson y Tisdell, 2001; Potts et al., 2003). Estos dos grupos están directamente relacionados en redes ecológicas en las que los participantes se benefician mutuamente por medio de interacciones positivas. Las plantas dependen –al menos en cierta medida- de los polinizadores para la reproducción, mientras que los visitantes florales se benefician por la obtención de alimento en forma de polen o néctar. Las interrelaciones establecidas entre las plantas y sus polinizadores pueden ir desde el generalismo hasta la especialización por el recurso (Waser, et al., 1996; Aizen, 2007).

La polinización como servicio ecosistémico es entendida como el beneficio que proveen tanto los animales silvestres (insectos y otros invertebrados, aves y algunos mamíferos) como los manejados a nivel comercial (Roubik, 1995; Kremen et al., 2007). Los polinizadores benefician en algún grado la producción de frutas o semillas del 85% de las especies cultivadas en México (Ashworth et al., 2009), y al menos el 35% de la producción a nivel mundial (Klein et al., 2007). Sin embargo, la tendencia en el manejo de los agroecosistemas actuales es la introducción de especies generalistas como la abeja *Apis mellifera*, especie considerada en el mundo como una de las más importantes en la polinización de los cultivos, si bien no es reconocida como la mejor especie polinizadora para muchos cultivos (Ish-Am, 1995; Williams, 2002; Ish-Am, 2004, Can, et al., 2005). Por ejemplo, en el trópico americano donde no había originalmente presencia de *A. mellifera*, fueron usados desde épocas pre-hispánicas abejas sin aguijón (Meliponinae) y diversos insectos para los procesos de obtención de miel y polen y/o de polinización (Roubik, 1995).

Actualmente, se ha observado una disminución de las poblaciones de los polinizadores silvestres y del servicio ecosistémico de la polinización (Cane y Tepedino, 2001; Ghazoul, 2005) debido a que su dinámica poblacional depende de la dinámica del ecosistema (Pimentel, et al., 1992; Thompson 2003), a diferencia de los polinizadores exóticos manejados que pueden ser reiteradamente introducidos al agroecosistema por los productores. Además, no son claros los impactos del manejo en las interrelaciones entre las poblaciones de los polinizadores introducidos y los silvestres. No obstante se evidencia un reemplazo de los primeros sobre los segundos en áreas perturbadas como los sistemas productivos (Free, 1993 citado por Kevan 1999; Kremen, et al., 2002; Goulson, 2003) posiblemente generado por el desconocimiento de la presencia de especies nativas locales con potencial polinizador (Ish-am, 1995; Kevan, 1999; Kremen, et al., 2002; Klein, et al, 2007; Garibaldi et al., 2013).

El aguacatero (*Persea americana* Mill.) es una planta tropical de origen Mesoamericano. Esta especie presenta características biológicas particulares para la producción de fruta: dicogamia protogénica y pérdida masiva de frutos durante las primeras etapas de desarrollo. La fruta ha estado relacionada con la especie humana desde tiempos antiguos (Galindo et al., 2008). Actualmente se produce en 67 países del mundo y se ha convertido en una especie de importancia económica en varios países, especialmente en México, Chile, Indonesia, Colombia, Perú y Estados Unidos, entre otros (FAOSTAT, 2012) Esta especie exhibe ancestralmente tres razas o variedades botánicas (mexicana, guatemalteca y antillana) cuyos cruces han desarrollado al menos 15 variedades comerciales de aguacate. La variabilidad de rasgos obtenida en estas variedades las hizo individualmente valiosas en las diversas condiciones ambientales del mundo (Storey et al., 1986; Gazit y Degani, 2002). La variedad Hass, híbrido de la raza guatemalteca y la raza mexicana (Bergh y Whitsell, 1974) fue la utilizada en este estudio por su extendido cultivo en la zona de estudio. En México, la producción de aguacate en el estado de Michoacán representa el 86% de la producción nacional (SAGARPA, 2010), y se ha convertido en la principal actividad económica del estado (Echánove, 2008). La expansión de las áreas aguacateras ha sido constante, pero su ritmo se aceleró a partir de 1997, año en que se reanudaron las exportaciones de aguacate fresco a Estados Unidos. Entre ese año y 2011 la superficie ocupada por aguacate se incrementó en un 45.5%, llegando a la cifra récord de 130.000 hectáreas (Bravo et al., 2012).

Los sistemas productivos aguacateros han sido implementados bajo manejo agronómico intensivo, siendo el monocultivo una práctica común. Incluso en los últimos años se han transformado amplias extensiones de áreas con cobertura vegetal silvestre de bosques de pino y pino-encino a cobertura agrícola dominada por el cultivo de aguacate (Sáenz et al., 2006). La dinámica floral del aguacatero contribuye con abundantes recursos florales pero solo en una época determinada del año. Por otro lado, debido a la dicogamia protogénica de sincronización diurna que presenta esta especie, se ve favorecida por la polinización mediada por insectos para la producción de frutos (Vithanage, 1990), la cual es mediada en mayor proporción por insectos (Ish-Am y Eisikowitch, 1993; Heard, 1999; Can et al., 2005).

El requerimiento de acarreadores de polen que favorecen la productividad del aguacatero, hace fundamental el estudio de los efectos de las prácticas de manejo agronómico sobre la biodiversidad en las huertas. Es necesario entender: 1) los efectos de las prácticas de manejo agronómico sobre la diversidad de visitantes florales, 2) el rol de la comunidad

de insectos nativos y silvestres en el transporte de polen, 3) el efecto de la ausencia de los acarreadores de polen en la producción de frutos y 4) la diversidad de herbáceas presente como recursos alimenticios alternativos.

Aproximación metodológica

Área de estudio

El trabajo de campo fue desarrollado en huertas aguacateras, ubicadas en la franja aguacatera de Michoacán, México (Fig. 1). Se considera a esta zona como el área con mayor producción de aguacate a nivel mundial, con una participación del 20.6% del total de fruta producido en el mundo (SAGARPA, 2010). La zona se encuentra ubicada entre los 1100 y 2900 msnm, con rango de temperatura media anual de 17.9 a 19.7°C (Wolstenholme, 2002), con precipitaciones anuales que van desde los 1000 a 1500 mm (Gutiérrez et al., 2010). La temperatura máxima promedio para la zona de estudio fue de 20.8 ± 0.65 (SE) y la temperatura mínima de 7.9 ± 0.75 (SE). Estas condiciones ambientales son idóneas para el desarrollo de *P. americana* var. Hass (Wolstenholme, 2002). Se estudiaron inicialmente 5 huertas convencionales y 5 huertas orgánicas, aunque una de las huertas convencionales se convirtió a orgánica entre el primer y segundo muestreo en campo, quedando finalmente 4 huertas convencionales (C1-C4) y 6 huertas orgánicas (O5-O10), (Tabla 1).

Tabla 1. Características generales y condiciones ambientales de las 10 huertas aguacateras. Para cada huerta (HU) se indica: manejo (convencionales (C1-C4), orgánicas (O5-O10), altitud (ALT), temperatura promedio día (TPD), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), humedad relativa (HUM), velocidad del viento (VEL) y la altura promedio de los árboles (A, pequeño (P): < 3 metros; grande (G): > 3 metros). Las huertas en cada manejo están organizadas de menor a mayor altitud.

HU	Latitud (°)	Longitud (°)	ALT (msnm)	TPD* (°C)	TMAX* (°C)	TMIN* (°C)	HUM*	VEL* (K/h)	A
C1	19.34900622	-102.0863216	1790	22.7	20.47	11.87	83.87	3.53	G
C2	19.28983891	-101.6492138	2100	17.33	18.00	5.10	78.27	4.57	P
C3	19.46421687	-101.875245	2326	20.1	21.00	7.37	56.43	11.13	G
C4	19.49233142	-102.0622118	2335	19.5	19.50	5.80	67.80	5.00	G
O5	19.43563504	-101.2764706	1450	19.1	-	-	57.62	-	P
O6	19.47537121	-102.0095601	1498	19.8	21.83	7.13	67.17	5.47	P
O7	19.3960507	-101.857854	1930	22.9	24.30	10.33	52.57	4.40	G
O8	19.28439756	-101.6419902	1937	17.8	18.40	6.03	78.50	4.80	G
O9	19.49030506	-101.922029	1977	21.6	22.20	9.37	70.10	10.00	G
O10	19.48562023	-101.9324036	2014	20.1	21.27	8.20	63.77	10.73	P

* Condiciones ambientales, datos promediados de los días de muestreo.

Las huertas aguacateras del estado de Michoacán han implementado prácticas agronómicas de tipo mixto, donde la materia de origen orgánico es la base principal de la fertilización para la totalidad de las huertas y se aplica en forma de compostas y estiércoles. No obstante, se pueden diferenciar dos tipos de manejo: el convencional y el orgánico, a partir del origen y cualidades de los insumos aplicados en cada sistema. En las huertas convencionales aplican insumos de síntesis química como pesticidas,

herbicidas y fertilizantes, a diferencia de las orgánicas donde predominan los insumos de origen orgánico. En el caso de labores como el control de las herbáceas asociadas al cultivo y de las plagas y enfermedades, se reconocen varias intensidades de acuerdo a la periodicidad de la aplicación de la práctica de manejo, aunque existen algunas prácticas generalizadas a todas las huertas como el corte obligatorio de las herbáceas previo a la cosecha de la fruta. Este corte es una exigencia de las autoridades de Sanidad Vegetal. Cabe indicar, que el tipo de manejo agronómico de las huertas (convencional y orgánico) está ratificado por la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán (APEAM). Tres de las huertas de manejo orgánico poseen certificación para exportar fruta como producción orgánica, las restantes están en trámite. Todas las huertas están reguladas por el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica-Sanidad Vegetal) para el cumplimiento del protocolo de inocuidad alimentaria para productos alimentarios de exportación.

La toma de datos florales, de riqueza y abundancia de los visitantes florales y acarreadores de polen, y producción y calidad de frutos se efectuaron durante los periodos de floración 2010-2011 y 2011-2012 en las mismas 10 huertas, en árboles con más de 8 años de sembrados. Se realizaron tres muestreos en total (dos el primer año y uno el segundo), de 10 días consecutivos cada uno, en los cuales las observaciones comenzaron a las 9 y finalizaron a las 18 horas, observándose 1 árbol cada hora. Estos fueron seleccionados de acuerdo a las características morfológicas aparentes que indicaron salud y vigorosidad; se descartaron árboles con apariencia enferma (hojas amarillentas y/o escasas). Se consideró una separación de al menos 4 hileras de árboles entre los individuos muestreados. Los árboles fueron diferentes en cada observación para evitar los daños en las flores e inflorescencias que pudieran ocurrir durante el conteo de las flores. Se tuvo en cuenta el efecto de borde de la huerta mediante el descarte de al menos las 5 filas más cercanas a cada margen. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad se registraron en cada observación.

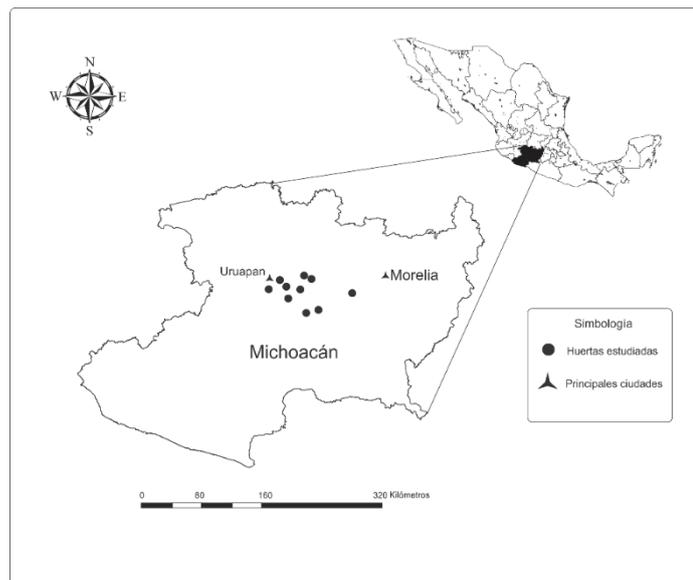


Figura 1. Mapa de ubicación de las huertas estudiadas. La menor distancia entre las huertas más cercanas fue de 1012 m lineales.

Diversidad de visitantes florales y acarreadores de polen

Los ejemplares de los insectos visitantes de las flores del aguacatero fueron recolectados en las mismas huertas, árboles, días y horas de la medición de la oferta floral. El muestreo se realizó por observación y captura directa de los insectos en cada árbol durante 10 minutos, por medio del recorrido constante alrededor del árbol. La recolección de ejemplares fue dirigida específicamente a los insectos posados en las flores del área efectiva de muestreo del árbol bajo observación, lo que aseguró la observación directa de las flores y de los insectos posados en estas. Debido al comportamiento dicogámico de las flores, la recolección de insectos se efectuó a lo largo del día, inició a las 9 y finalizó a las 18hs. Esto permitió recolectar visitantes en flores en estadio femenino y masculino. Los insectos se colectaron con red entomológica y se dispusieron en cámara letal de cloroformo. La recolección de los insectos se ejecutó con captura limpia, cada insecto fue capturado por separado y almacenado de forma independiente para evitar la mezcla de polen entre los ejemplares. Los ejemplares fueron montados y posteriormente identificados. En su mayoría fueron identificados hasta el nivel de especie, en los casos donde no se logró identificarlos hasta este nivel, se nombran como morfoespecies con el nombre de la familia o del género, seguido de un número de individualización. La identificación fue realizada por consultoría a taxónomos profesionales de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM (Dr. Ricardo Ayala Barajas, experto en Himenopteros y el Msc. Enrique Ramírez García, experto en Dípteros). La diversidad de visitantes florales incluye los insectos acarreadores del polen de aguacatero y los no acarreadores de polen del aguacatero.

Para identificar las especies de acarreadoras de polen se realizó un barrido del cuerpo de los insectos en tres partes específicas: cabeza y frente, patas y abdomen con gel de fucsina básica (Castañeda et al., 1999; Kearns y Inouye, 1993) previamente al montaje de los insectos. El conteo de los granos de polen de aguacatero se realizó en la totalidad de la muestra y se identificó la parte del cuerpo dónde era transportado (Augspurger, 1980). En las muestras de polen se observaron otros tipos de polen, estos se identificaron, a nivel de familia taxonómica, el conteo se llevó a cabo hasta alcanzar 51 granos de polen, definiéndose tres categorías: categoría 1 (1-5 granos de polen), categoría 2 (6-50) y categoría 3 (>50). Las categorías fueron establecidas a razón de facilitar el conteo de los otros tipos de polen por no ser estos la especie focal. Las categorías fueron consideradas para describir la especificidad de los insectos acarreadores en el transporte de polen de aguacatero respecto a la cantidad de otros tipos de polen de especies presentes en la huerta.

La identificación de los tipos de granos de polen se hizo por comparación con las bases de datos y catálogos de imágenes de polen y esporas disponibles como recurso electrónico: catálogo de imágenes de polen y esporas de la Universidad de Arizona, Galería de imágenes de polen y esporas de Barro Colorado del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (Roubik y Moreno, 2003), Atlas de polen y esporas de los pantanos de florida y Atlas de Polen del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA). Se consideraron como acarreadores de polen aquellas especies que tenían 5 o más granos de polen en promedio al sumar las tres partes del cuerpo. (Algunas imágenes de los tipos de polen se observan en el Apéndice 2.2, Pág. 66). Se realizó un análisis de asociación entre la abundancia de los acarreadores de polen y la

cantidad promedio de polen en el cuerpo, asumiendo que estos insectos pueden ser potenciales polinizadores.

Planteamiento de la tesis

Esta tesis evaluó en términos generales la incidencia de las prácticas de manejo agronómico sobre la biodiversidad de las huertas aguacateras. Se estudió la diversidad de los visitantes florales, entendidos como los animales que buscan recursos alimenticios en las flores, precisando que un visitante floral no necesariamente es un polinizador (Inouye, 1980). Se evaluaron los visitantes tanto de las flores de aguacatero como de las herbáceas presentes en ausencia de flores de aguacatero y los acarreadores de polen de aguacate y acarreadores de polen de las herbáceas, así como la diversidad de las herbáceas asociadas al cultivo. El trabajo se realizó en huertas de producción de exportación de aguacate del estado de Michoacán, México. El muestreo se realizó en el momento de máxima producción floral del aguacatero (diciembre–enero) y en la máxima floración de las herbáceas (septiembre), esto permitió recolectar las especies funcionalmente más importantes de la comunidad de insectos y herbáceas al menor costo posible (Hegland et al., 2010).

La tesis se compone de 3 capítulos. El primer capítulo plantea la relación entre el manejo agronómico y la diversidad de visitantes florales y plantas herbáceas. Se generaron agrupaciones de las huertas o Unidades Básicas de Clasificación (UBC's) a partir de la información del manejo y la biodiversidad fundamentada en la riqueza de los visitantes florales del aguacatero, la riqueza de los visitantes florales de las herbáceas y la riqueza de las herbáceas.

El segundo capítulo aborda la ecología reproductiva del aguacatero, en donde se estimó la oferta floral del aguacatero y la diversidad de la comunidad de visitantes florales y acarreadores de polen en términos de riqueza específica y abundancia de acuerdo al manejo agronómico orgánico y convencional. Asimismo, se analizó el rol de los acarreadores de polen, determinada por el número de granos de polen transportados. Otro aspecto considerado fue la cantidad de frutos en el árbol durante el desarrollo de la fruta y la contribución de los visitantes florales en la producción total de frutos.

En el tercer capítulo se construyeron y analizaron redes de interacción de polen acarreado-acarreador en dos momentos del cultivo: i) durante la floración del aguacatero y ii) en ausencia de floración del aguacatero, para cada manejo agronómico: convencional y orgánico. A su vez, se analizó la similaridad entre las comunidades de acarreadores de polen en los dos momentos del cultivo, y la estructura del ensamblaje de la red en huertas con manejo orgánico y convencional. Se incluye un apartado final de conclusiones y recomendaciones. En la Tabla 2 se resume la información generada en cada capítulo.

Tabla 2. Cuadro resumen de la información generada en cada capítulo de la tesis (C).

C	Objetivo	Predicción	Información generada
1	Evaluar la relación entre la diversidad de herbáceas y visitantes florales del aguacatero y herbáceas y las prácticas agrícolas	La riqueza de visitantes florales y herbáceas asociadas al cultivo de aguacate estará determinada tanto por el tipo de insumos como por la frecuencia de la aplicación de las prácticas agronómicas.	Frecuencia de corte de herbáceas Aplicación de herbicida Índice y uso sostenible de pesticidas Aplicación de abonos de materia orgánica Tipo de manejo identificado por el productor. Bosque grande (>5 ha) Bosque pequeño (<5 ha) Colmenas introducidas de la abeja europea. Riqueza de los insectos visitantes a las flores del aguacatero Riqueza de los insectos visitantes a las flores de las herbáceas Riqueza de herbáceas
2	Estudiar el comportamiento floral del aguacatero y la sincronía de los estados sexuales de la flor de acuerdo a las condiciones ambientales y al manejo agronómico	El comportamiento floral del aguacatero en condiciones de la franja aguacatera corresponderá a la dicogamia protogínica de sincronización diurna observada en las variedades de tipo A del género <i>Persea</i> : el estado femenino en la mañana y el masculino en la tarde.	Número de flores abiertas (cada hora) Estado sexual de las flores (cada hora)
	Conocer la riqueza y la abundancia de los insectos visitantes de las flores y de los acarreadores del polen del aguacatero, y la relación entre estos dos grupos y las condiciones ambientales. Conjuntamente analizar la contribución de los acarreadores en el desempeño del acarreo de granos de polen de aguacatero	La calidad de acarreo de polen de aguacatero por parte de los acarreadores nativos es mejor en términos de abundancia, polen transportado de aguacatero y de otros tipos de polen, a la carga polínica de la abeja europea.	Riqueza de los visitantes florales Abundancia de los visitantes florales Riqueza de los acarreadores de polen Abundancia de los acarreadores de polen Número de granos de polen de aguacatero promedio por cada especie de acarreador Número de granos de polen promedio de otros tipos de polen por cada especie de acarreador
	Evaluar el efecto del manejo convencional y orgánico en la comunidad de visitantes y acarreadores de polen del aguacatero	La riqueza de los insectos visitantes florales y diversidad alfa será menor en el manejo convencional que el manejo orgánico, y habrá menor similitud entre la composición de especies del manejo orgánico que del convencional.	Riqueza y abundancia de visitantes florales por cada tipo de manejo Riqueza y abundancia de acarreadores de polen por cada tipo de manejo Índice de similitud de Jaccard
	Evaluar la producción de frutos y analizar la contribución de los visitantes florales en la producción total de frutos	En presencia de acarreadores de polen la cantidad de frutos por árbol es mayor respecto a cuando no están presentes	Número de frutos por m ² en tres momentos del estadio fenológico Número de frutos (m ²) en árboles con presencia y con ausencia de visitantes florales

<p>3 Analizar las interacciones mutualistas entre plantas y acarreadores de polen, en huertas aguacateras bajo manejo convencional y orgánico.</p>	<p>La composición de especies y estructura de las redes de transporte de polen serán más similares entre las huertas del mismo tipo de manejo agronómico que entre huertas de distinto tipo de manejo.</p> <hr/> <p>La similitud entre los ensamblajes de especies acarreadoras de polen en los momentos de floración del aguacatero y las herbáceas a nivel de huerta y de manejo será alta. Sin embargo, se espera diferencia entre los manejos.</p>	<p>Especies de acarreadores y tipos de polen en común de cada huerta Proximidades de las interacciones entre ambos manejos Estructura de las redes de interacción: Número de tipos de polen (P) Número de especies de acarreadores de polen (A) Conectancia (C), Anidamiento (N) Equitatividad de las interacciones (EI) Riqueza de interacciones (RI) Grado de selectividad de la red (H2').</p> <hr/> <p>Índice de Sorensen</p>
---	--	--

CAPÍTULO 1

RELACIÓN ENTRE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO AGRONÓMICO Y LA BIODIVERSIDAD A NIVEL DE HUERTA

Resumen

En este trabajo se planteó la hipótesis de que la riqueza de los visitantes florales de las herbáceas y del aguacatero y las plantas herbáceas asociadas al cultivo de aguacate están determinadas tanto por el tipo de insumos como por la frecuencia de la aplicación de las prácticas agronómicas; es decir, por la *intensidad de manejo* en las huertas de cultivo de aguacate. La hipótesis se puso a prueba, a partir de la conformación de dos Unidades Básicas de Clasificación (UBC'S), la primera conformada por atributos de manejo y la segunda por atributos de biodiversidad, mediante un análisis de correlación de matrices. Las huertas orgánicas se separaron claramente de las convencionales principalmente en el primer factor, por la frecuencia de los cortes de hierbas. En las dos UBC's de los atributos de manejo y de biodiversidad se distinguieron tres grupos de huertas, las convencionales y dos grupos de huertas orgánicas. Los tres grupos funcionales de organismos estuvieron influenciados por las prácticas de manejo aplicadas, aunque esta influencia no se relacionó tanto con el tipo de manejo convencional u orgánico, sino con el conjunto de prácticas usadas de forma particular en cada huerta. Esta investigación sugiere que, la clasificación del manejo agronómico no solo se conciba a partir del origen o tipo de los insumos aplicado, que tradicionalmente lo separa en convencional u orgánico, sino también considerando las frecuencias de las prácticas de manejo y el contexto ecológico de las huertas. La respuesta de la biodiversidad frente a las diferentes prácticas de manejo debe ser evaluada de una manera más integral con el fin de mantener los procesos ecológicos al interior del sistema productivo y generar mayor sostenibilidad del agroecosistema.

1.1 Introducción

Los agroecosistemas, entendidos como sistemas ecológicos transformados para la producción de bienes, son sistemas productivos bien definidos al menos en términos de sus límites biológicos y físico-químicos (Conway, 1985). El funcionamiento de los agroecosistemas depende en gran medida de la estructura (edad y diversidad de las especies de importancia económica) y el manejo (prácticas agronómicas). No obstante, la biodiversidad presente en el sistema juega un rol importante en los procesos ecológicos. En esta biodiversidad se incluye la flora y fauna que se desarrollan en el agroecosistema dependiendo de su manejo (Altieri, 1999). La presunción general es que, la simplificación de estos sistemas facilitada por la intervención antropogénica produce la pérdida de la diversidad biológica y el deterioro de procesos ecosistémicos (Giller et al., 1997). Sin embargo, actualmente se ha reconocido la contribución de los agroecosistemas en el mantenimiento de la biodiversidad (Pimentel et al., 1992; Tscharntke et al., 2005; Kremen et al., 2007).

La cantidad y calidad de los insumos utilizados y las prácticas de manejo son fundamentales para la sostenibilidad productiva y ecológica de un agroecosistema (Hansen, 1996; Tilman, 2002; Abbona et al., 2007; Lançon et al., 2007). Desde la perspectiva del origen de los insumos, ya sean fertilizantes, plaguicidas, fungicidas y herbicidas, se identifican en términos generales dos tipos de manejo: el convencional y el orgánico (Stanhill, 1990; Abaidoo y Dickinson, 2002).

En producciones comerciales de aguacate se ha observado variedad de tipos de manejo agronómico en función de las decisiones que toma cada productor (Burgos et al., 2011). Cada huerta de aguacate conlleva un sistema de manejo particular, el cual determina la

dinámica de los componentes y de los procesos naturales del agroecosistema (Jackson y Piper, 1989). A diferencia de las huertas convencionales, el manejo orgánico restringe el uso de insumos de síntesis artificial y promueve la aplicación de materiales de origen biológico (Van-Diepeningen et al., 2006). La discusión sobre las bondades de cada tipo de manejo es constante (De Ponti et al., 2012) dada la atribución de cualidades productivas y económicas directas a las huertas convencionales y de cualidades ecológicas y valor agregado a las huertas orgánicas (Stanhill, 1990; Drinkwater, 1995; Paoletti, 1995; Tilman et al., 2002; Pimentel, et al., 2005; Castellini, et al., 2006; Brumfield et al., 2010; Spiertz, 2010). En sistemas productivos intensivos, altamente demandantes de insumos y con altos niveles de rentabilidad, es fundamental generar esquemas de manejo integrado que incluyan prácticas agronómicas donde se combinen los beneficios de los insumos y se facilite la sostenibilidad (Hansen, 1996; FAO y World Bank 2001; Bradley et al., 2002; Tscharrntke et al., 2005).

El aguacatero se convirtió en los últimos años en un producto del sector primario con gran demanda en los mercados mundiales (Lemus, et al., 2005; SAGARPA, 2008). En el año 2010 México ocupó el primer lugar en producción (28%) y área sembrada (24%) en el mundo (FAOSTAT, 2012). El aumento del área cultivada en el interior del país ha tenido crecimiento constante, con un incremento del 31% en el periodo 2000-2010, y ha conllevado a la intensificación en las prácticas agronómicas. El estado de Michoacán participa con más del 80% del área y el 87% de la producción nacional total (SAGARPA, 2008). Allí, la intensificación de los cultivos ha generado el uso de considerables cantidades de fertilizantes, insecticidas y herbicidas así como erosión del suelo y deforestación de bosques naturales (Barsimantov y Navia, 2012; Bravo et al., 2012). Cultivos intensivos como el aguacate pueden presentar manejo heterogéneo, en el cual en una misma región o incluso huerta coexisten tecnologías o prácticas de manejo diversas.

Por su parte, en el cultivo del aguacate, la biodiversidad asociada cobra importancia por las características biológicas de la especie. El aguacatero es una planta que exhibe la maduración de las partes femeninas y masculinas de la flor en diferentes momentos del día. Esta dicogamia tiende a favorecer la polinización cruzada entre cultivares complementarios (Nirody, 1922; Stout, 1923; Davenport, 1986) proceso llevado a cabo por insectos que visitan las flores en ambas fases (Sedgley, 1987; Ish am y Eisikowitch, 1991). Abejas, avispas y moscas son considerados como los principales visitantes florales y polinizadores del aguacate en el mundo (Roubik, 1995). En cuanto a la diversidad de herbáceas en las huertas aguacateras no se encontraron referencias de trabajos previos sobre las interacciones entre esta comunidad y el aguacatero, sin embargo, en los últimos años se ha promovido una serie de alternativas de manejo en áreas intensamente cultivadas para aumentar la disponibilidad de polen y néctar como recursos alimenticios para las especies polinizadoras (Wratten et al., 2012),

La gran diversidad de esquemas de manejo que resulta de las prácticas agronómicas que se realizan en cada una de las huertas, hace que el agrupamiento general de las huertas en convencionales u orgánicas sea limitado, ya que posiblemente esta denominación no exhiba las verdaderas similitudes y diferencias entre la estructura y los procesos ecológicos de las específicas de cada huerta y, por lo tanto, tampoco evidencie la composición de la biodiversidad presente. El propósito de este estudio fue evaluar la relación entre algunos componentes de la biodiversidad presente y las prácticas agrícolas en huertas aguacateras, para lo cual se planteó la hipótesis que la riqueza de

visitantes florales y herbáceas asociadas al cultivo de aguacate está determinada tanto por el tipo de insumos (según categoría toxicológica) como por la frecuencia de la aplicación de las prácticas agronómicas. La validez de esta hipótesis tiene implicaciones ecológicas y económicas, dado el nivel de dependencia de los sistemas productivos agrícolas en la aplicación de insumos y frecuencia de las labores.

La hipótesis se puso a prueba en huertas de cultivo de aguacate, mediante la comparación de matrices de disimilaridad a nivel de huerta. Para tal fin, se consideraron dos atributos de las huertas: el manejo y la biodiversidad. Se formaron grupos de huertas o Unidades Básicas de Clasificación (UBC's) (Nuñez y Escobedo, 2011) para cada atributo. Los grupos fueron conformados a partir de los datos de tipo de insumo y frecuencia de las prácticas agrícolas, y riqueza de visitantes florales y herbáceas, respectivamente. Además se incluyó la presencia de áreas de bosque como indicador del contexto ecológico que puede influir en la biodiversidad que se encuentra asociada a las huertas.

1.2. Metodología

1.2.1 Contexto general

El estudio comprendió tres fases. La primera fase consistió en el relevamiento de la información en campo. La segunda fase incluyó la selección de variables del manejo agronómico que se consideraron influyentes en la riqueza de visitantes florales y herbáceas. La tercera fase comprendió la formación de las Unidades Básicas de Clasificación (UBC's) y la correlación entre las matrices resultantes. La UBC es definida como la unidad básica del objeto o entidad, la cual es descrita y utilizada para lograr el objetivo de la caracterización (Nuñez y Escobedo, 2011). En este trabajo, se consideró una relación de causa-efecto de las prácticas de manejo agronómico sobre la biodiversidad, por lo que se procedió a la comparación de las matrices de disimilaridad de las UBC's de ambos atributos (Fig. 1).

1.2.2 Relevamiento de la información

La información de la naturaleza técnica y el contexto ecológico se obtuvo a partir de un cuestionario semiestructurado aplicado a los productores de cada huerta (Apéndice 1.1, Pág. 25). La información de biodiversidad se obtuvo a partir de los datos de riqueza de los insectos visitantes de las flores del aguacatero (RVA) y los insectos visitantes de las flores de las herbáceas (RVH) y la riqueza de las herbáceas con flor presente (RHE). Los muestreos se realizaron en las mismas huertas y en los mismos años del relevamiento de la información con los productores. El muestreo de los visitantes florales del aguacatero y de las herbáceas se realizó por observación y captura directa de los insectos en recorrido constante alrededor de 10 árboles (muestreo en flores de aguacate) o 10 parcelas de 200 m² (muestreo en flores de herbáceas) en cada huerta. La captura de insectos en los aguacateros se realizó en la época de máxima floración en los periodos 2010/11 y 2011/12 (tres muestreos), la captura de insectos en herbáceas se llevó a cabo en el año 2011 (un muestreo) en el período de floración de estas. Se consideró que el recurso floral muestreado (aguacatero o herbáceas) fuera el único presente en la huerta en ese momento. El muestreo de herbáceas se realizó en la misma área del muestreo de los visitantes de las flores de herbáceas y en el mismo momento,

por recorrido continuo asegurándose de identificar la totalidad de las especies de hierbas presentes en la parcela.

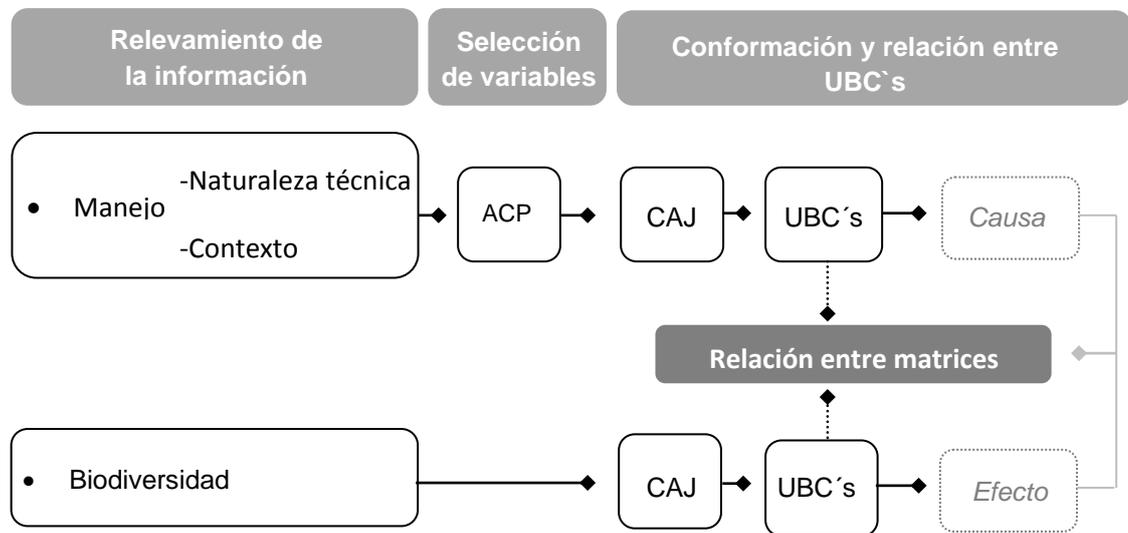


Figura 1. Modelo metodológico utilizado para la generación de las Unidades Básicas de Clasificación según los atributos de manejo y biodiversidad. Comprendió tres fases: i) relevamiento de la información del manejo y de la biodiversidad, ii) la selección de variables por medio de análisis multivariado de Componentes Principales (ACP) y iii) la conformación de las UBC's por agrupación con Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ) y comparación entre matrices de disimilaridad. La información de manejo fue obtenida a través de encuestas y entrevistas, y la información de biodiversidad fue obtenida directamente en campo. Por su parte, se consideró una relación de causa-efecto entre el manejo agronómico y la biodiversidad, la cual se analizó por medio de la comparación de las matrices resultantes del análisis multivariado.

1.2.3 Selección de variables de manejo e índice del efecto de los plaguicidas

La identificación y selección de las variables de los atributos de manejo fue determinada por la influencia directa de las prácticas de manejo agronómico en la riqueza de visitantes florales y de herbáceas (Tabla 1). Aquellas variables que no diferían entre huertas o que estuvieran correlacionadas entre sí fueron eliminadas para generar la mayor segregación de los grupos (Köbrich et al., 2003). Las variables resultantes fueron identificadas y posteriormente seleccionadas a partir del Análisis de Componentes Principales (ACP). Los datos fueron analizados con el programa XLSTAT Versión 2009.1.02.

Las variables identificadas fueron: frecuencia de corte de herbáceas (CHAP: número de veces/año), aplicación de herbicidas (HER: aplica-no aplica), riesgo toxicológico de pesticidas (PEST: índice que se explica mas adelante), aplicación de abonos de materia orgánica al suelo (ABO) y tipo de manejo identificado por el productor (TIP). Las variables del contexto fueron: Presencia de bosque, variable que fue convertida en variable dummy resultando dos tamaños de bosque: bosque grande (>5 ha) (BOG: presencia/ausencia) y bosque pequeño (<5 ha) (BOP: presencia/ausencia), y colmenas introducidas de abeja europea (COL: presencia/ ausencia). Los datos fueron transformados (Estandarización n-1), después de la normalización, cada parámetro contribuyó de igual forma a la varianza del conjunto de datos (Patras et al., 2011).

Las variables ambientales y de localización no se consideraron ya que todas las huertas se encuentran en las condiciones recomendadas para la producción de aguacate variedad Hass (Gutiérrez et al., 2010). A su vez, no se encontró correlación entre la riqueza específica de los visitantes florales de la flor del aguacatero, visitantes florales de las herbáceas y las herbáceas con la temperatura promedio o la humedad relativa promedio ($r= 0.24$, $p= 0.503$; $r= -0.154$, $p= 0.67$; $r= -0.167$ $p= 0.646$ y $r= -0.064$, $p= 0.861$; $r= -0.404$, $p= 0.247$ y $r= -0.044$, $p= 0.903$), respectivamente.

Dada la complejidad y el número de factores que se incluyeron en la variable de uso de insecticidas en el sistema, se construyó un índice de uso sostenible de pesticidas (*PEST*) para cada huerta, con la siguiente ecuación:

$$PEST = \frac{\left(1 - \frac{\overline{X}(Cp)^2}{Ap}\right)^2}{\left(\frac{\overline{X}(Cp)^2}{Ap}\right)^2}$$

donde, $\overline{X}Cp$ es el promedio de las categorías de todos los insecticidas aplicados en la huerta y Ap es la cantidad de aplicaciones de los insecticidas al año. El rango de valores del índice es de 0 a 1, siendo 0 uso menos sostenible y 1 uso más sostenible. El criterio para la construcción del índice fue darle importancia a la cantidad de productos utilizados y a la cantidad de aplicaciones, y darle mayor peso a la categoría toxicológica el cual es mayor en los productos con categorías más tóxicas. Por esto, el índice adquiere valores bajos (uso menos sostenible de pesticidas) cuando se hacen aplicaciones de categorías toxicológicas altas y valores altos (uso más sostenible de pesticidas) con aplicaciones de categorías toxicológicas bajas. Las categorías toxicológicas fueron identificadas de acuerdo a la clasificación para plaguicidas principalmente con base a su toxicidad aguda en estudios con animales, establecida por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés, 2009). Estas son determinadas sobre la base de la DL50 aguda oral o dermal (1=altamente tóxico, 2= moderadamente peligroso, 3= ligeramente tóxico, 4= producto que normalmente no ofrece peligro). Se adicionó una categoría para incluir los insumos de origen orgánico (5= producto de origen orgánico que normalmente no ofrece peligro), ya que en la categorización de la WHO no son considerados, se asumió el atributo de la categoría toxicológica anterior a esta. En el Apéndice 1.2 (Pág. 29) se relacionan los productos utilizados en las huertas. Se construyó la matriz de correlación entre las variables de manejo y las de biodiversidad entre sí, por el coeficiente de Pearson ($\alpha=0.05$). Además, se realizó la de esfericidad de Bartlett por la significación de la correlación ($\alpha = 0.05$).

1.2.4 Obtención de las Unidades Básicas de Clasificación (UBC's)

A partir de las variables seleccionadas de los atributos de manejo y biodiversidad se formaron los grupos de UBC's, con características similares a partir de las disimilitudes que se presentaron entre pares de estas UBC's en las características evaluadas (Johnson 1998). Las agrupaciones se construyeron a partir del análisis de clúster, mediante Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ), se utilizó la varianza mínima de Ward's para optimizar la mínima varianza entre grupos y encontrar grupos relativamente similares en tamaño y talla, y la distancia Euclidiana para la medida de los intervalos entre las observaciones (Köbrich et al., 2003).

1.2.5 Comparación entre las Unidades Básicas de Clasificación

El análisis de comparación entre la UBC's de los atributos de manejo agronómico y biodiversidad se realizó con el Test de Mantel (Mantel, 1967) aplicado a las matrices de disimilaridad obtenidas. Esta prueba no paramétrica de asignación aleatoria, genera niveles de significancia estadística para las medidas de correlación de similitud entre las matrices de distancia, sin suposiciones de distribuciones de probabilidad específicas. Se usó el coeficiente de correlación de Pearson ($\alpha=0.05$) y el test de permutación con 10.000 permutaciones de significancia (Smouse et al., 1986). Los datos fueron analizados con el programa XLSTAT Versión 2009.1.02.

1.3 Resultados

1.3.1 Identificación y selección de las variables

Se seleccionaron 6 variables para el atributo de manejo y 3 variables para el atributo de biodiversidad. En la Tabla 1 se observan los resultados. La variable abono (ABO) no fue considerada, ya que el 100% de los productores los aplica de forma similar (época de aplicación, cantidad y calidad), como tampoco la variable tipo de manejo (TIP) que fue descartada para evitar un sesgo en la clasificación. La aplicación de herbicidas (HER) fue una práctica poco usual; sólo en una huerta se hace uso de estos insumos para controlar las herbáceas en la zona de goteo. No obstante, el mantenimiento de las hierbas se realiza en la totalidad de las huertas de forma manual, por corte mecánico. Se identificó como atributo importante la frecuencia anual de cortes (CHAP). Se determinaron tres rangos de frecuencia: baja (≤ 4 cortes/año), media (5-7 cortes/año) y alta (≥ 8 cortes/año). La aplicación de insecticidas se realizó en el 100% de las huertas, pero difieren en el uso de los productos en cuanto a la categoría toxicológica y la cantidad de aplicaciones al año. Se establecieron tres rangos de intensidad para el índice PEST: uso sostenible de pesticidas alto (1.0-0.8), uso sostenible de pesticidas medio (0.7- 0.5) y uso sostenible de pesticidas bajo (0.4-0.1), considerando que, el uso menos sostenible presentó aplicaciones de categorías toxicológicas altas (categorías entre 3 a 3.8 y de 6 a 10 aplicaciones) y el uso más sostenible presentó pocas aplicaciones y categorías toxicológica bajas (categoría 5 y 3 aplicaciones), el uso sostenible de pesticidas medio presentó valores intermedios en las categoría y en la aplicación (categorías entre 4.3 a 5 y entre 4 a 7 aplicaciones). A su vez, las huertas con pocas aplicaciones de categorías toxicológicas intermedias a bajas presentaron altos valores en el índice, a diferencia de huertas con muchas aplicaciones de categorías toxicológica bajas (4 y 5) presentaron valores medios.

El 50% de las huertas tienen bosque, aunque el 20% de estas presenta bosque grande y el 30% bosque pequeño. En cuanto a las variables de biodiversidad, la riqueza de visitantes florales del aguacatero fue en promedio 15.2 especies por huerta (± 5.84 , desviación estándar), la riqueza promedio de visitantes de herbáceas de 19.3 especies (± 7.36) y la riqueza promedio de herbáceas de 11.3 especies (± 5.06), (Tabla 1). Segregando los manejos agronómicos, la riqueza promedio de plantas herbáceas con flor en huertas convencionales fue de 7.5 especies (4-10, SE ± 1.32), a diferencia de las huertas orgánicas donde fue de 13.8 especies (6-21, SE ± 2.15). La riqueza de especies de visitantes florales del aguacatero y de los visitantes de las plantas herbáceas fue de

11.5 (6-16, SE \pm 2.06) y 12.7 (5-18, SE \pm 2.75) en las huertas convencionales, y 17.7 (13-28, SE \pm 2.58) y 23.7 (18-32, SE \pm 2.35) en las huertas orgánicas, respectivamente (Fig. 2).

Tabla 1. Resultados de las variables identificadas para la generación de las Unidades Básicas de Clasificación (UBC's). Las variables de manejo: CHAP: frecuencia de corte de herbáceas (cantidad de veces/año), HER: aplicación de herbicidas, (aplica/no aplica), PEST: uso sostenible de pesticidas (índice: 0-1), ABO: aplicación de abonos de materia orgánica al suelo y TIP: tipo de manejo identificado por el productor. Las variables del contexto: BOG: bosque grande (>5 ha) (presencia/ausencia), BOP: bosque pequeño (<5 ha) (presencia/ausencia) y COL: colmenas introducidas de la abeja europea (presencia/ausencia). Las variables de biodiversidad: RVA: riqueza de los insectos visitantes a las flores del aguacatero, RVH: riqueza de los insectos visitantes a las flores de las herbáceas y RHE: riqueza de las herbáceas. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

	Concepto	V	C1	C2	C3	C4	O5	O6	O7	O8	O9	O10
Manejo	TIP		C	C	C	C	O	O	O	O	O	O
	Naturaleza técnica	ABO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		HER	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		CHAP	10	6	10	10	4	6	2	2	3	3
	PEST	0.3	0.2	0.2	0.1	0.8	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	
	Contexto	BOG	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
		BOP	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
COL		0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	
Bio-diversidad	RVA	12	16	12	6	23	15	28	13	13	14	
	RVH	14	5	18	14	29	32	19	20	24	18	
	RHE	9	7	4	10	21	14	13	18	11	6	

1.3.2 Selección de las variables de manejo, análisis de componentes principales

Con el fin de usar la menor cantidad de factores de los obtenidos en el análisis de componentes principales se retuvieron sólo 3 factores, los cuales explicaron el 82.7% de la varianza total observada (Tabla 2). La carga factorial de las variables del primer factor muestra la importancia de la aplicación de insecticidas y la frecuencia de corte de herbáceas, del segundo factor la presencia de bosque y en el tercer factor la aplicación de herbicida y la introducción de colmenas. La contribución total de cada variable en estos componentes fue superior a 40%. La carga factorial y la contribución de las variables se observan en la Tabla 3. Por su parte las cargas factoriales de las variables sobre los primeros dos componentes del PCA, que explican el 65.4% de la varianza arrojan tres tendencias principales (agrupamientos) en los datos de las huertas (Tabla 3 y Fig. 3). Las huertas C1, C2, C3 y C4 conforman un primer grupo, que incluye las huertas identificadas por los propios productores como manejo convencional, el segundo grupo con las huertas O5, O6 y O8, y el tercer grupo que incluye las huertas O7, O9 y O10, fueron identificadas por los productores como huertas de manejo orgánico. Las huertas convencionales se separaron claramente de las orgánicas principalmente en el primer factor, por la mayor frecuencia de los cortes de hierbas. Los dos grupos de huertas orgánicas no se separaron en el primer factor, sino en el segundo, por la presencia de bosque grande o pequeño.

Las variables de manejo de uso sostenible de pesticidas y la frecuencia anual de corte mostraron correlación significativa: en huertas donde el uso sostenible de pesticidas fue

bajo, fue frecuente el corte de herbáceas (Tabla 4). En el Apéndice 1.3 (Pág.30) se muestran los valores del índice PEST por cada huerta.

Tabla 2. Valores propios de todos los componentes generados en el Análisis de Componentes Principales (ACP).

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valor propio	2.427	1.499	1.037	0.825	0.164	0.048
Variabilidad (%)	40.444	24.987	17.284	13.753	2.727	0.804
% acumulado	40.444	65.432	82.715	96.469	99.196	100.000

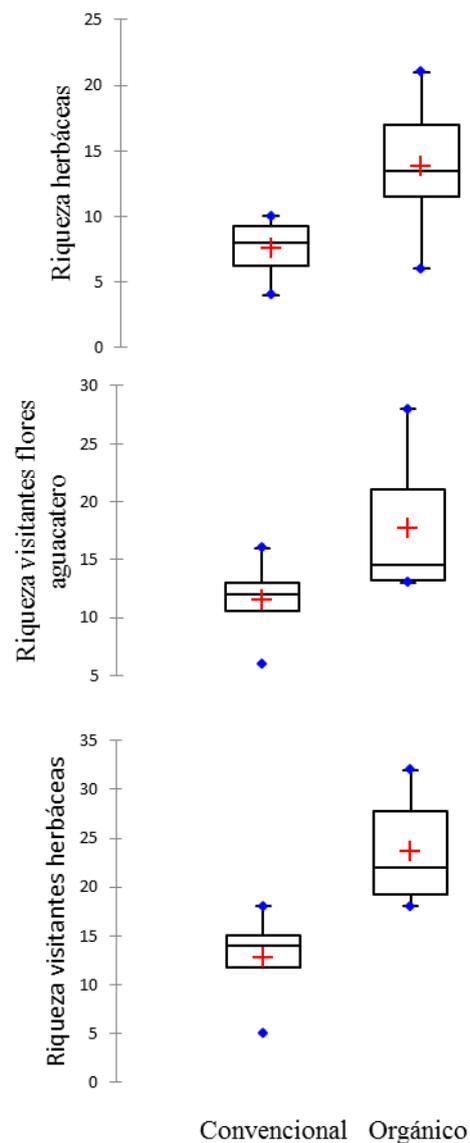


Figura 2. Comparación entre los manejos orgánico y convencional respecto: la riqueza de las herbáceas (superior), la riqueza de los visitantes del aguacatero (medio) y la riqueza de los visitantes florales de las herbáceas (inferior). Se incluyen los promedios y las barras de error estándar.

Tabla 3. Carga factorial y contribuciones de las variables de manejo de los tres factores principales seleccionados.

Variable	Carga factorial			Contribución de las variables		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
PEST	0.943	0.173	0.227	36.674	1.994	4.956
COL	-0.402	-0.363	0.550	6.648	8.770	29.188
CHAP	-0.844	0.332	-0.229	29.358	7.370	5.056
HER	-0.432	-0.203	0.683	7.689	2.739	44.992
BOG	0.399	0.782	0.396	6.549	40.758	15.086
BOP	0.563	-0.758	-0.087	13.082	38.369	0.722

Tabla 4. Correlaciones entre todas las variables incluidas en los análisis. Se incluyen las variables de manejo y las de biodiversidad. Las variables consideradas fueron: uso sostenible de pesticidas (PEST: índice); colmenas introducidas de la abeja europea (COL: presencia/ ausencia); frecuencia de corte de herbáceas (CHAP: número de veces/año); aplicación de herbicidas (HER: aplica-no aplica); bosque grande (>5 ha) (BOG: presencia/ausencia), bosque pequeño (<5 ha) (BOP: presencia/ausencia); riqueza de los insectos visitantes de las flores del aguacatero (RVA); riqueza de los insectos visitantes de las flores de las herbáceas (RVH) y la riqueza las herbáceas con flor presente (RHE). Para el tamaño del bosque se trabajó con variables dummy. Los datos fueron transformados (Estandarización n-1) y después de la normalización cada parámetro contribuyó de igual forma a la varianza del conjunto de datos. Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación ($\alpha=0.05$).

	PEST	COL	CHAP	HER	BOG	BOP	RVA	RVH	RHE
PEST	1	-0.297	-0.762	-0.299	0.594	0.386	0.792	0.685	0.717
COL	-0.297	1	0.219	0.272	-0.102	0.089	-0.007	-0.557	-0.272
CHAP	-0.762	0.219	1	0.042	-0.095	-0.606	-0.595	-0.498	-0.338
HER	0.299	0.272	0.042	1	-0.167	-0.218	0.046	-0.283	-0.647
BOG	-0.594	-0.102	-0.095	-0.167	1	-0.327	0.325	0.613	0.761
BOP	-0.386	0.089	-0.606	-0.218	-0.327	1	0.351	-0.168	0.092
RVH	-0.685	-0.557	-0.498	-0.283	0.613	-0.168	0.434	1	0.612
RVA	-0.792	-0.007	-0.595	0.046	0.325	0.351	1	0.434	0.273
RHE	-0.717	0.272	0.338	0.647	-0.761	-0.092	-0.273	-0.612	1

1.3.3 Unidades Básicas de Clasificación (UBC's), análisis de clúster

Se distinguieron tres grupos de huertas o UBC's en el atributo de manejo (Fig. 4). El primer truncamiento agrupó las huertas convencionales C1, C2, C3 y C4, el segundo agrupó las huertas orgánicas O5 y O6 y el tercer truncamiento las huertas orgánicas O7, O8, O9 y O10. Puede observarse como los grupos advertidos en los análisis multivariados ACP y ACJ fueron similares. De igual forma, en el atributo de biodiversidad se generaron tres grupos. El truncamiento agrupó nuevamente las huertas convencionales C1, C2, C3 y C4 en un primer grupo, que en este caso también incluyó la huerta orgánica O10. Las huertas orgánicas se separaron claramente con las huertas O6, O8 Y O9 como segundo grupo y las huertas O5 y O7 en el tercer grupo (Fig. 5). En la Tabla 5 se observan las varianzas intraclases de cada grupo. A pesar del cambio observado en las huertas que conformaron cada grupo respecto al dendrograma del atributo de manejo, las agrupaciones respondieron al tipo de manejo reconocido por los

productores (convencional y orgánico), en el primer grupo se encontraron las huertas de manejo convencional y en los otros dos grupos las huertas de manejo orgánico.

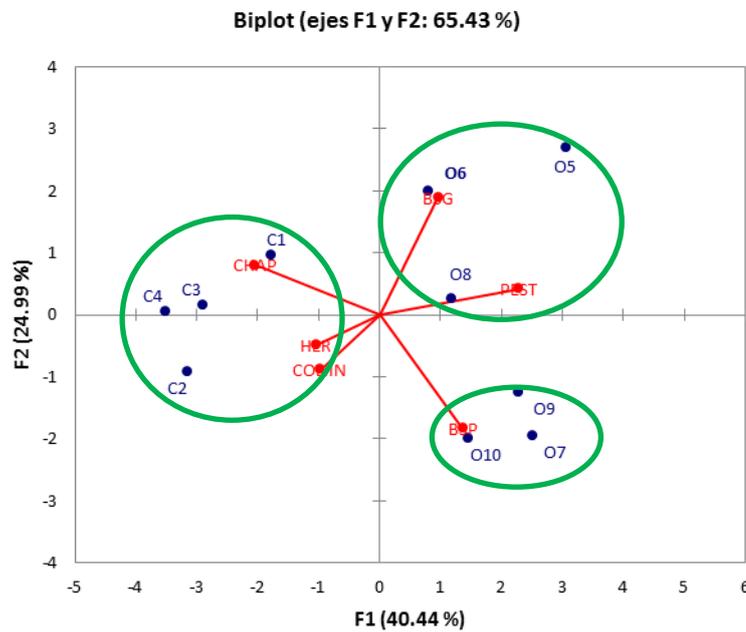


Figura 3. Selección de variables y de los factores mediante análisis de componentes principales. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

La mayoría de las huertas usan insumos para controlar las plagas, pero claramente las huertas orgánicas usan productos que indican mayor uso sostenible de pesticidas, aún cuando puedan hacer igual cantidad de aplicaciones que las convencionales. Sin embargo, el grupo de las huertas orgánicas fue segregado en dos subgrupos debido a la diferencia de manejo entre estas, las diferencias se dieron a partir del tamaño del bosque y la frecuencia del corte de herbáceas. Un subgrupo de huertas orgánicas (O7, O8, O9 y O10) realiza corte de herbáceas con baja frecuencia (2-3 cortes/año) y presentan bosque pequeño o no presentan bosque, el otro subgrupo de huertas (O5 Y O6) realiza cortes de las herbáceas con mayor frecuencia (4-6 cortes/año) pero presentan bosque de tamaño grande.

Tabla 5. Clasificación de las huertas según los grupos de las huertas o UBC's basado en las distancias de disimilitud para el atributo de manejo y de biodiversidad. El análisis se realizó en Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ).

Grupo	UBC (manejo)			UBC (biodiversidad)		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
Objetos	2	4	4	5	3	2
Varianza intraclase	2.99	3.60	2.76	2.28	1.09	1.04

1.3.4 Correlación de las Unidades Básicas de Clasificación (UBC's)

El análisis de correlación de Mantel entre las matrices de distancia de las UBC's de manejo y biodiversidad muestra la existencia de correlación estadísticamente significativa ($r=0,492$, $p<0,0001$). Esto indica que la riqueza de visitantes de las flores del aguacatero, los visitantes de las flores de las herbáceas y las herbáceas de las huertas aguacateras estuvo influenciada por las prácticas específicas de manejo aplicadas en cada una. En la Fig. 6 se observa la correlación entre las matrices.

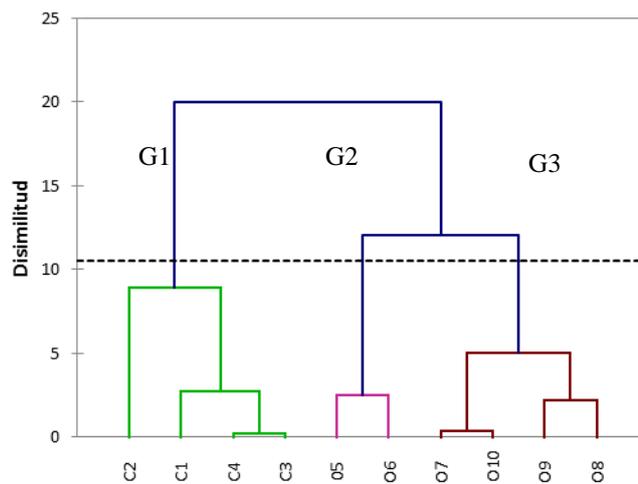


Figura 4. Dendrograma que representa los grupos de huertas o UBC's basado en las distancias de disimilitud en el atributo de manejo. La línea punteada representa el truncamiento de los grupos, y los números inferiores muestran la varianza intra-clase de cada grupo. Se observan tres grupos. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

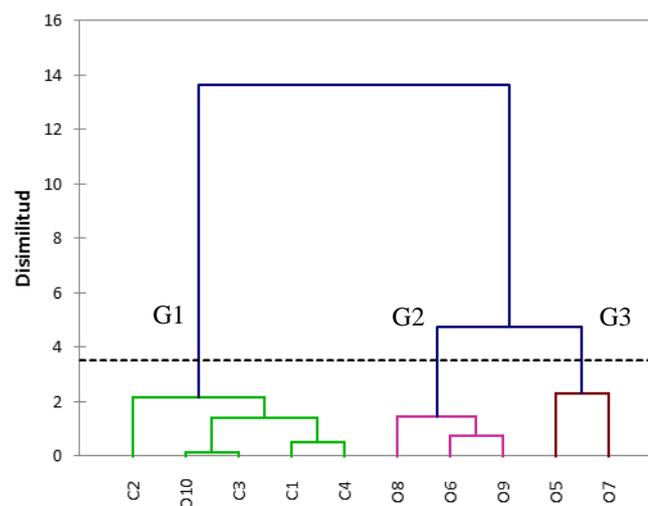


Figura 5. Dendrograma que representa los grupos de huertas o UBC's basado en las distancias de disimilitud en el atributo de biodiversidad. La línea punteada representa el truncamiento de los grupos, y los números inferiores muestran la varianza intra-clase de cada grupo. Se observan tres grupos. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

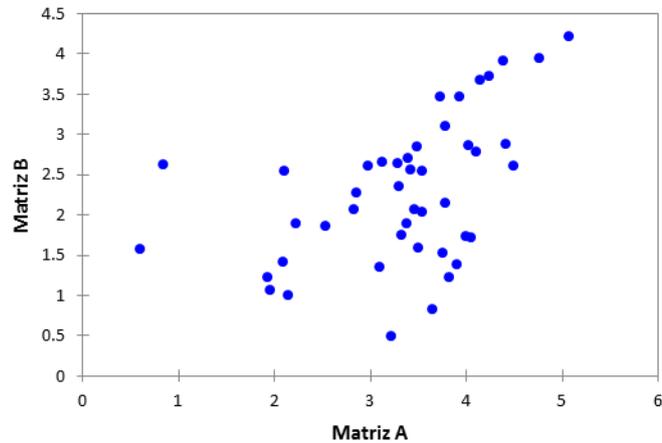


Figura 6. Correlación entre las matrices de disimilaridad de las UBC's de los atributos de manejo y biodiversidad ($\alpha = 0.05$).

1.4 Discusión

La asociación del manejo específico de las huertas con la biodiversidad ha sido planteada como hipótesis (Giller et al., 1997; Altieri, 1999) e identificada a nivel de campo (Bradley et al., 2002; Firbank et al., 2008) a nivel de huerta y de paisaje. En el marco de los conceptos de Agricultura Sostenible y de Manejo Integrado de Huertas no resulta simple catalogar de forma excluyente los sistemas productivos como orgánicos o convencionales, ya que la actividad agrícola se practica en diversas condiciones naturales y sociales, concibiendo diferentes modos de producción (Morales, 2003). En este trabajo se observó, que aunque los sistemas productivos agrícolas responden a los dos tipos de manejo anteriormente mencionados, se pueden establecer agrupaciones a nivel de huerta al interior de estos dos manejos de acuerdo a las prácticas de manejo aplicadas. Esto sugiere que es más apropiada una consideración más específica dentro de estos dos tipos de manejos, que considere las prácticas aplicadas (insumos y frecuencia de aplicación) y el entorno a nivel de huerta.

Unidades básicas de Clasificación según el tipo de manejo

En el atributo de manejo se identificaron tres grupos de huertas claramente definidos por la naturaleza técnica (prácticas agronómicas) y el contexto (las áreas de bosque). Resulta notable el peso que tuvo la aplicación de productos de síntesis química u orgánica para control de plagas y, aunque en menor grado, también la frecuencia de los cortes de hierba en la separación de los grandes grupos. Las huertas de manejo orgánico mostraron similitud por el tipo de insumo aplicado pero no por las otras prácticas de manejo o el contexto ecológico. Por esto no se observa un patrón consistente en los grupos de huertas, especialmente al interior de las huertas orgánicas.

Posiblemente el efecto de esta naturaleza técnica sea compensado por el contexto ecológico de cada huerta sea compensado entre sí. La carencia de recursos alimenticios para los visitantes florales (polen y néctar) cuando hay alta frecuencia en el corte de las

herbáceas, podría ser moderada con la presencia de un bosque de tamaño grande. Por esta razón, a pesar de la diferencia en las huertas que conformaron las UBC's de ambos atributos, se observó una correlación entre las matrices, indicando la relación entre la estructura de la riqueza específica en las huertas y el manejo agronómico.

Relación entre las prácticas de manejo agronómico y la biodiversidad de visitantes florales y herbáceas

Numerosos trabajos muestran mayor riqueza y abundancia de herbáceas (Hald, 1999, Hole et al., 2005) y de polinizadores en huertas orgánicas respecto a las huertas convencionales (Kremen et al., 2002; Gabriel y Tschardtke, 2007; Kremen et al., 2007; Holzschuh et al., 2008; Rundlo et al., 2008; Kehinde y Samways, 2012), o en huertas con manejo menos intensivo (Hudewenz, et al., 2012). Así mismo en el establecimiento de un mayor número de interacciones planta-animal cuando hay mayor diversidad de herbáceas por la disminución de la frecuencia de corte o de ramoneo (Batory et al., 2010). De igual forma, este trabajo mostró la relación entre el manejo y la biodiversidad (riqueza de las herbáceas, de los visitantes florales del aguacatero y de las herbáceas). Más aún, la biodiversidad en las huertas respondió no sólo al manejo orgánico y convencional, sino a las prácticas de manejo específicas a la huerta. Este es el primer trabajo para el cultivo del aguacate en mostrar que las prácticas agronómicas aplicadas en las huertas presentan relación con la biodiversidad, ya que huertas con prácticas agronómicas que generen la disponibilidad de recursos pueden mantener una mayor biodiversidad.

Las huertas orgánicas fueron manejadas con insumos de síntesis orgánica y categorías toxicológicas bajas, presentaron los mayores valores en el índice de uso sostenible de pesticidas, así como baja frecuencia en el corte de herbáceas y presencia de bosque, lo que favoreció a que presentaran las mayores riquezas en los tres grupos de diversidad estudiados. Por el contrario, las huertas convencionales presentaron las menores riquezas, posiblemente derivado del corte intensivo de las herbáceas, la aplicación de herbicidas y plaguicidas de síntesis química con categorías toxicológicas intermedias y altas, y a la ausencia de bosque al interior de estas.

Otro aspecto a considerar en el análisis del mantenimiento y funcionalidad de la biodiversidad son las interacciones planta-animal, por lo que la respuesta a las prácticas de manejo ejecutadas es a nivel de comunidad. Aunque en este trabajo no se evidenció la direccionalidad de las relaciones plantas-visitantes florales, se encontró que las comunidades presentes en huertas orgánicas exhibieron alta biodiversidad en los tres grupos estudiados (herbáceas, visitantes forales del aguacatero y de las herbáceas). Lo anterior podría indicar que: a mayor diversidad de herbáceas, mayor es la cantidad de recursos para el sostenimiento de los visitantes florales de las herbáceas durante la ausencia de floración del aguacatero, y a su vez, mayor es la diversidad de los visitantes florales del aguacatero. Sin embargo, si bien se ha establecido que un alto número de especies de plantas con flor está asociado con el incremento de la riqueza de polinizadores (Biesmeijer et al., 2006; Hudewenz et al., 2012), también hay evidencia que la persistencia de una comunidad vegetal puede verse afectada por una pérdida de la diversidad de su fauna de polinizadores (Fontaine et al., 2006). Por esto, la aplicación de plaguicidas con riesgo toxicológico alto y la ejecución de prácticas de manejo como el corte intensivo de las herbáceas o la aplicación de herbicidas que generen la disminución de alguno de estos grupos biológicos de forma drástica, pueden tener

efectos en cascada que afecten eventualmente la biodiversidad de los grupos de organismos que interactúan.

La respuesta al cambio del uso del suelo de los individuos, las poblaciones y la comunidad de visitantes florales se debe principalmente a la distribución espacial y distribución temporal de los recursos florales, mientras que la vulnerabilidad de la reproducción de las plantas depende del grado de dependencia con los polinizadores externos, por esto, se puede considerar que los procesos de polinización son sensibles a cambios en el paisaje y pérdida de hábitat (Kremen, 2007; Winfree et al., 2009), y a la presencia y tamaño del bosque (Kremen et al., 2002; Le Feon et al., 2010; Vandermeer, 2010; Lentini et al., 2012). En el caso de las huertas aguacateras de Michoacán, se observó cambio en el tiempo de los recursos florales del aguacatero y de las herbáceas (corte y disminución de las herbáceas con presencia de floración del aguacatero y viceversa), debido al manejo del cultivo y a las condiciones climáticas estacionales. Si bien, en este trabajo no se analizó directamente el efecto del bosque sobre las comunidades, el tamaño del área de bosque fue una de las variables que determinó la reagrupación de las huertas orgánicas en la UBC de manejo. Actualmente, la importancia del mantenimiento de la diversidad de herbáceas y la presencia de comunidades naturales en las huertas o alrededor de estas ha cobrado importancia en el mantenimiento de la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos específicamente en los servicios de control de plagas y de polinización (Brown, 1999; Gurr, 2003; Macfadyen et al., 2009), así como la presencia de bosques en el entorno de los sistemas productivos proporciona mayor riqueza de visitantes florales y polinizadores (Kremen et al., 2002).

Los factores que influyen en la diversidad biológica de cada agroecosistema (Altieri, 1999) como las prácticas agronómicas, los insumos y la frecuencia de aplicación son numerosos. Definir un modelo por huerta sería un procedimiento poco realista por las limitaciones que implica desarrollar tantos modelos como huertas existan (Köbrich et al., 2003), por esta razón las metodologías confluyen en la agrupación de huertas mediante la identificación de generalidades y regularidades, permitiendo formular mecanismos de manejo genérico aplicable a un mismo tipo o grupo (Jackson y Piper, 1989; Morales, 2003; Blazy et al., 2009). La identificación de las prácticas agronómicas determinantes en la dinámica ecológica del cultivo y el ajuste de las prácticas de manejo conforme las particularidades de la huerta (Hansen, 1996) incrementarían los servicios ecosistémicos en el sistema agrícola. Por ejemplo, la reducción de la frecuencia del corte de las herbáceas durante la época de ausencia de floración del aguacatero y la reducción de la frecuencia de aplicación de insecticidas incrementarían la riqueza de herbáceas y de visitantes florales en las huertas aguacateras.

Aunque en este trabajo no se aborda la discusión sobre cuál de los dos manejos convencional y orgánico es más adecuado para la productividad del agroecosistema, tema abordado ampliamente en numerosos trabajos (Drinkwater et al., 1995; Bradley et al., 2002; Kremen et al., 2002; Van Diepeningen et al., 2006; Castellini et al., 2006; Gibson et al., 2007; Macfadyen et al., 2009; Brumfield et al., 2010; De Ponti et al., 2012), se observa claramente la respuesta de la riqueza específica frente a las prácticas agronómicas que implica cada manejo. Los resultados obtenidos en este trabajo apoyan la hipótesis de la disminución de la riqueza específica como resultado de la intensificación del manejo agrícola, específicamente por el tipo de insumo y la frecuencia de la aplicación de las prácticas. De esta forma, se plantea la necesidad de

generar el manejo integrado en los sistemas productivos agrícolas y combinar los beneficios de los insumos, las prácticas agronómicas y la biodiversidad (Altieri, 1999; FAO y World Bank 2001; Bradley et al., 2002; Tschardt et al. 2005). El reconocer la relación del manejo efectuado en los sistemas productivos con la diversidad puede llevar a un aumento en la sostenibilidad del agroecosistema en términos productivos y ambientales.

1.5 Conclusión

No existe un prototipo absoluto de huerta, pero sí es posible la generación de modelos que permitan el planteamiento de prácticas agrícolas para el favorecimiento de la productividad del sistema y a su vez la gestión sobre sus recursos naturales. Las clasificaciones obtenidas no fueron aleatorias, se generaron grupos verificables, con el tipo de manejo identificado para cada huerta. Las prácticas específicas al manejo convencional y orgánico además del tercer grupo generado mostraron cómo el manejo de las huertas se asoció con la riqueza específica de visitantes florales y herbáceas. Esta investigación sugiere que la clasificación del manejo agronómico no sólo se conciba a partir del origen o tipo de los insumos aplicado, sino también considerando las frecuencias de las prácticas de manejo y el contexto de las huertas. Por lo tanto, este estudio aporta elementos que sugieren que una tipificación de manejo agronómico más enfocada al mantenimiento de servicios ecosistémicos debería incorporar indicadores de intensidad del manejo (conformados por índices derivados del tipo y la frecuencia de uso de los insumos) y de contexto ecológico (conformados por índices derivados de medidas de diversidad y de factores compensatorios como la presencia de otras especies en el huerto, áreas boscosas, cultivos intercalados, etc.). La selección de los mejores indicadores podría reforzarse en estudios posteriores con una muestra más grande y representativa del manejo en las huertas. La respuesta de la biodiversidad frente a las diferentes prácticas de manejo debe ser valuada con el fin de mantener los procesos ecológicos del sistema productivo y generar mayor sostenibilidad del agroecosistema.

Apéndice 1.1 Cuestionario sobre indicadores ecológicos en sistemas productivos de aguacate.

Toda la información recabada en este cuestionario es de carácter confidencial y con fines académicos, esta información será referenciada por número de folio y nunca refiriendo al productor o a la huerta de donde se originó

Datos de control

Fecha:	Folio:	Nombre del aplicador:	
Nombre de encuestado:	Puesto:	Superficie total de la huerta:	Nombre de la huerta:
Manejo:		Tamaño de árbol:	

I. Calendario de actividades

P 1. Cuáles son las principales actividades que se realizan en la huerta durante un año?

	Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
a)	Control de plagas												
b)	Época de floración												
	Normal												
	Marceña												
	Loca												
	Avanzada												
c)	Chaponeo (control de herbáceas)												

II. Control de plagas y enfermedades

P 2. Nombre del producto: _____

P 3. Lugar en el que compra el producto: _____

P 4. Medio de aplicación del producto: 1. Manual I__I 2. Mecánica I__I
3. Mixta I__I

P 5. Días que dura la actividad _____

P 6. Cantidad de producto empleado por árbol: _____

P 7. Aplica insecticidas o algún control durante la floración del aguacate? 1. Si I__I
2. No I__I

P 8 Maneja alguna práctica de control biológico? 1. Si I__I 2. No I__I
(Si usa considerarlos en la tabla anexo)

(Estas preguntas se aplican para cada producto que se aplica, usar anexo)

II. Control de herbáceas

P 9. Nombre del producto: _____

P 10. Lugar en el que compra el producto: _____

P 11. Medio de aplicación del producto: 1. Manual I__I 2. Mecánica I__I 3. Mixta I__I

P 12. Días que dura la actividad

P 13. Cantidad de producto empleado por árbol:

P 14. Maneja alguna práctica de control ecológico? 1. Si I__I 2. No I__I
(Si usa considerarlos en la tabla anexo)

(Estas preguntas se aplican para cada producto que se aplica, usar anexo).

IV. Manejo y percepción sobre los polinizadores

P15. Reconoce las especies polinizadoras de la huerta? 1. Si I__I 2. No I__I

P16. Cuáles ha observado?

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

P 17. Tiene colmenas de abejas en el huerto?, Que tipo de abejas? (Positivo, responder preguntas P 18, P 19, P 20, P 21, P 22)

P 18. Son: 1. Permanentes I__I Introducidas I__I

P 19. Si son introducidas. En qué época las introduce y por cuánto tiempo?

P 20. Cuantas colmenas por hectáreas maneja en la huerta?

P 21. Paga por este servicio? 1. Si I__I 2. No I__I

P 22. Desde hace cuanto tiempo pone abejas en el huerto?

P 23. Ha notado alguna disminución o aumento en la cantidad de frutos o en la productividad en general desde que incluyó a las abejas como práctica?

P 24. Ha notado algún efecto de disminución o aumento en la cantidad o tipo de los insectos polinizadores por la aplicación de algún producto para control de plagas?

1. Si I__I 2. No I__I (*Positivo, responder preguntas P 25 y P 26*)

P 25. Qué efecto?

P 26. En que tipo o especies de polinizadores ha observado este efecto?

P 27. Ha notado algún cambio en la abundancia de algún tipo o especie de polinizador a lo largo del año?

III. Productos para manejo de plagas, enfermedades y herbáceas	
Producto	
Composición del preparado	
Plaga combatida	
Época de aplicación	
Producto	
Composición del preparado	
Plaga combatida	
Época de aplicación	
Producto	
Composición del preparado	
Plaga combatida	
Época de aplicación	
Producto	
Composición del preparado	
Plaga combatida	

Apéndice 1.2 Listado de insecticidas identificados en los sistemas productivos aguacateros. Las categorías toxicológicas fueron identificadas de acuerdo a la clasificación para plaguicidas principalmente con base a su toxicidad aguda en estudios con animales, establecida por la Organización Mundial de la Salud (1=altamente tóxico, 2= moderadamente peligroso, 3= ligeramente tóxico, 4= producto que normalmente no ofrece peligro). Se adicionó una categoría para incluir los insumos de origen orgánico (5= producto de origen orgánico que normalmente no ofrece peligro), (WHO, por sus siglas en inglés, 2009).

	Nombre	Sinónimos	Compuesto químico	Categoría toxicológ.	Síntesis química
1	Aldrin	Aldrin / dieldrín	Aldrina	1	Sintético
2	Ambush 340	Permit/ Eclo Nay 340 / Alerta/ Crisant / Lepid/ Ambush 340	Permetrina	3	Sintético
3	Anatrina	Anatrina	Permetrina	3	Sintético
4	Azadiractin	Azadiractina técnica	Azadiractina	4	Sintético
5	Caldo sulfocálcico	Biopreparado	Calcio y azufre (2:1)	5	Orgánico
6	Chicalote y diatomeas	Biopreparado	<i>Argemone mexicana</i> L. y polvo de Bacillariophyceae	5	Orgánico
7	Chijol	Biopreparado	<i>Piscidia communis</i> (Blake) L. M. Jchnst	5	Orgánico
8	Citrolina	Biopreparado	Aceite parafinico 83%	5	Orgánico
9	Embulbiol	Biopreparado	-	5	Orgánico
10	Entrust	Entrust	Spinosad	4	Sintético
11	Exalt 60 sc	Exalt 60 sc	Spinosyn J, Spinosyn L	3	Sintético
12	Extracto de 5 llagas	Biopreparado	<i>Tagetes foetidissima</i>	5	Orgánico
13	Extracto de ajo, chile y cebolla	Biopreparado	<i>Allium sativum</i> L., Capsicum sp., Allium cepa L.	5	Orgánico
14	Proaxis	Vantex / Proaxis / Fortix / Fentrol / Nexide	Gamma Cyhalotrina	4	Sintético
15	Hidróxido de Calcio	Biopreparado	Cal viva	5	Orgánico
16	Inex-A	Inex-a	Eter Poliglicolico del Tridecanol	4	Sintético
17	Kirio	Karate / Judo / Ninja / Kendo / Basuka / Samurai / Mito /	Lambda cyalotrina	3	Sintético
18	Malathion	Fyfanon 1000 / Paladin 1000 / Malafin 1000	Malation	3	Sintético
19	Palgus	Exalt / gf-1629	Spinetoram J+L	4	Sintético
20	Picador 70	Picador 70 / Cigaral 70 / Punto 70 / Zuga 70 / Tremendo 70 / Travieso	Imidacloprid	4	Sintético
21	Spintor 480	Spintor 480	Spinosad	4	Sintético

Apéndice 1.3 Índice del uso sostenible de pesticidas en cada huerta. El índice de uso sostenible de pesticidas (PEST) incluye: cantidad de insecticidas, cantidad total de aplicaciones y el promedio de todas las categorías toxicológicas de los insecticidas. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O). La categoría toxicológica promedio de los productos usados en huertas convencionales es en general menor (mayor toxicidad) a la de las huertas orgánicas.

Huerta	Cantidad de insecticidas	Categoría toxicológica (prom)	Cantidad de aplicaciones (año)	PEST
C1	2	3	6	0.28
C2	6	3.5	7	0.24
C3	4	3.7	8	0.21
C4	4	3.8	10	0.08
O5	3	5	3	0.77
O6	3	5	6	0.57
O7	3	4.7	4	0.66
O8	6	4.3	6	0.46
O9	3	5	7	0.49
O10	3	5	7	0.49

CAPÍTULO 2

ECOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL AGUACATERO Y LA RESPUESTA AL MANEJO CONVENCIONAL Y ORGÁNICO

Resumen

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie tropical nativa de Centro América que presenta dicogamia protogámica sincrónica, fenómeno que promueve la polinización mediada por insectos. Sin embargo las prácticas de manejo de los sistemas agrícolas pueden cambiar la composición de la comunidad polinizadora. Este capítulo evaluó las diversidades específicas de visitantes florales y acarreadores de polen en huertas de aguacate convencionales y orgánicas, la importancia de cada especie de insecto en el acarreo de polen y la contribución de los visitantes florales en la producción total de frutos. El estudio se llevó a cabo durante dos años consecutivos en el pico de floración 2010/11 y 2011/12 en 6 huertas orgánicas y 4 convencionales. Se identificaron 4 órdenes, 22 familias, 58 especies y 12 morfotipos, de las cuales 39 especies fueron confirmadas como acarreadoras de polen de aguacate. La especie más frecuente en todos los casos fue *Apis mellifera*. La riqueza de los visitantes florales fue en promedio 2.5 veces mayor en el manejo orgánico respecto al manejo convencional y en los acarreadores de polen de aguacatero fue 2 veces mayor en el manejo orgánico respecto al manejo convencional. No obstante, dada la gran variación entre huertas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los manejos para ninguna de las variables de biodiversidad estudiadas: riqueza de visitantes florales, riqueza de acarreadores de polen, abundancia de visitantes y abundancia de acarreadores y diversidad alfa de los visitantes y de los acarreadores. Algunas interacciones manejo x huerta fueron significativas a nivel de huerta, mostrando que sí hubo algunas diferencias entre huertas para las mismas variables pero estas no fueron consistentes en los dos tipos de manejo. Por su parte, la composición de especies entre las comunidades de ambos manejos mostró baja similitud para las comunidades de visitantes florales ($I_J = 0.18$) y acarreadores de polen ($I_J = 0.17$). Presentaron valores similares de equidad y la complementariedad fue alta, indicando que las comunidades de los dos manejos presentaron un alto recambio de especies de visitantes.

La producción de frutos estuvo determinada por la presencia de visitantes florales. Los árboles en exclusión presentaron un promedio de frutos de 28.3 ± 10.05 por árbol, a diferencia de los árboles sin exclusión con 118.0 ± 22.70 . Los resultados sugieren que el manejo de las huertas estudiadas puede incidir en la diversidad de la entomofauna, que potencialmente pueden tener un impacto en la productividad de las huertas a través de la polinización y la formación de frutos.

2.1 Introducción

El incremento de la intensificación del manejo agronómico a nivel de parcela y la expansión de los cultivos que conlleva a la disminución y fragmentación de hábitats naturales, han causado pérdidas de la biodiversidad y la reducción en la capacidad de los ecosistemas de proveer bienes y servicios (Matson et al., 1997; Tilman et al., 2002; Tscharrntke y Vidal, 2005; MEA, 2005; Kuldna et al., 2009). El uso creciente de fertilizantes minerales, pesticidas y monocultivos, han incidido directamente sobre la fauna y flora local, lo que genera cambios en las comunidades de polinizadores nativos (Kremen et al., 2002; Tscharrntke y Vidal, 2005; Blanche et al., 2006) y afecta el servicio de polinización que estos brindan a cultivos y poblaciones naturales de plantas (Memmott, 1999; Kremen et al., 2002; Gabriel y Tscharrntke, 2007).

Los agroecosistemas, al ser ecosistemas intervenidos y demandantes de insumos externos, son sistemas donde el manejo de los recursos tanto internos como externos es fundamental para su productividad y sostenibilidad. A grandes rasgos, existen dos manejos de los sistemas productivos de acuerdo al uso de insumos: la agricultura convencional y orgánica. Los sistemas productivos convencionales están fundamentados en el modelo de revolución verde, el cual basa su alta productividad en la utilización de insumos sintéticos como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas. Además se asocia al uso intensivo de maquinaria y práctica del monocultivo. Mientras que la agricultura orgánica se asocia a una mayor biodiversidad (Gabriel y Tschardt, 2007), a la agricultura convencional se le atribuye la pérdida de suelo, el aumento de incidencia de plagas y enfermedades, una alta demanda de recursos energéticos y pérdida de biodiversidad (Tilman, 1998). Por ejemplo, se han observado efectos negativos en la diversidad de la entomofauna que ofrece servicios ecosistémicos (denominada *Biota recurso* por Swift y Anderson, 1993) por el uso de agroquímicos (Pimentel et al., 1992; Altieri, 1999; Wilson y Tisdell, 2001). Por su parte, la agricultura orgánica se puede definir como un sistema de gestión de producción agrícola que implica el reemplazo de fertilizantes y pesticidas sintéticos por agregados provenientes de la preparación de materia orgánica (Baillieux y Scharpe, 1994; citado por Lampikin et al., 1999; Pacini et al., 2003).

La polinización es un proceso relevante en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres incluidos los agroecosistemas (Kevan, 1999). Este proceso consiste en la transferencia de polen de la antera de una flor al estigma ya sea de la misma u otra flor. Dependiendo de la especie vegetal involucrada, la polinización es facilitada por vectores bióticos y/o abióticos. En el caso de la polinización abiótica es facilitada por el viento, el agua y la gravedad, mientras la polinización biótica es mediada por animales, como insectos, aves y murciélagos (Kevan, 1999). Los insectos son uno de los principales grupos que se benefician de los recursos proporcionados por las flores como el néctar y el polen y a su vez transportan los granos de polen en su cuerpo favoreciendo la polinización. No obstante, la distribución de este grupo funcional está correlacionado con la oferta floral y las condiciones ambientales (Corbet, 1990; Herrera, 1995; Liow et al., 2001; Hoehn et al., 2008).

El aguacatero es una especie de importancia económica a nivel mundial. El reciente aumento en la demanda de la fruta ha implicado cambios en el uso del suelo para su producción. Se desconoce el efecto que ha causado esto sobre la comunidad de especies polinizadoras de esta especie fundamentalmente por ser una especie con alta dependencia de polinización mediada por insectos (Stout, 1933; Ish-Am, 1995; Ish-Am y Eisikowitch, 1998; Davenport, 2003; Ish-Am, 2004; Can et al., 2005; Cabezas y Cuevas, 2007; Alcaraz y Hormaza, 2009; Ashwort et al., 2009). Comprender estos efectos es de suma importancia, ya que la evidencia empírica indica que la fructificación es significativa en presencia de polinizadores (Vithanage, 1990; Gazit y Degani, 2002) mientras que el viento posee una menor eficiencia como vector de polen de esta especie (Davenport, 1998).

El aguacatero es una especie perteneciente a la familia Lauraceae. Es una especie polimórfica y se compone de varios taxa independientes que son considerados variedades, subespecies botánicas o razas. Las tres subespecies de aguacate se originan en su totalidad (West Indian, guatemalteca) o parcialmente (mexicana) dentro de latitudes tropicales en América Central (Scora et al., 2002). La especie presenta

dicogamia protogínica de sincronización diurna, lo que implica la maduración de las partes femeninas y masculinas de la flor en diferentes momentos, siendo el pistilo el que madura antes que los estambres. En general, esta dicogamia tiende a favorecer la polinización cruzada entre cultivares complementarios ya que la función femenina y masculina no están presentes simultáneamente en los individuos de un mismo cultivar (Davenport, 2003). La flor normalmente abre en primera instancia en fase femenina (Fase I), donde el pistilo está erecto y el estigma está receptivo y presenta una coloración blanca. En esta fase los estambres están cerrados y proyectados hacia afuera en un ángulo de 90 grados en relación al pistilo. Posteriormente la flor se cierra totalmente para reabrir en fase masculina (Fase II) donde las anteras liberan el polen y el estigma comienza a secarse y a oscurecerse (Fig. 1), (Scholefield, 1982).

El comportamiento dual del ciclo floral exhibe dos tipos de patrones generales determinados por el tiempo de cierre entre el estado femenino y el estado masculino, los cuales agrupan a todas las variedades o cultivares de la especie. En condiciones de invernadero las variedades Tipo A abren en estado femenino en la mañana (Fase I) y en estado masculino (Fase II) en la tarde del día siguiente (Fig. 2), a diferencia de las variedades Tipo B en las que la Fase I ocurre en la tarde y la Fase II en la mañana del día siguiente (Stout y Savage, 1925; Stout 1933; Peterson, 1956; Davenport, 1986; Cabezas et al., 2003; Alcaraz y Hormaza, 2009). Este comportamiento floral es comúnmente observado en condiciones climáticas con patrones normales, es decir, cuando la temperatura nocturna mínima es por encima de 12 °C y una temperatura máxima día de 22 °C (Lesley y Bringhurst, 1951). Un cambio en la temperatura provoca retraso e incluso reversión del comportamiento de floración (Stout, 1927; Bergh, 1986); en la variedad Hass la apertura del estado femenino se retrasa hasta el medio día o incluso en la tarde (Stout, 1927; Bringhurst, 1951). Este fenómeno provoca la superposición entre las aperturas de ambos estados sexuales en un mismo momento del día (Stout, 1923; Stout 1933; Bringhurst, 1951; Gustafson y Bergh, 1966).

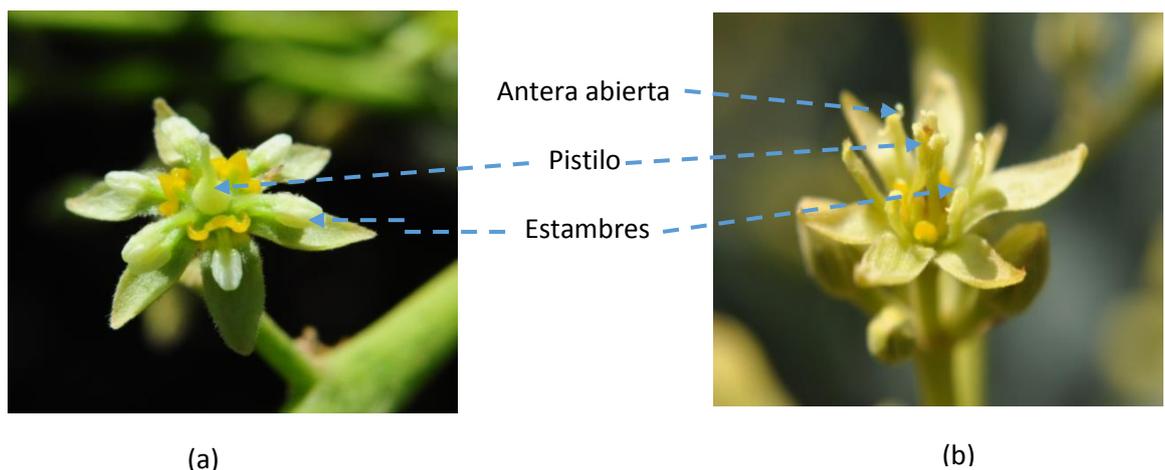


Figura1. Estado femenino (a) y masculino (b) de la flor del aguacatero.

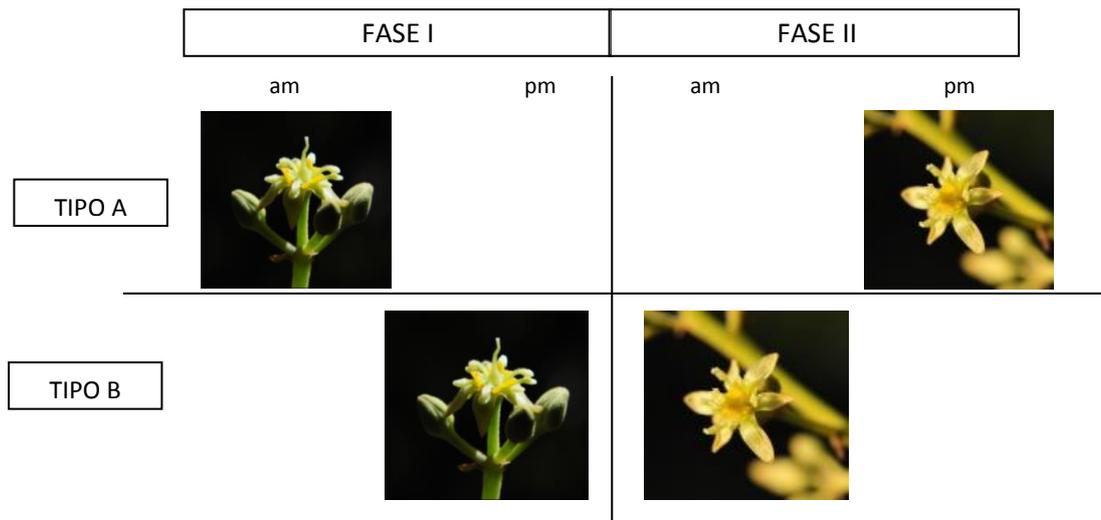


Figura 2. Patrones generales del ciclo floral del aguacatero. Las variedades de aguacate Tipo A tienen la apertura de la flor en fase femenina (Fase I) en horas de la mañana y la fase masculina (Fase II) en la tarde del siguiente día. Las variedades tipo B abren en Fase I en horas de la tarde y continúan con la Fase II en la mañana del día posterior (Tomado de Peterson, 1956).

Las flores de árboles individuales en un cultivo de la misma variedad exhiben el mismo tipo y por lo tanto presentan sincronía durante el día (Peterson, 1956). Variedades como Hass, Rincón, Gwen, Lamb Hass, Pinkerton, Reed, Mac Arthur, Esmeralda y Anaheim se agrupan como Tipo A, mientras que las variedades Bacon, Zutano, Ettinger, Fuerte, Sharwill, Irving, Sir Prize, Walter Holey Ryan son de Tipo B (Gustafson y Bergh, 1966). En las flores individuales la Fase I siempre será el estado pistilado o femenino y la Fase II el estado estaminado o masculino, así ocurran en diferentes momentos del día (Peterson, 1955). La apertura de la flor en cada estado puede durar alrededor de 4 horas (Deplane y Mayer 2000). A su vez, no se han encontrado barreras de esterilidad entre los taxones clasificados bajo *P. americana* (Lahav y Lavi, 2002). Cabe notar que los estudios de biología floral del aguacatero fueron desarrollados a principios del siglo XX (Stout, 1923; Stout 1933; Bringham, 1951; Peterson, 1956; Scholefield, 1982; Davenport, 1986), observándose una fuerte disminución en la generación de información novedosa en años recientes.

La cantidad de flores por panícula varía de acuerdo a la variedad, pero se pueden encontrar hasta 500 flores en cada una (Nirody, 1922) para un total de hasta 1.5 millones de flores por árbol, que surgen diariamente hasta por 2 meses pero tienen una alta tasa de abscisión (Schroeder, 1951; Bergh, 1986; Lahav y Zamet, 1999).

Las características morfológicas que presenta el estigma después del primer cierre antes que las anteras de la misma flor hayan abierto los opérculos, se consideran barreras para la autopolinización (Nirody, 1922). Por esta razón, se considera al aguacatero como una especie dependiente de la polinización mediada por acarreadores de polen (Vithanage, 1990; Ashworth et al., 2009). El aguacatero presenta néctar en fase masculina y femenina, lo que favorece la visita de polinizadores en ambos estados sexuales (Ish-Am y Eisikowitch, 1993, 1998). Por esto, las flores del aguacatero proporcionan recursos alimenticios de néctar y polen a sus visitantes florales, sin embargo se ha encontrado

baja atracción hacia la abeja europea hacia el néctar cuando hay otros recursos de néctar de diferente constitución (Afik et al., 2006a; Afik et al., 2006b). El transporte del polen y la polinización son llevados a cabo en la mayor proporción por insectos (Ish-Am y Eisikowitch, 1993; Heard, 1999; Can et al., 2005), aunque se tienen datos de hasta un 35% de producción de frutos por autopolinización en algunos cultivares y en ciertas condiciones ambientales (Davenport et al., 1994).

Abejas, avispas, murciélagos y moscas son considerados como los principales polinizadores del aguacate en el mundo (Roubik, 1995). La disponibilidad de polinizadores no parece ser un factor limitante de la producción de aguacate en América Central, que es el centro de origen del aguacate, ni en el clima tropical de Florida. En cambio, sí representa un importante factor limitante en los países productores de clima Mediterráneo como Israel, Estados Unidos y probablemente otros países (Ish-Am et al., 1999). Esto puede explicarse por la presencia en América Central de polinizadores nativos que coevolucionaron con el aguacate, como las abejas sin aguijón (Apidae, Meliponini) que han sido observadas en el occidente mexicano (Castañeda et al., 1999) y la importante contribución de moscas y en menor proporción de avispas en el acarreo de polen y el proceso de polinización del aguacatero estudiado en el sur de México (Pérez et al., 2012), mientras que la polinización en Europa ha dependido principalmente de la abeja europea (Vithanage, 1990).

La introducción de la abeja europea a las huertas aguacateras en México se ha convertido en una práctica común. Sin embargo, la introducción de colmenas de esta especie parece no ser suficiente para lograr en el aguacatero una tasa de fructificación satisfactoria (Ish-Am 1995; Ish-Am 2004). Esto se atribuye a su mayor tamaño respecto a otras especies de visitantes florales nativas y a su preferencia por otros recursos florales como fuente de alimento (Gazit, 1976; Ish-Am y Eisikowitch, 1998; Ish-Am, 1995; Ish-Am, 2004), a pesar que las flores de aguacate producen néctar rico en azúcar (Dag et al., 1994).

Otro aspecto fundamental de la ecología reproductiva del aguacatero es el posible incremento en la productividad y reducción de caída de frutos del aguacatero al asegurar una alta actividad de los polinizadores efectivos en la totalidad de la época de floración (Vithanage, 1990; Ish-Am y Eisikowitch, 1998; Gazit y Degani, 2002; Pérez-Balam et al., 2012). Esta especie presenta una excesiva caída inicial de frutos. Frutos jóvenes con embrión y endospermo defectuoso, flores en las que se produjo la germinación del polen pero no la fertilización, o la competencia entre frutos y el crecimiento vegetativo son factores de aborto de frutos (Lovatt, 1990; Gazit y Degani, 2002).

Dada la creciente demanda de aguacate en el mundo, el rápido incremento en las áreas de producción y disminución de ecosistemas naturales silvestres, así como la intensificación de los sistemas productivos y consecuente pérdida de flora y fauna, es fundamental comprender la ecología reproductiva del aguacatero, estudiar la diversidad asociada a dichos sistemas y la incidencia del manejo agronómico sobre estos dos aspectos. Este capítulo se fundamentó en cinco objetivos específicos: i) estudiar el comportamiento floral del aguacatero y la sincronía de los estados sexuales de la flor de acuerdo a las condiciones ambientales y al manejo agronómico, ii) conocer la riqueza y la abundancia de los insectos visitantes de las flores y de los acarreadores del polen del aguacatero y evaluar si existe un efecto de las condiciones ambientales sobre estos dos grupos, iii) analizar la contribución de los acarreadores en el desempeño del acarreo de

granos de polen de aguacatero, iv) evaluar el efecto del manejo convencional y orgánico en la comunidad de visitantes y acarreadores de polen del aguacatero y, v) evaluar la producción de frutos y analizar la contribución de la presencia de visitantes florales en la producción total de frutos. Se contemplaron cuatro hipótesis:

- i) La oferta floral y el comportamiento floral de la variedad Hass, cultivado en la franja aguacatera en Michoacán, México, están determinadas por la biología de la especie (intrínseca a la especie) y por las condiciones ambientales y no por el manejo agronómico. Por lo tanto, se observará la apertura de las flores femeninas en la mañana y el estado masculino en la tarde como corresponde a la dicogamia protogínica de sincronización diurna observada en las variedades de tipo A del género *Persea*. (Objetivo 1).
- ii) El aguacatero es una especie nativa de América Central y en su ambiente natural se han observado acarreadores de polen nativos de diversos taxones y con características morfológicas muy variadas. Por lo tanto se espera diferencia en el transporte de polen entre los acarreadores. La cantidad y calidad de acarreo de polen de aguacatero por parte de los acarreadores nativos es mayor en términos de la proporción de polen de aguacate en relación a otros tipos de polen, comparado con el polen transportado por la abeja europea (Objetivo 3).
- iii) La riqueza, diversidad alfa y la composición de especies (diversidad beta) de visitantes de flores y de acarreadores de polen del aguacatero están influenciadas por el tipo de manejo agronómico. El manejo convencional afecta negativamente a la fauna entomófila asociada a las huertas, por lo que la riqueza de los insectos visitantes florales y diversidad alfa será menor en el manejo convencional que el manejo orgánico, y habrá menor similitud entre la composición de especies del manejo orgánico que del convencional. (Objetivo 3).
- iv) La presencia de visitantes florales del aguacatero incide en la productividad de estos sistemas agrícolas. En presencia de acarreadores de polen la cantidad de frutos por árbol es mayor respecto donde no están presentes (Objetivo 4).

2.2 Metodología

2.2.1 Especie focal

La variedad Hass, híbrido de la raza guatemalteca y la raza mexicana (Bergh y Whitsell, 1974) fue la utilizada en este estudio por su extendido cultivo en la zona de estudio. La floración de esta variedad en la región empieza en la época de otoño y termina en primavera (Gazit y Degani, 2002). Cabe resaltar que este patrón temporal de floración coincide con las épocas más frías en la región, en la que por tratarse de zonas montañosas a más de 1500 metros sobre el nivel del mar, la temperatura puede descender hasta cerca del punto de congelación durante la noche y la mañana, imponiendo así restricciones fisiológicas para el desarrollo del cultivo y para la floración (Gutiérrez et al., 2010). La temperatura es el principal factor responsable del cambio de la fase vegetativa y la fase reproductiva (Gazit y Degani, 2002) provocando retraso e incluso reversión del comportamiento de floración (Stout, 1927; Bergh, 1986). Durante la realización de este trabajo, en las condiciones ambientales de la franja

aguacatera de Michoacán, México, se observó una floración inicial (llamada floración loca) en el mes de septiembre, usualmente en los árboles más jóvenes, una floración abundante (floración normal) en los árboles adultos que ocurre a partir de octubre-noviembre a febrero, y una floración tardía y esporádica (floración marceña) en marzo, observaciones que concuerdan con lo descrito por Gazit y Degani (2002).

2.2.2 Floración

2.2.2.1 Oferta floral

Se definió oferta floral como el número de flores abiertas en un momento dado. La oferta floral se estimó a partir del promedio de la cantidad de flores abiertas por m^2 . Se contabilizó el número de inflorescencias en 2 cuadrantes de $1 m^2$ en cada árbol y la cantidad de flores abiertas en 5 inflorescencias por cuadrante. Las inflorescencias fueron escogidas al azar al interior del cuadrante. La ubicación del cuadrante se realizó en los lados norte y sur de cada árbol, a una altura aproximada de 1.5 m del suelo al límite inferior del cuadrante. La comparación de la oferta floral entre hora, temperatura y manejo se obtuvo a partir del promedio de la cantidad de flores abiertas en ambos cuadrantes por el número de inflorescencias por m^2 , de cada árbol observado en las 10 huertas. Por su parte, la oferta floral para el muestreo de insectos en cada árbol se obtuvo por la multiplicación del promedio de flores abiertas por m^2 multiplicadas por el área muestreada del árbol. A esta área se le denominó *área efectiva de muestreo*, se obtuvo mediante la fórmula del área lateral de un cono truncado, donde la altura fue estimada a partir de la longitud alcanzada por el investigador (que permitiera buena visibilidad de las flores), el perímetro inferior fue la circunferencia del árbol y el perímetro superior fue la mitad inferior en todos los casos (Fig. 3).

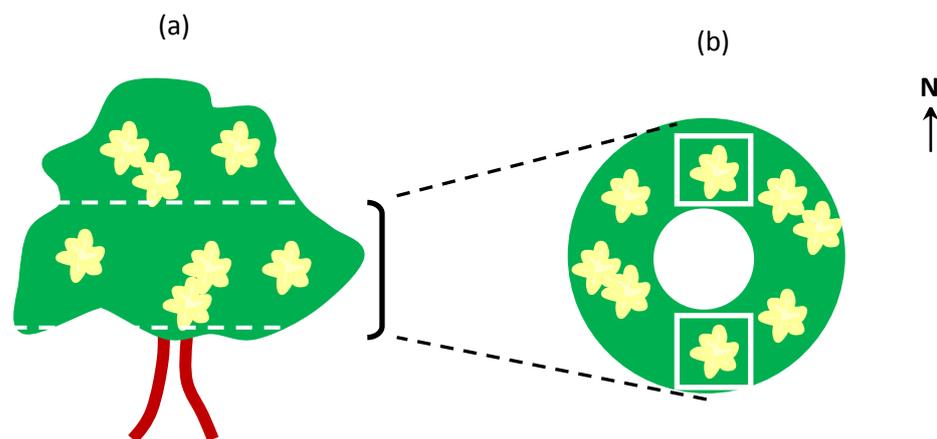


Figura 3. Área efectiva de muestreo de cada árbol. Fue definida por la altura estimada a partir de la longitud alcanzada por el investigador que permitiera buena observación de las flores. Vista lateral del árbol (a) y vista superior del área de muestreo con la ubicación de los cuadrantes (b).

2.2.2.2 Sincronía diurna (dicogamia protogínica) de las flores del aguacatero

Se identificaron los estados de la flor femenino, masculino y ambos estados al tiempo. El criterio usado para la identificación de los estados florales fue la descripción realizada por Papademetriou (1976). El estado femenino fue definido por el pistilo erguido, separado de los estambres que se encontraban inclinados sobre el perianto; en el estado masculino los estambres sobresalen en posición vertical al gineceo, se observan las anteras abiertas. La verificación del estado floral se realizó mediante la observación de las flores alrededor del árbol, adicionalmente se hizo barrido de las anteras con gel de fucsina básica para determinar liberación de polen en estado masculino exclusivamente, con una coincidencia del 99%. Para el análisis se utilizaron datos de 260 observaciones.

2.2.3 Diversidad de visitantes florales y acarreadores de polen de aguacatero

Se examinó la relación entre las condiciones ambientales y la oferta floral con la riqueza y la abundancia de los visitantes florales del aguacatero, ya que se ha reportado el efecto del clima en la actividad de algunas especies polinizadoras (Corbet et al., 1993; Vicens et al., 2000; Tuell et al., 2010; Brittain et al., 2012). Esta relación se analizó a nivel de huerta. Las condiciones ambientales consideradas fueron: altitud (ALT), temperatura promedio día (TPD), temperatura máxima del día anterior (TMAX), temperatura mínima del día anterior (TMIN), humedad relativa (HP) y velocidad del viento (VEL).

A partir de la comunidad de visitantes florales se identificaron los acarreadores de polen de aguacatero, ambas comunidades se correlacionaron para observar la asociación entre la riqueza de visitantes y la riqueza de acarreadores de polen, independiente del tipo de manejo. Se valoró la diversidad alfa (α) por huerta, considerando toda la comunidad de visitantes florales y cuando se excluye la abeja europea, ya que esta especie es introducida en colmenas sólo en época de floración del aguacatero. La abundancia fue muy superior a las demás especies nativas lo que pudo generar sobrestimación de los valores de diversidad cuando fue incluida en los análisis de diversidad. Esta aproximación permitió comprender la comunidad de visitantes florales nativos sin el efecto que produce la abundancia desproporcionada de la abeja europea en las huertas, además de comprender la contribución de las especies nativas en las comunidades de visitantes flores y acarreadores de polen.

2.2.4 Rol de los acarreadores nativos e introducidos de polen de aguacatero

Se relacionó la abundancia de los acarreadores de polen y la cantidad de granos de polen de aguacatero transportado, considerando que el patrón en diversas especies de plantas es que incluso los polinizadores más abundantes como es el caso de la abeja europea son los menos efectivos por su generalismo o por la baja carga de polen transportado (Motten et al., 1981; Larsson, 2005; Perez-Balam et al., 2012; Garibaldi et al., 2013). Se generó una clasificación de las especies acarreadoras de polen de aguacate, por medio del agrupamiento de estas según la abundancia de individuos, la cantidad promedio de polen acarreado del aguacatero y la cantidad promedio de los otros tipos de polen (ver Apéndice 2.2, Pág. 69), para imágenes de los otros tipos de polen). Esto permitió considerar la calidad del acarreo, está última en términos de la exclusividad del transporte de polen de aguacatero. Se comparó el acarreo de polen por parte de las especies silvestres e introducidas. Sólo se encontró *A. mellifera* como

especie introducida en las huertas aguacateras. Además, se analizó de forma descriptiva la especificidad del transporte de polen de aguacatero respecto al acarreo de otros tipos de polen encontrados en los individuos, considerando las categorías explicadas en la metodología general. En ambos análisis se excluyó el polen transportado en las corbículas.

2.2.5 Incidencia del manejo convencional y orgánico en la diversidad de los visitantes florales y acarreadores de polen

Se analizó la riqueza, abundancia y diversidad alfa (diversidad verdadera de orden 1) para los visitantes florales y los acarreadores de polen entre ambos manejos. Para examinar si existe variación en la composición entre comunidades de visitantes florales y comunidades de acarreadores de polen entre los manejos convencional y orgánico, se realizó la comparación de similitud por análisis de diversidad beta (β). Esta entendiéndose como el recambio de especies a nivel espacial o el cambio en la identidad de las especies entre dos conjuntos (Koleff et al., 2003). Los análisis de la comparación de los manejos convencional y orgánico fueron ejecutados con la totalidad de la comunidad de insectos y cuando se excluye la abeja europea.

2.2.6 Fuctificación

Se contaron los frutos producidos en 2 cuadrantes de 1 m² en 10 árboles por huerta. Los árboles fueron diferentes a los árboles donde se realizó el muestreo floral y de polinizadores para evitar el posible daño ocasionado con el golpeteo de la red entomológica durante la captura de los ejemplares. Se tuvieron en cuenta árboles próximos a los del muestreo de visitantes florales, cuyas características morfológicas fueran similares a los primeros. Los conteos se realizaron en tres momentos posteriores al muestreo de visitantes florales: 2, 5 y 9 meses. Con el primer muestreo se infirió sobre la relación entre la composición de la comunidad de acarreadores de polen de aguacate y la producción de frutos, con el segundo y tercer muestreo se estimó la cantidad de frutos finales a cosechar. No se consideró el agrupamiento de las huertas por manejo agronómico en el análisis de los datos, para remover el efecto que pueda hacer el manejo en la productividad.

Por otra parte, se evaluó la eficiencia de la polinización por medio de polinizadores mediante la exclusión de éstos en árboles de porte bajo (1.8 a 2.2 metros de altura). El muestreo se llevó a cabo en 4 huertas (C2, C3, O5 y O6) donde se compararon 4 árboles excluidos versus 4 árboles sin exclusión por huerta, para un total de 32 árboles, estos se escogieron al azar de acuerdo al rango de altura definida. El encierro de cada árbol fue total, cubriéndolo por medio de una construcción realizada con una estructura de PVC cubierta con una malla de monofilamento de polietileno de alta densidad 16x16 hilos por cm² y orificio de 0.4x0.4 mm (malla antiáfida para invernadero). Este aislamiento impidió la llegada de visitantes a las flores, pero no fue posible restringir a los insectos que pueden subir del suelo y la hojarasca o desarrollarse en el follaje, como los dípteros y hemípteros. La exclusión se mantuvo durante dos meses, periodo que incluyó toda la etapa de floración de estos árboles (octubre-noviembre), compendio desde que se observaron los primeros botones florales hasta que solo se observaron los pedicelos de las inflorescencias. Posteriormente se contó el total de frutos logrados por árbol.

2.2.7 Análisis de datos

Floración.

La existencia de diferencias significativas de la oferta floral entre horas se examinó mediante el análisis de varianza por rangos según el test de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$), ya que los datos no tuvieron una distribución normal (Shapiro-Wilk; $p= <0,050$), para ver si existía una relación entre la oferta floral y la temperatura se utilizó una regresión lineal simple. La comparación de la oferta floral entre los manejos se llevó a cabo por la prueba de suma de rangos según el test Mann-Whitney. La sincronía diurna (femenino, masculino y ambos estados) y la relación con las condiciones ambientales se exploró usando el análisis de Árboles de Clasificación (Breiman et al., 1984) mediante el cual se consideran las variables predictoras como elementos de clasificación de la variable respuesta. En este caso, la variable dependiente fue EST (estado sexual de la flor), que incluyó tres estados: el estado 0, cuando ambas funciones estaban presentes en el mismo árbol en el mismo momento; el estado 1, flores abiertas en función femenina en todo el árbol, y el estado 2, flores abiertas en función masculina en todo el árbol. Las variables predictoras fueron: HORA (hora del día), ALT (altitud), TEMP (temperatura cada hora), HUM (humedad relativa cada hora), TPD (temperatura promedio todo el día), TMAX (temperatura máxima del día anterior), TMIN (temperatura mínima del día anterior), HP (humedad relativa promedio durante el día) y VEL (velocidad del viento durante el día). Se empleó el análisis de Árboles de clasificación y regresión (CART, por sus siglas en inglés) para construir el árbol. Mediante esta técnica se asigna a cada variable predictora un potencial clasificatorio de los estados. Es decir, se construye una clasificación basada en las variables predictoras que, ante una nueva muestra, permite asignar automáticamente la pertenencia basándose sólo en los valores medidos de las variables predictoras en la nueva muestra. Este análisis admite analizar la variable dependiente de carácter categórico respecto a variables independientes continuas.

Diversidad de visitantes florales y acarreadores de polen.

La riqueza total de las especies de visitantes florales del aguacatero fue estimada por curvas de acumulación de especies mediante el estimador no paramétrico Chao2 (Smith y Van Belle, 1984; Bunge y Fitzpatrick, 1993), aunque por el elevado número de especies raras encontradas en este estudio se evaluó la calidad del muestreo mediante la función de acumulación de Clench, la cual ajusta la riqueza de especies obtenida a una curva de acumulación de especies predictiva, mediante una regresión no lineal (Moreno y Halfpeter, 2001). Esta función fue ajustada mediante la estimación no lineal *loss function* (Jiménez y Hortal, 2003). Cada unidad de muestreo consistió en el esfuerzo realizado en cada huerta (300 minutos). Se usó el software EstimateS versión 7.5.2 para la suavización de la curva y para los estimadores no paramétricos (Colwell, 2009) y el software Statistica versión 10 en la estimación de la calidad de muestreo (StatSoft, 2010). El análisis de la relación entre la diversidad de visitantes florales de cada huerta y las condiciones ambientales se llevó a cabo por Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS, por sus siglas en inglés), técnica de ordenación que genera una representación gráfica con pocos ejes para encontrar relaciones no lineales, adecuada para datos que no cumplen con los supuestos de la distribución normal, como es este el caso. La distancia empleada fue Sorensen (Bray-Curtis), con transformación Beals smoothing de los datos de la matriz de especies/huertas, con 200 iteraciones, 0.0001 criterio de inestabilidad, 15 corridas con datos reales y 30 corridas para la prueba de

Monte Carlo. Seguidamente, se realizó una refinación del análisis con dos dimensiones a partir de la configuración establecida en el primer análisis (López, 2009). El análisis de asociación entre la riqueza de los visitantes florales y los acarreadores de polen de aguacatero se calculó con el coeficiente de correlación de Pearson ($\alpha=0.05$).

La diversidad alfa (α) se calculó por medio de los índices de Shannon (H'), y diversidad máxima (H_{max}). Dado que estos índices son en realidad una medida de entropía, aquí también se usó una transformación de estos índices como medida de diversidad (Hill, 1973; Jost, 2006). En consecuencia se calculó, por un lado, la diversidad verdadera de orden cero, cuyo valor equivale a la riqueza de especies (${}^0D = S$), así la diversidad verdadera es insensible a la abundancia relativa de las especies. En segundo lugar, se calculó la diversidad verdadera de orden 1 ($D(H')$), donde todas las especies son ponderadas proporcionalmente según su abundancia en la comunidad (Moreno et al. 2011). Esta última medida se obtuvo a partir del exponencial del índice de entropía de Shannon (Jost, 2006):

$$D = \exp(H')$$

donde, D es la diversidad verdadera de orden 1. Por su parte para la diversidad beta (β) se utilizó el índice de similitud de Jaccard:

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

donde, c = el número de especies de polinizadores encontrados en ambos sitios, a = el número de especies de visitantes florales o acarreadores de polen del manejo convencional y b = el número de especies de visitantes florales o acarreadores de polen del manejo orgánico. Este índice no distingue entre las especies más abundantes o raras, presenta un rango de 0, cuando las comunidades de insectos son totalmente diferentes, a 1, a cuando son idénticas, respectivamente (Moreno, 2001). Se utilizó este índice ya que tiene en cuenta la medida de diversidad beta en términos de componentes coincidentes/no coincidentes (por lo general denotado a , b , c) y de ese modo identificar la contribución de las diferentes fuentes de variación en la composición de las especies (Koleff et al., 2003).

Rol de los acarreadores de polen.

El análisis de asociación entre la abundancia de los acarreadores y la cantidad promedio de polen transportado en el cuerpo se calculó con el coeficiente de correlación de Pearson ($\alpha=0.05$). La clasificación de las especies acarreadoras de polen se generó por análisis de clúster, mediante la Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ). Se utilizó la varianza mínima de Ward para optimizar la mínima varianza entre grupos y encontrar grupos relativamente similares en tamaño y talla, y la distancia Euclidiana para la medida de los intervalos entre las observaciones (Köbrich et al. 2003). Los análisis se ejecutaron en el software XLSTAT Versión 2009.1.02.

Comparación entre manejo convencional y orgánico.

Se analizó la diferencia entre los manejos, huertas y muestreos a partir de la riqueza, abundancia y diversidad alfa de los visitantes florales y acarreadores de polen por medio un modelo mixto de análisis de varianza anidado de tres criterios de clasificación, El manejo fue factor fijo y el muestreo y la huerta fueron factores aleatorios; huerta y

muestreo estuvieron anidados dentro de manejo. La comparación de medias se ejecutó a través del test LSD Fisher ($\alpha < 0,05$) Los análisis se efectuaron en STATISTICA (Statsoft, Inc., 2010) con los valores transformados a logaritmo para cumplir con los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Fructificación.

Las estimaciones entre la relación de la riqueza, abundancia de acarreadores de polen y abundancia de la abeja europea y la cantidad de frutos iniciales (2 meses) y finales (9 meses) se efectuaron por regresión lineal ($\alpha = 0.05$). La cantidad de frutos logrados con y sin exclusión se analizó por el Test de suma de rangos de Mann-Whitney ($\alpha = 0.05$), ya que la distribución de los datos no fue normal, en el software XLSTAT Versión 2009.1.02.

2.3 Resultados

2.3.1 Floración

2.3.1.1 Hipótesis 1. Efecto de las condiciones ambientales y manejo agronómico sobre la oferta floral y la sincronía floral

La oferta floral promedio del aguacatero fue de 100.8 (SE \pm 6.3) flores abiertas por m² de follaje (Fig. 4). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas de la oferta floral entre horas (H= 9.237; gl= 9; p= 0.416), como tampoco se encontró relación entre la oferta floral y la temperatura (R²= 0.00979; p= 0.093). No se encontraron diferencias entre la oferta floral cuando se comparó entre tipos de manejo (T=19003; p=0.200).

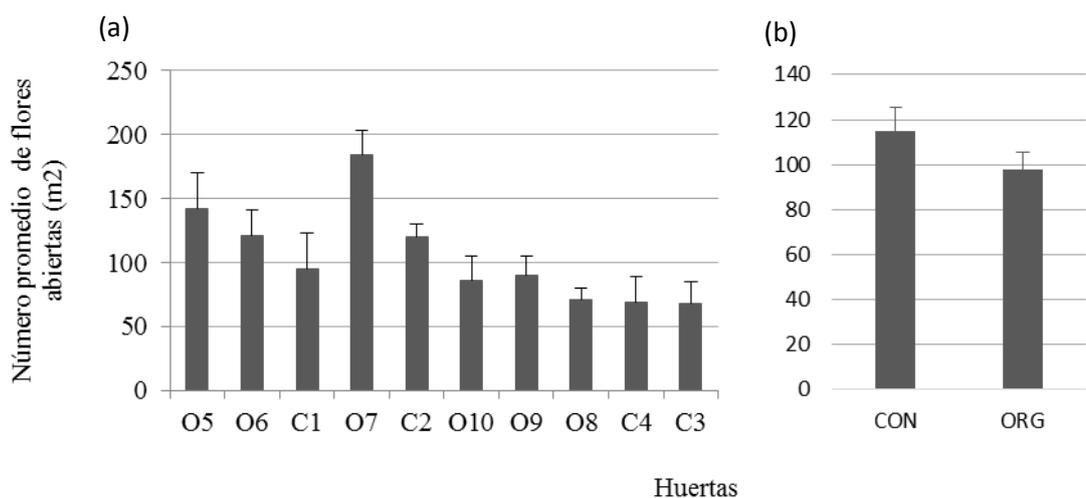


Figura 4. Número promedio de flores abiertas durante el día: (a) por huerta por m² de follaje (100.8 ± 6.3 SE, n=30) y, (b) por manejo: convencional (115.07 ± 10.55 SE, n=120) y orgánico (97.85 ± 7.95 SE, n=180). Se muestra el error estándar (\pm ES).

Se observó predominio del estado sexual masculino durante las horas de la mañana en el 80% de los árboles muestreados, con reducción continua a lo largo del día. En contraste, el estado femenino no manifestó un comportamiento definido, encontrándose presente durante todo el día, con cierta tendencia a incrementarse en horas de la tarde hasta en el 40% de las observaciones. Asimismo, se registraron árboles con flores en ambos estados durante todo el día (Fig. 5). Por su parte, se advirtió una ligera relación entre los estados sexuales florales y la temperatura. A bajas temperaturas se encontró igual proporción de árboles con flores femeninas y masculinas, pero a medida que la temperatura se incrementó los árboles con flores en estado masculino decrecieron y los árboles en estado femenino aumentaron (Fig. 6).

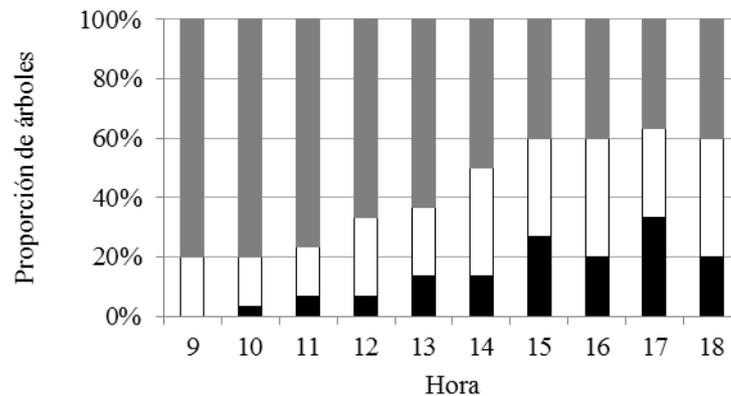


Figura 5. Comportamiento de los estados florales del aguacatero durante el día. Los datos provienen de la sumatoria del número de árboles de cada estado sexual: femenino (blanco) y masculino (gris) o cuando ambos estados están abiertos simultáneamente (negro), durante cada hora del día. En horas de la mañana el estado masculino sobresale frente a, los otros dos estados, el estado femenino presenta uniformidad en horas de la tarde. Se observa simultaneidad de ambos estados a lo largo del día.

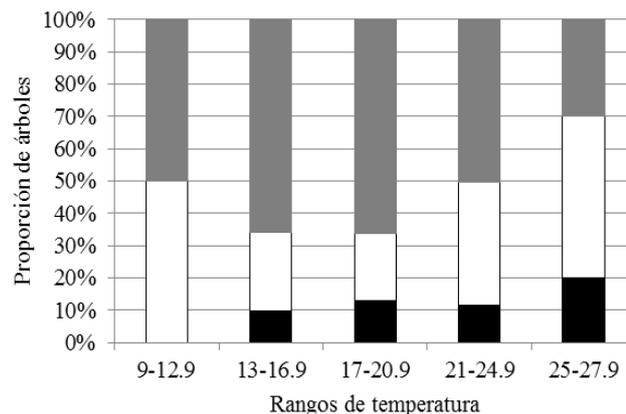


Figura 6. Comportamiento de los estados florales del aguacatero en rangos de temperatura. Los datos provienen de la sumatoria del número de árboles de cada estado sexual: femenino (blanco) y masculino (gris) o cuando ambos estados están abiertos simultáneamente (negro).

Se exploraron 9 variables independientes concernientes a las condiciones ambientales que pueden incidir en la apertura de la flor y el estado sexual mediante un árbol de clasificación. La muestra original contuvo 36 plantas cuando ambos estados están presentes (fase 0), 79 plantas en estado femenino (fase I) y 145 en estado masculino (fase II). La primera clasificación se produjo en función de la variable TEMP: si es menor o igual a 23.65°C, de la cual se separan 43 plantas. Las restantes 217 plantas fueron clasificadas por la HORA. Después de las 14:50 se conformaron dos grupos de 125 y 92 plantas, que a su vez fueron clasificados por las variables TPD y HP, respectivamente. Del primer grupo se separan 26 plantas con TPD mayor a 15.15°C, y 99 plantas con TPD menor a 15.65°C. A su vez, el grupo de las 26 plantas es clasificado por la HP: cuando la HP es menor a 57% se separa un grupo de 9 plantas y cuando es mayor a 57%, se separa otro grupo de 17 plantas. Por su parte, el grupo de 92 es clasificado por la variable HP, cuando la HP es menor a 57.45% se separa un grupo de 22 plantas y cuando es mayor a 57.45%, se separa otro grupo de 70 plantas. Finalmente, estas últimas 70 plantas son clasificadas de nuevo por la variable TPD, si la TPD es inferior a 11°C se separa un grupo de 12 plantas y si es mayor a 11°C conforma un grupo de 58. La Tabla 1 recoge la información del número de plantas de las tres fases en los distintos nodos, así como la contribución de las clases. Las variables TPD, HORA y TEMP tienen la mayor importancia de acuerdo al ranking de importancia clasificatoria de las variables predictoras (Fig. 7). Las variables empleadas para la predicción no son muy buenas predictoras puesto que los histogramas distinguen categorías solo en algunos nodos (6, 8 y 10). Las separaciones restantes dejaron mezcla de estados.

Tabla 1. Estructura del árbol de clasificación. Número de plantas de las tres fases o estados sexual de la flor del aguacatero en los distintos nodos: clase 0, ambos sexos al tiempo; clase 1, femenino; clase 2 masculino. Además, la contribución de las clases (%), el valor de la constante de clasificación y las variable de clasificación: TEMP (temperatura cada hora), HORA (hora del día), TPD (temperatura promedio todo el día) y HP (humedad relativa promedio durante el día).

Nodo	n clase 0	% clase 0	n clase 1	% clase 1	n clase 2	% clase 2	Constante clasificación	Variable de clasificación
1	36	13.8	79	30.4	145	55.8	23,6500	TEMP
2	30	13.8	50	23.0	137	63.1	14,5000	HORA
3	6	14.0	29	67.4	8	18.6		
4	6	4.8	17	13.6	102	81.6	15,1500	TPD
5	24	26.1	33	35.9	35	38.0	57,4500	HP
6	6	6.1	3	3.0	90	90.9		
7	0	0.0	14	53.8	12	46.2	57,0000	HP
8	7	31.8	1	4.5	14	63.6		
9	17	24.3	32	45.7	21	30.0	11,0000	TPD
10	0	0.0	9	100.0	0	0.0		
11	0	0.0	5	29.4	12	70.6		
12	2	16.7	1	8.3	9	75.0		
13	15	25.9	31	53.4	12	20.7		

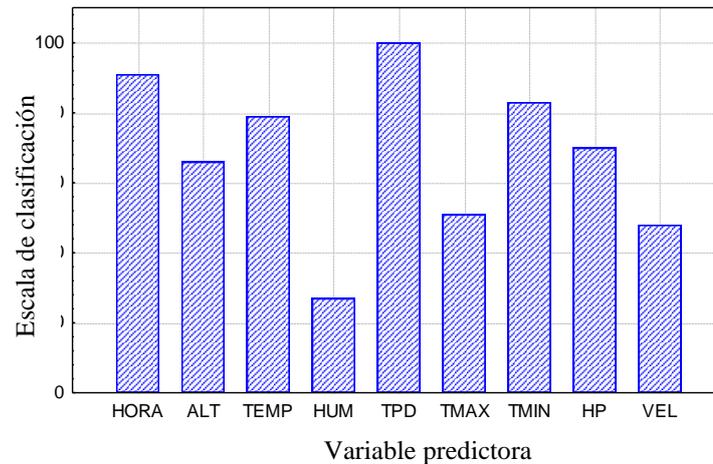


Figura 7. Histograma de la importancia clasificatoria de las variables ambientales predictoras del estado sexual de la flor del aguacatero. Variable dependiente: EST. Se consideraron la hora del día (HORA), altitud del huerto (ALT), temperatura en el momento de la observación (TEMP), humedad en el momento de la observación (HUM), temperatura promedio día (TPD), temperatura máxima del día anterior (TMAX), temperatura mínima del día anterior (TMIN), humedad promedio del día (HP) y velocidad del viento (VEL). Clasificación de escala desde 0 (baja importancia) a 100 (alta importancia).

2.3.2 Diversidad de los visitantes florales y acarreadoras de polen de aguacatero

2.3.2.1 Visitantes florales

Se encontraron asociados a la flor del aguacatero 969 individuos de 70 especies (58 especies y 12 morfoespecies), pertenecientes a 22 familias y 4 órdenes taxonómicos (Himenoptera, Diptera, Coleoptera y Hemiptera). Los individuos fueron colectados durante 30 días (3000 minutos de esfuerzo total de muestreo). La especie más abundante fue *Apis mellifera* L. con 710 individuos, seguida de morfotipo C1 de coleóptera (22 individuos), *Polybia diguetana* (Buyssin) (20), *Parachartergus mexicanus* (Saussure) (19), *Lasioglossum* sp. 2 (Dialictus) (17), *Vespa squamosa* (Drury) (13), *Toxomerus mutuus* (Say) (12), *Tiphia* sp. 1 (11) y *Polybia occidentalis* (Olivier) (10). Las especies restantes cuentan con menos de 10 individuos en total. En el Apéndice 2.1 (Pág. 64) se encuentra el listado de las especies con sus respectivas abundancias.

La riqueza de las familias está distribuida en iguales proporciones entre los órdenes de Diptera e Himenoptera (45%, cada uno), así como entre Coleoptera y Hemiptera (5%, cada uno). De igual forma, la riqueza de especies guarda similitud entre estos grupos Diptera e Himenoptera (50 y 44%, respectivamente) y Coleoptera y Hemiptera (2 y 4%, respectivamente). Por su parte, la abundancia de individuos tuvo mayor proporción en Himenoptera (88%) respecto los otros tres grupos, aunque cuando no se considera la abundancia de la abeja europea se observa una reducción del 34% en la contribución de este grupo.

La curva de acumulación de especies no alcanzó la asíntota durante el estudio. Las estimaciones de especies encontradas estuvieron entre el 56.9% y 66.7% según los índices de Clench y Chao 2, respectivamente. Por su parte, el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (Fig. 8) exhibe el ordenamiento de las huertas respecto de

la riqueza específica y abundancia de visitantes florales. ALT y HP fueron desestimadas por el análisis. Sin embargo, las variables restantes no muestran un efecto significativo en la ordenación de las huertas. De igual forma, no se encontró correlación entre la riqueza específica y TPD, HP y OFL, aunque la abundancia mostró relación con TPD y HP pero no con OFL, (Tabla 2). La abundancia incrementó con la temperatura pero disminuyó a medida que aumentó la humedad. Este análisis arrojó un estrés final de 10.95 para dos dimensiones, con 0.00381 de inestabilidad con 20 iteraciones, esto indica que la información es fiable sobre el patrón de distribución de los datos, las unidades de muestreo se ubican cercanas a las de mayor similitud y lejanas de las de menor similitud (López, 2009). El estrés se mantiene estable a partir de la iteración 11.

Tabla 2. Relación entre las variables ambientales: TPD (temperatura promedio diaria), HP (humedad promedio) y OFL (oferta floral) y RIQ (riqueza específica) y ABUN (abundancia relativa). Se muestran los valores del coeficiente de correlación (r) y los valores p asociados (p).

	TPD		HP		OFL	
	r	p	r	p	r	p
RIQ	0.240	0.503	-0.064	0.861	0.154	0.129
ABUN	0.651	0.041	-0.693	0.026	0.109	0.279

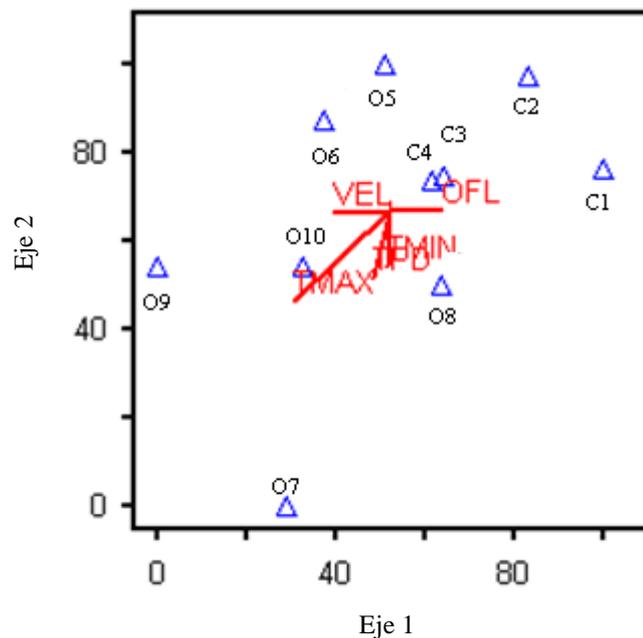


Figura 8. Ordenación de las 10 huertas aguacateras en función de la riqueza específica y la abundancia de los visitantes florales. Las líneas indican la dirección e intensidad de las variables ambientales: ALT (altitud), TPD (temperatura promedio día), TMAX (temperatura máxima del día anterior), TMIN (temperatura mínima del día anterior), HP (humedad relativa promedio durante el día) y VEL (velocidad del viento durante el día), OFL (oferta floral).

Los índices de diversidad mostraron disparidad entre las huertas. El índice de diversidad H' en las huertas estuvo entre 0.15 y 0.95, valores muy inferiores a los manifestados por H'_{max} de 0.78 y 1.45. La riqueza específica (S), estuvo entre 6 y 28 especies, y la diversidad verdadera de orden 1 ($D(H')$) entre 1.16 a 2.59 (Tabla 3). Al analizar estas equivalencias, se tiene que la huerta con mayor diversidad verdadera de orden 1 presenta más del doble (2.23) de diversidad específica (H') que la huerta con menor diversidad. Sin embargo estos resultados son contrarios a los valores de riqueza, ya que las huertas con menor número de especies presentan mayor diversidad verdadera de orden 1. Asimismo, en huertas donde se tenían valores altos en la riqueza se obtuvieron valores bajos en los índices de diversidad, resultados generados por la dominancia de la abeja europea en la mayoría de las huertas (Tabla 3). Las huertas O5 Y O7 presentaron los mayores valores de riqueza (23 y 28, respectivamente), pero valores medios en el índice de biodiversidad de Shannon (0.60 y 0.76, respectivamente) y en el índice de diversidad verdadera de orden 1 (1.82 y 2.14, respectivamente), a diferencia de la huerta C2 que presentó menor riqueza (16) pero ambos índices de diversidad con valores superiores (0.95 y 2.59, respectivamente), ya que esta última huerta presentó baja abundancia de la abeja europea (Tabla 3). Por esta razón, se consideró realizar los análisis de diversidad excluyendo la abundancia de la abeja europea, especie introducida o colonizadora, en la mayoría de las huertas y que aporta el 77% de la abundancia total (Apéndice 2.1, Pág 71).

La abeja europea es introducida masivamente en las huertas como práctica agronómica en beneficio de la polinización, sólo en los periodos de floración del aguacatero. En la Figura 10 se observa el comportamiento de los valores de los índices de diversidad de Shannon (H'), diversidad máxima de Shannon (H_{max}) y la diversidad verdadera de orden 1 respecto a la riqueza específica y la abundancia de cada huerta, cuando se incluye y excluye dicha especie. En su presencia los índices H' y H_{max} se incrementaron a medida que incrementó la riqueza (Fig. 9 a), pero estos índices disminuyeron a medida que incrementó la abundancia (Fig. 9 b). En su ausencia los tres índices incrementaron a medida que aumentaba la riqueza y la abundancia, y la comunidad mostró mayor uniformidad (Fig. 9 c y d).

2.3.2.2 Acarreadores de polen

De las 70 sp de visitantes florales, 39 especies acarrearon polen de aguacate, con 918 individuos en total. El orden taxonómico que mayor riqueza de acarreadores fue Diptera (24 especies), seguido de Himenoptera (12), Hemiptera (2) y Coleoptera (1). Sin embargo, la mayor abundancia la presentó Himenoptera (775 individuos), seguido por Diptera (38), Coleoptera (22) y Hemiptera (5). La proporción de la riqueza específica y abundancia de acarreadores de polen respecto a la riqueza y abundancia de los visitantes florales se observa en la Figura 10, nótese la alta proporción de especies del orden Diptera en el acarreo de polen y la alta contribución de la abundancia en Himenoptera, aunque la abundancia de este último orden está dominada por la abeja europea en un 91.6%.

El índice de diversidad H' de los acarreadores en las huertas estuvo entre 0.08 a 0.84, valores muy inferiores a los manifestados por H'_{max} de 0.60 y 1.28, la diversidad verdadera de orden 1 entre 1.08 a 2.32 (Tabla 3). Por otra parte, el análisis de correlación entre la riqueza de visitantes florales y la riqueza de acarreadores de polen

presentó significancia estadística ($r= 0.816$; $p= <0.0001$). Independiente del tipo de manejo, al aumentar la riqueza de visitantes, también aumenta la riqueza de acarreadores.

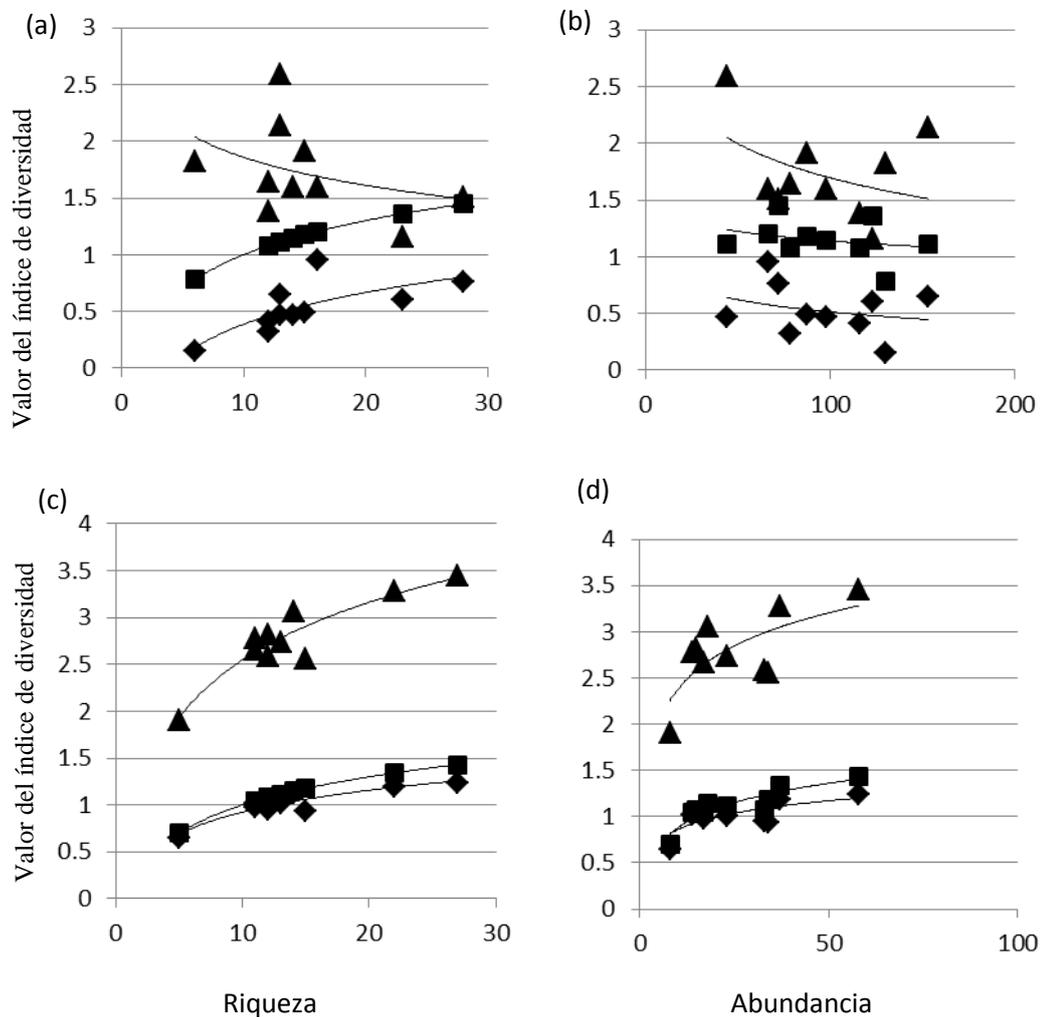


Figura 9. Diversidad de los visitantes florales del aguacatero de acuerdo a los índices de Shannon (H') (rombo), diversidad máxima Shannon de (H_{max}) (cuadrado) y la diversidad verdadera de orden 1 (D (H'')), (triángulo). Se observa el comportamiento del índice (eje Y) respecto a la riqueza específica (eje X en a y c) y la abundancia (eje X en b y d). Se compararon la comunidad total (a y b) y la comunidad cuando se excluye *Apis mellifera* L. (c y d). Cada punto corresponde a una huerta. Se presentan las líneas de tendencia logarítmica.

2.3.2.3 Hipótesis 2. Rol de los acarreadores de polen de aguacatero nativos e introducidos

En este estudio se cuantificaron 79025 granos de polen de aguacate en total. Los acarreadores nativos, que representaron el 22% de la abundancia total, **transportaron el 5.78%** de los granos de polen. Cabe anotar que aunque la abeja europea acarreó el 94.2% de los granos de polen totales, el 70.6% de estos granos se encontró transportado en las patas (corbículas) y por ende es polen que no está disponible para la polinización. Si se compara el transporte de polen entre los acarreadores silvestres y de la abeja europea descontando el contenido en las corbículas de esta última, la proporción de los

granos de polen totales transportados por parte de los acarreadores nativos se incrementó a 17.3%.

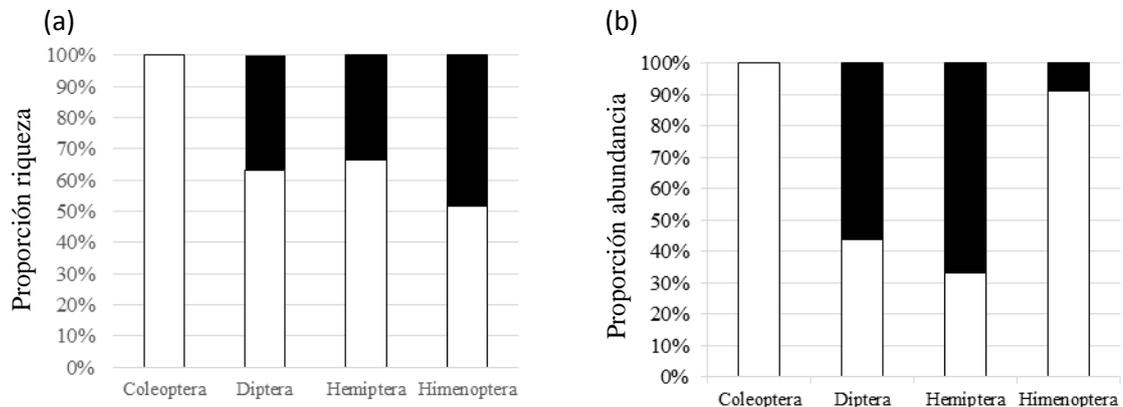


Figura 10. Proporción de la riqueza (a) y abundancia (b) de acarreadores de polen de aguacatero (blanco) respecto a los no acarreadores de polen (negro), de los 4 órdenes taxonómicos encontrados.

La clasificación de los acarreadores de polen exhibió 5 grupos, estos fueron conformados por la abundancia de individuos de la especie, la cantidad de polen promedio acarreado en la cabeza, abdomen y patas excepto el polen encontrado en las corbículas y la cantidad promedio de otros tipos de polen (Fig. 11 y Tabla 4), aunque este último no fue representativo en el análisis, ya que los centroides de las clases oscilaron entre 0.25 a 5.20 granos de otros tipos de polen promedio por individuo. El primer grupo estuvo conformado por 22 especies, se identificó por especies de abundancia baja y baja cantidad promedio de granos de polen de aguacatero, el segundo grupo por 10 especies que presentaron baja abundancia y baja cantidad de granos de polen, el tercero por 1 especie que presentó la mayor abundancia y cantidad intermedia de granos de polen (al excluir el polen de la corbículas (patas)), el cuarto grupo por 1 especie y el quinto grupo por 5 especies. Los dos últimos grupos presentaron abundancia intermedia pero alta cantidad de granos de polen transportados. Las especies que más transportaron polen fueron *Polybia occidentalis*, *Parachartergus mexicanus*, *Polistes instabilis*, *Polistes major*, *Polybia occidentalis*, Tachinidae sp. 4 y Tachinidae sp. 5. Por su parte, *Apis mellifera* fue única en el grupo 3, por la abundancia. Cabe resaltar que las 5 primeras especies de las anteriormente nombradas son avispas, y las dos últimas son dípteros. En la Tabla 5 se describen los centroides de las clases de cada grupo. Al analizar la relación entre la abundancia total de los acarreadores de polen y el polen acarreado promedio se encontró alta correlación cuando se incluyó la abeja europea en el análisis ($r= 0.732$; $p= <0.0001$), esto por el arrastre de datos que hace la alta abundancia y cantidad de polen de esta especie respecto a las demás. Sin embargo, también se encontró correlación significativa cuando se excluyó esta especie ($r= 0.534$; $p= <0.0001$). Este resultado nos indica que si se encontró una relación entre la abundancia y el promedio de granos acarreados entre los acarreadores de polen de aguacatero como como se observó en la formación de los grupos.

Tabla 3. Diversidad de visitantes florales (incluye insectos acarreadores y no acarreadores de polen) y acarreadores de polen por huerta: riqueza (S), abundancia (N) de los ejemplares colectados en cada huerta, y los índices de diversidad: Shannon (H'), diversidad máxima (Hmax)) y diversidad verdadera de orden uno (D (H')). Todos los índices fueron analizados para la comunidad de visitantes total (Visitantes) y la comunidad de acarreadores de polen de aguacate (Acarread). A su vez, se analizó la comunidad incluyendo la abeja europea (C) y la comunidad excluyendo la abeja europea (S). Los índices fueron calculados en Log Base 10.

	S				N				H'				H' max				D(H')			
	Visitantes		Acarread		Visitantes		Acarread		Visitantes		Acarread		Visitantes		Acarread		Visitantes		Acarread	
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
C1	12	11	7	6	116	17	110	11	0.32	0.98	0.21	0.71	1.08	1.04	0.85	0.78	1.38	2.66	1.23	2.03
C2	16	15	12	11	44	34	40	30	0.95	0.93	0.84	0.79	1.20	1.18	1.08	1.04	2.59	2.56	2.32	2.20
C3	12	11	11	10	72	14	71	13	0.41	1.02	0.39	0.98	1.08	1.04	1.04	1.00	1.51	2.77	1.48	2.66
C4	6	5	4	3	123	8	119	4	0.15	0.65	0.08	0.45	0.78	0.70	0.60	0.48	1.16	1.91	1.08	1.57
O5	23	22	19	18	130	37	126	33	0.60	1.19	0.54	1.10	1.36	1.34	1.28	1.26	1.82	3.28	1.72	3.00
O6	15	14	10	9	78	18	72	12	0.49	1.12	0.35	0.93	1.18	1.15	1.00	0.95	1.64	3.06	1.42	2.53
O7	28	27	18	17	153	58	142	47	0.76	1.24	0.62	1.04	1.45	1.43	1.26	1.23	2.14	3.45	1.86	2.83
O8	13	12	6	5	66	15	58	7	0.47	1.04	0.24	0.64	1.11	1.08	0.78	0.70	1.60	2.82	1.27	1.90
O9	13	12	7	6	87	33	79	25	0.65	0.95	0.49	0.69	1.11	1.08	0.85	0.78	1.91	2.58	1.63	1.99
O10	14	13	11	10	98	23	95	20	0.47	1.01	0.41	0.89	1.15	1.11	1.04	1.00	1.60	2.74	1.51	2.43

Tabla 4. Especies acarreadoras de polen de aguacatero. Para esta clasificación se consideraron las especies que acarrearón más de 5 granos de polen cuando se sumaba el polen transportado en cabeza y abdomen. Se distinguen los cinco grupos formados a partir del análisis de clúster (G). El grupo 1 tuvo especies de abundancia baja y baja cantidad promedio de granos de polen de aguacatero, el grupo 2 con abundancia baja y baja cantidad de granos de polen, el grupo 3, presentó la mayor abundancia y cantidad intermedia de granos de polen, el grupo 4 y 5 presentaron abundancia intermedia y alta cantidad de granos de polen transportado. Se consideró el número de muestras analizadas (MU), el promedio del número de granos de polen de aguacate transportados en cabeza, patas y abdomen \pm el error estándar. También se muestra el porcentaje (%) de individuos de cada especie que transportaron otros tipos de polen. Se identificaron tres categorías para el acarreo de otros tipos de polen: 1 (1-5 granos), 2 (6-50) y 3 (> 50).

G	Orden	Especie	MU	# de granos de polen de aguacatero			% de individuos con otros tipos de polen			
				Cabeza	Patatas	Abdomen	1	2	3	
1	Coleoptera	<i>Morfotipo C1</i>	8	2.7 \pm 2.03	19.4 \pm 10.13	3.0 \pm 3.0	25	0	0	
	Diptera	<i>Allograpta</i> sp. 1	3	10.3 \pm 7.13	1.3 \pm 0.68	1.3 \pm 1.3	33.3	0	0	
		<i>Allograpta obliqua</i> (Say)	4	21.5 \pm 20.17	0.0 \pm 0.0	0.0 \pm 0.0	71.2	3.4	6.5	
		<i>Brachygastra mellifica</i> (Say)	4	1.0 \pm 0.41	2.2 \pm 2.25	2.5 \pm 2.18	75	0	0	
		Bombylidae sp. 1	1	2.0	3.0	5.0	100	0	0	
		Calliphoridae sp. 2	1	7.0	0.0	4.0	100	0	0	
		Dolichopodidae sp. 1	2	0.0 \pm 0.0	0.0 \pm 0.0	5.0 \pm 5.0	0	0	50	
		Muscidae sp. 4	5	2.4 \pm 1.20	0.40 \pm 0.40	3.0 \pm 1.90	60	20	0	
		<i>Palpada mexicana</i> (Macquart)	3	7.3 \pm 7.33	3.3 \pm 2.03	10.0 \pm 4.36	100	0	0	
		Platycheirus sp.1	3	10.3 \pm 9.84	0.0 \pm 0.0	0.0 \pm 0.0	33.3	33.3	0	
		Sarcophagidae sp. 1	1	6.0	3.0	5.0	100	0	0	
		Sarcophagidae sp. 2	1	0.0	8.0	1.0	100	0	0	
		Tachinidae sp. 2	4	12.5 \pm 10.3	2.75 \pm 2.75	1.75 \pm 1.75	25	0	0	
		Tachinidae sp. 3	4	7.5 \pm 2.5	0.0 \pm 0.0	7.5 \pm 7.5	50	0	0	
		Tiphia sp. 2	3	5.0 \pm 4.51	2.3 \pm 1.45	16.3 \pm 15.34	100	0	0	
		<i>Toxomerus mutuus</i> (Say)	9	7.1 \pm 6.03	0.0 \pm 0.0	0.0 \pm 0.0	33.3	11.1	0	
		Himenoptera	Lasioglossum sp.1	1	5.0	0.0	0.0	100	0	0
			Lasioglossum sp. 2 (Dialictus)	14	5.1 \pm 3.39	1.3 \pm 0.92	1.8 \pm 0.71	57.1	0	0
			<i>Polistes pacifica</i> Fabricius	5	1.0 \pm 0.45	3.0 \pm 2.14	11.8 \pm 3.48	80	0	0
	<i>Polybia diguetana</i> (Buyssin)		17	5.5 \pm 3.44	2.5 \pm 0.92	6.8 \pm 2.09	76.5	0	0	
<i>Scolia</i> sp. 1	2		2.5 \pm 1.5	5.5 \pm 5.5	2.0 \pm 2.0	0	0	0		

G	Orden	Especie	MU	# de granos de polen de aguacatero			% de individuos con otros tipos de polen		
				Cabeza	Patas	Abdomen	1	2	3
	Hemiptera	Morfotipo HE2	1	0.0	2.0	6.0	0	0	0
.2	Diptera	Bibionidae sp. 1	4	16.25±9.75	0.0±0.0	0.75±0.75	50	0	0
		<i>Copestylum mexicanum</i> (Macquart)	1	33.0	7.0	18.0	0	0	0
		Morfotipo M2	2	32.5±6.50	0.0	0.0	0	0	0
		Muscidae sp. 5	1	6.0	20.0	30.0	0	0	0
		<i>Pseudodoros clavatus</i> (Fabricius)	1	20.0	22.0	15.0	100	0	0
		Tachinidae sp. 6	1	19.0	8.0	4.0	100	0	0
		Tachinidae sp. 7	2	0.0±0.0	0.5±0.5	68.0±68.0	50	0	0
Hemiptera	Morfotipo HE1	2	1.5±0.5	0.5±0.5	37.5±36.5	50	0	0	
Himenoptera	<i>Polistes carnifex</i> (Fabricius)	3	2.3±0.88	1.0±1.0	30.0±27.54	66.6	0	0	
	<i>Vespula squamosa</i> (Drury)	13	12.1±6.66	3.6±1.72	17.9±7.35	70	0	0	
3	Himenoptera	<i>Apis mellifera</i> (Linneo)	323	38.1±43.99	162.7±11.83	29.67±3.28	71.2	3.4	6.5
4	Himenoptera	<i>Polybia occidentalis</i> (Olivier)	4	28.0±27.0	2.0±2.0	40.0±29.68	25	0	0
5	Diptera	Tachinidae sp. 4	3	8.3±2.40	2.7±2.67	67.3±67.3	33.3	0	0
		Tachinidae sp. 5	1	7.0	29.0	48.0	0	0	100
Himenoptera	<i>Parachartergus mexicanus</i> (Saussure)	11	30.3±11.61	48.2±16.10	14.5±8.44	63.6	0	0	
	<i>Polistes instabilis</i> (Saussure)	3	60.0±59.00	1.3±1.33	23.7±23.67	33.3	0	0	
	<i>Polistes major</i> (Bequard)	4	32.7±11.8	7.0±3.30	85.0±51.8	75	0	0	

El transporte de granos de polen de aguacatero fue superior al acarreo de otros tipos de polen, sólo el 5.1% de las especies acarreadoras de polen transportó cargas altas de otro tipo de polen: Tachinidae sp. 5, Dolichopodidae sp. 1, *Allograpta obliqua* y *Apis mellifera*. Sin embargo, en las dos últimas especies sólo el 6.5% de los individuos estudiados acarreo cantidades superiores a 50 granos de polen de otras especies presentes en las huertas. Se observaron 31 especies y 3 órdenes taxonómicos.

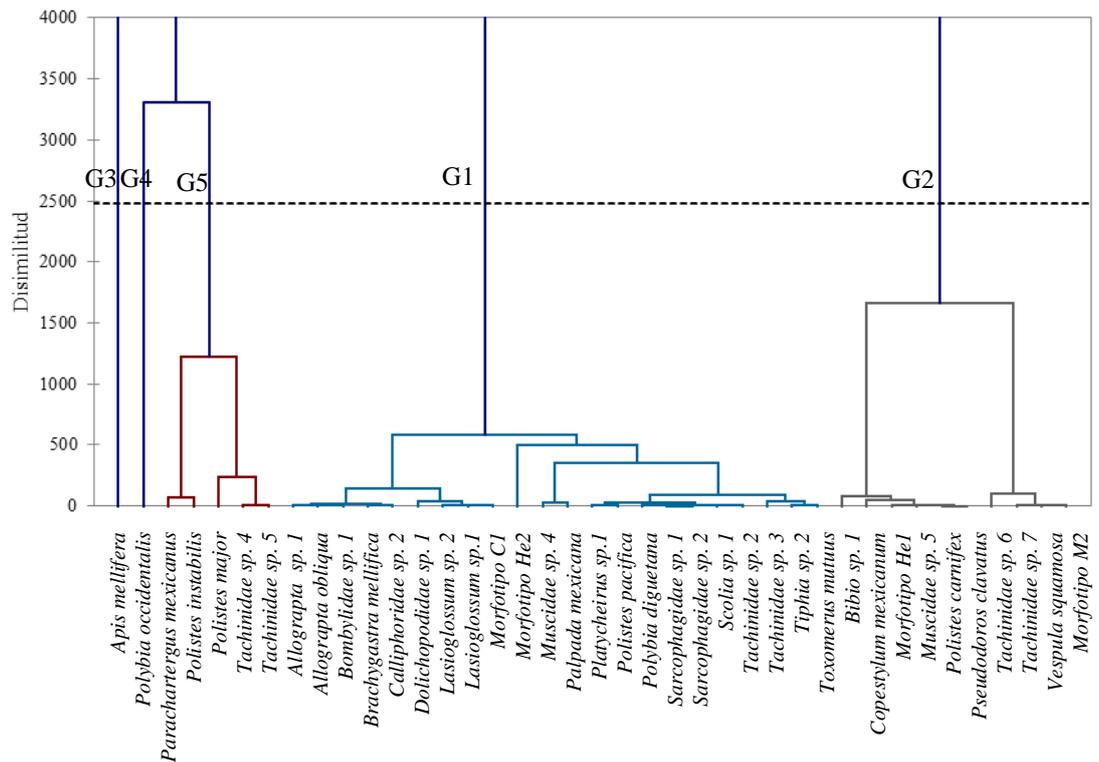


Figura 11. Distancias de disimilitud y tipología de las especies de acarreadores de polen del aguacatero. Se consideró a las especies que acarrearón más de 5 granos de polen cuando se sumaba el polen transportado en cabeza, abdomen y patas. Se excluyeron los granos de polen acarreados en las curvículas de la abeja europea. Se observan 5 grupos. La línea punteada representa el truncamiento de los grupos.

Tabla 5. Clasificación de las huertas según los índices de diversidad de los visitantes forales y los acarreadores de polen de *P. americana*. Todos los análisis incluyeron a *A. mellifera*. El análisis se realizó en Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ).

Grupo	1	2	3	4	5
Objetos	22	10	1	1	5
Centroides de las clases					
Abundancia	4.64	2.9	654	6	6.2
Cantidad polen aguacatero	12.53	44.19	67.78	163	100.02
Cantidad otros tipos de polen	2.91	0.98	5.2	0.25	1.12
Varianza intraclase	87.53	217.03	0	0	383.59

2.3.2.4 Hipótesis 3. Incidencia del manejo convencional y orgánico en la diversidad de los visitantes de flores y acarreadores de polen del aguacatero, según la riqueza, abundancia, diversidad alfa y composición de especies (diversidad beta).

Se encontraron 28 especies de visitantes florales (40% de la riqueza total de visitantes florales) con 356 individuos (36.7% de la abundancia del total de visitantes) en el manejo convencional y 62 especies (88.5% de la riqueza total de visitantes florales) con 613 individuos (63.3% de la riqueza total de visitantes florales) en el manejo orgánico. Las curvas de acumulación de los visitantes florales manifestaron muestras incompletas. Según los índices de Clench y Chao 2, en el manejo convencional se encontró el 51.9% y 71.3% de las especies y en el manejo orgánico el 47.0% y 58.2%. Para ambos índices se observa mayor completitud de muestreo en el manejo convencional, a pesar de tener dos huertas menos muestreadas que el manejo orgánico. En cuanto a los acarreadores de polen, el manejo convencional tuvo 18 especies (46.2 % de la riqueza total de acarreadores de polen) con 341 individuos (37.1% de la abundancia total de acarreadores de polen), mientras que el manejo orgánico contuvo 37 especies (94.9%) con 577 individuos (62.8%). De la abundancia de acarreadores de polen el 11.3 y 15.9 % corresponden a acarreadores nativos en los manejos convencional y orgánico, respectivamente. En la Figura 12 se observa por cada manejo la riqueza, abundancia de visitantes florales y acarreadores de polen totales y cuando se excluye la abeja europea.

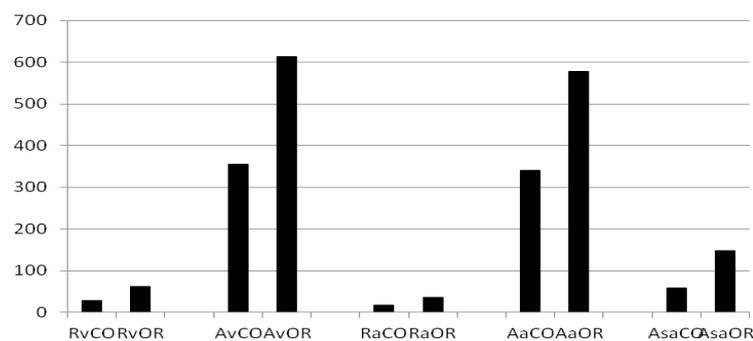


Figura 12. Riqueza y abundancia de los visitantes florales en el manejo convencional (RvCO y AvCO, respectivamente) y manejo orgánico (RvOR y AvOR), riqueza y abundancia de los acarreadores de polen en el manejo convencional (RaCO y AaCO) y manejo orgánico (RaOR y AaOR) y la abundancia de los acarreadores de polen cuando se excluye la abundancia de la abeja europea en el manejo convencional (AsaCO) y manejo orgánico (AsaOR).

El manejo convencional presentó dos órdenes taxonómicos (Diptera e Hymenoptera), a diferencia del manejo orgánico que incluyó individuos de los 4 órdenes (Coleoptera, Diptera, Hemiptera e Himenoptera), (Fig. 13).

La diversidad alfa de los visitantes florales fue 2.5 veces mayor en el manejo orgánico respecto al manejo convencional ($(D(H)) = 39.13$ y $(D(H)) = 15.37$), al igual que en los acarreadores de polen de aguacatero fue 2 veces mayor en el manejo orgánico respecto al manejo convencional ($(D(H)) = 10.34$ y $(D(H)) = 4.97$). Por su parte, la diversidad beta mostró baja similitud, aunque la diversidad beta fue mayor tanto para acarreadores

como para visitantes en cultivos orgánicos (Tabla 6). Cuando se excluye la abeja europea de los análisis de diversidad, los valores de la diversidad alfa cambian, tendiendo incluso a triplicarse (Tabla 6). No obstante, el manejo orgánico sigue presentando los valores más altos. La diversidad beta mostrando baja similitud en las comunidades de visitantes y acarreadoras entre los manejos agronómicos, sin embargo la comunidad de acarreadores presenta mayor similitud ($I_J=0.28$ y $I_J=0.41$, respectivamente).

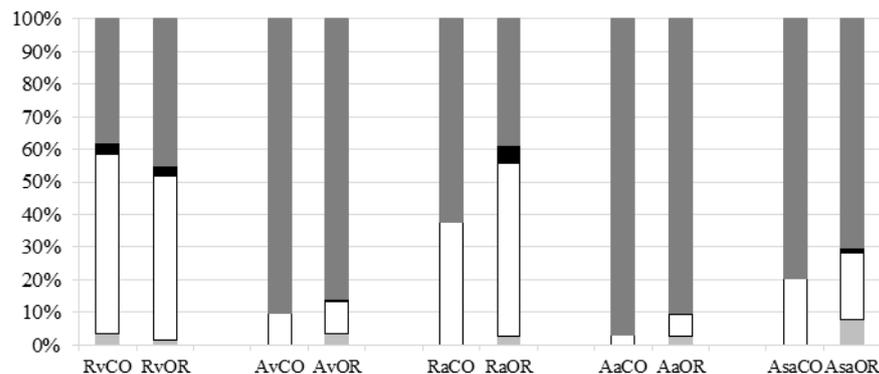


Figura 13. Proporción de la riqueza y abundancia de los visitantes florales en el manejo convencional (RvCO y AvCO, respectivamente) y manejo orgánico (RvOR y AvOR), riqueza y abundancia de los acarreadores de polen en el manejo convencional (RaCO y AaCO) y manejo orgánico (RaOR y AaOR) y la abundancia de los acarreadores de polen cuando se excluye la abundancia de la abeja europea en el manejo convencional (AsaCO) y manejo orgánico (AsaOR) de los 4 órdenes taxonómicos encontrados: Coleoptera (gris claro), Diptera (blanco), Hemiptera (negro) e Himenoptera (gris oscuro).

El análisis de modelos mixtos no mostró un efecto significativo del tipo de manejo sobre las variables de biodiversidad: riqueza de visitantes florales ($F=1.168$; $GL=1$; $p=0.291$), riqueza de acarreadores de polen ($F=0.584$; $GL=1$; $p=0.452$), abundancia de visitantes florales ($F=0.521$; $GL=1$; $p=0.477$), abundancia de acarreadores de polen ($F=0.497$; $GL=1$; $p=0.487$), diversidad alfa de visitantes ($F=2.486$; $GL=1$; $p=0.180$) y diversidad alfa de acarreadores ($F=14.385$; $GL=1$; $p=0.089$). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre huertas, lo que indica que son las prácticas y condiciones específicas de cada huerta las que determinan su riqueza de visitantes ($F=2.43$; $GL=24$; $p=0.0003$), riqueza de acarreadores ($F=2.23$; $GL=24$; $p=0.000$), abundancia de visitantes ($F=3.057$; $GL=24$; $p=0.000$), abundancia de acarreadores ($F=2.10$; $GL=24$; $p=0.0003$), diversidad alfa de visitantes ($F=1.945$; $GL=24$; $p=0.006$) y diversidad alfa de acarreadores ($F=1.99$; $GL=24$; $p=0.005$). Aunque se encontraron huertas que difirieron significativamente de otras en alguna de estas variables, estas diferencias al no ser consistentes entre huertas y entre variables no permitieron interpretar que alguna huerta difería de manera consistente de las otras. Por lo tanto, solo se puede concluir que, como se demostró en el primer capítulo, las diferencias se dan a nivel de huerta, no de tipo de manejo o fecha de muestreo.

Tabla 6. Riqueza de visitantes florales y de acarreadores de polen (S) por manejo convencional (CO) y orgánico (OR), la abundancia (N) de los ejemplares colectados por manejo, y el índice de diversidad alfa: número efectivo de orden 1 (D (H')) y el índice de diversidad beta: similitud de Jaccard.

	Manejo		S	N	H'	Hmax	D (H')	I _J
Visitantes florales	CO	ConA	28	356	0.48	1.45	7.16	0.28
		SinA	27	63	1.30	1.43	108.8	
	OR	ConA	62	613	0.73	1.79	16.61	
		SinA	61	168	1.57	1.78	265.57	
Acarreadores de polen	CO	ConA	16	318	0.16	1.04	4.97	0.41
		SinA	15	25	1.00	1.45	40.45	
	OR	ConA	36	509	0.41	1.53	10.34	
		SinA	35	70	1.37	1.53	138.94	

2.3.3 Fructificación

2.3.3.1 Hipótesis 4. Contribución de la presencia de visitantes florales en la producción de frutos

Se observó un descenso en la cantidad de frutos producidos durante los tres momentos de conteo (Fig. 14). A los dos meses la cantidad de frutos promedio (m^2) fue de 488.56 ± 52.35 , a los cinco meses fue 9.54 ± 1.09 y a los nueve meses 8.74 ± 0.60 , se especifica el error estándar. En la Tabla 7 se observan los resultados de la relación entre la riqueza, la abundancia de los acarreadores de polen y la abundancia de la abeja europea con la cantidad de frutos iniciales (2 meses) y la cantidad de frutos finales (9 meses). Se encontraron relaciones positivas significativas con la abundancia de acarreadores y la abundancia de la abeja europea durante el primer año de muestreo. En el segundo año de muestreo estas mismas relaciones estuvieron cercanas a ser significativas.

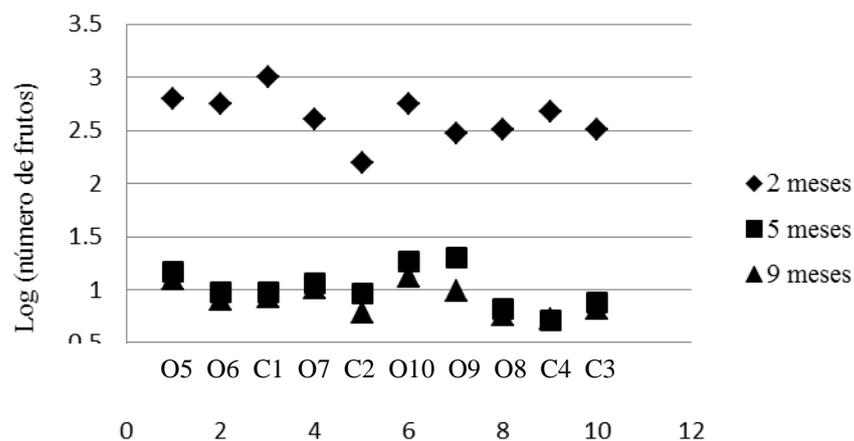


Figura 14. Cantidad de frutos producidos por m^2 (log 10) a los 2, 5 y 9 meses del muestreo de diversidad de visitantes florales. Cada punto corresponde a una huerta.

Tabla 7. Relación entre la cantidad de frutos y la riqueza y abundancia de los acarreadores de polen Se consideraron los siguientes parámetros: cantidad de frutos iniciales (CFI), cantidad de frutos finales (CFF), riqueza acarreadores (RA), abundancia acarreadores (AA), abundancia acarreadores excluyendo la abeja europea (AAsA), abundancia de la abeja europea (AcA).

		CFI	CFF
Ambos años	RA	$R^2=0.0339$ $p=0.611$	$R^2= 0.197$ $p= 0.198$
	AA	$R^2=0.331$ $p=0.082$	$R^2= 0.125$ $p= 0.317$
	AAsA	$R^2=0.017$ $p=0.715$	$R^2=0.105$ $p=0.361$
	AcA	$R^2=0.285$ $p=0.112$	$R^2= 0.112$ $p=0.344$
Primer año	RA	$R^2= 0.088$ $p= 0.405$	$R^2= 0.000$ $p= 0.977$
	AA	$R^2= 0.435$ $p= 0.038$	$R^2= 0.156$ $p= 0.259$
	AAsA	$R^2= 0.133$ $p= 0.301$	$R^2= 0.102$ $p= 0.367$
	AcA	$R^2= 0.602$ $p= 0.008$	$R^2= 0.119$ $p= 0.329$
Segundo año	RA	$R^2= 0.003$ $p= 0.869$	$R^2= 0.011$ $p= 0.771$
	AA	$R^2= 0.332$ $p= 0.081$	$R^2= 0.149$ $p= 0.271$
	AAsA	$R^2= 0.003$ $p= 0.869$	$R^2= 0.011$ $p= 0.771$
	AcA	$R^2= 0.347$ $p= 0.073$	$R^2=0.169$ $p= 0.238$

La producción de frutos de aguacatero estuvo determinada por la presencia de visitantes florales ($U= 41$; $p= 0.001$). En árboles con exclusión de visitantes, la producción frutos fue 4 veces menor que en los arboles sin exclusión (Fig. 15). La alta variación entre huertas que se puede apreciar en la figura 14 muestra que no hay relación entre el tipo de manejo y la producción de frutos.

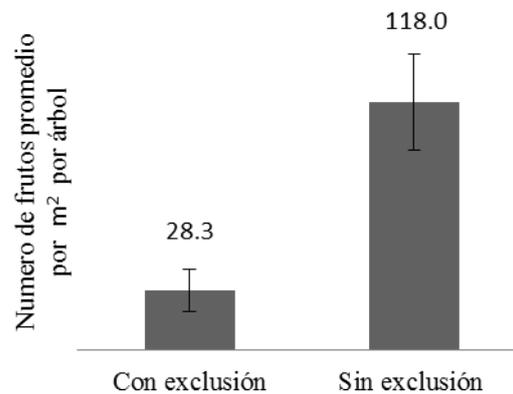


Figura 15. Promedio de frutos por m² por árbol (\pm SE) con exclusión y sin exclusión de visitantes florales de aguacatero.

2.4 Discusión

Una cuestión central para la producción de aguacate es la comprensión de la ecología reproductiva del aguacatero en los sistemas productivos, dados los efectos que las prácticas de manejo ejercen sobre la flora y fauna al interior de estos. Al intervenir factores biológicos (como floración abundante pero fructificación reducida, además de dicogamia protogínica con sincronización diurna) y ecológicos (vectores para el transporte de polen) en la producción rentable de la fruta, la biodiversidad asociada al cultivo es fundamental para llevar a cabo el proceso de polinización. El presente estudio documenta por primera ocasión para la franja aguacatera de Michoacán, la zona que más contribuye a la producción mundial de aguacate, aspectos fundamentales de la ecología reproductiva del aguacate de la variedad Hass que se cultiva ampliamente en esta región.

Comportamiento Floral

La predicción planteada sobre la no influencia del manejo agronómico en la oferta floral y el comportamiento floral de la sincronía protogénica fue apoyada en este trabajo. Sin embargo, no se encontró evidencia determinante sobre la respuesta biológica de la especie a los factores ambientales, posiblemente por estar cultivada en una zona idónea para el buen desarrollo del cultivo. A pesar de esto, las variables relacionadas con la temperatura en el día fueron de las más importantes en el análisis de clasificación. El comportamiento floral *ex situ* del aguacatero no presentó el comportamiento típico de las variedades Tipo A (Stout y Savage, 1925; Stout 1933; Peterson, 1956; Davenport, 1986). Aunque las flores presentaron dicogamia protogínica, la sincronización diurna respecto al estado sexual varió totalmente; la flor masculina predominó en horas de la mañana, mientras que la flor femenina se observó durante todo el día pero en menor proporción. Este comportamiento anormal de la especie está relacionado con las condiciones ambientales, específicamente con la temperatura diaria máxima (no mayores a 22°C) y mínima (no menores a 12°C), (Lesley y Bringhurst, 1951). La temperatura máxima promedio para la zona de estudio estuvo en el rango óptimo, pero la temperatura mínima alcanzó valores inferiores (2.4 a 11.8°C), lo que posiblemente produjo el retraso e incluso la ausencia del estado femenino en horas de la mañana y el incremento de este estado a medida que aumentaba la temperatura en horas de la tarde. Resultados similares han sido encontrados por Bringhurst (1951) y Lesley y Bringhurst, (1951) en la variedad Fuerte (Tipo B) la cual en condiciones controladas mostró translocación de los estados sexuales de la flor influenciada por la baja temperatura. De igual forma, Ish-Am y Eisikowitch (1991) encontraron retraso en la apertura de la flor de 15 a 50 minutos por cada 1°C promedio de la temperatura diaria. Sin embargo, en el presente estudio las variables ambientales analizadas no predijeron la variabilidad de los datos del comportamiento floral ni de la oferta floral.

El patrón de apertura floral en los dos estados sexuales que se observó tiene implicaciones fuertes en la productividad del aguacate Hass producido en esta región, ya que se demostró que en las condiciones ambientales predominantes hay coincidencia de flores en estado masculino y femenino durante varias horas en el día. Esto puede promover la autopolinización y la polinización mediada por insectos (Vithanage, 1990). Este aspecto es muy relevante en la ecología reproductiva de la variedad cultivada en la región, ya que si el comportamiento floral fuera totalmente sincrónico, la polinización podría ser mucho menos exitosa. Los resultados también resultan interesantes en el contexto de la expansión del cultivo de aguacate tanto a zonas más calientes como a

zonas frías, donde se ha considerado que existen límites fisiológicos de temperatura para la productividad del aguacatero (Gutiérrez et al., 2010). Aun cuando no se pudo encontrar una relación clara con las variables ambientales medidas, se vio claramente que la temperatura fue el factor ambiental que estuvo más asociado a la apertura de las flores en masculino o femenino. Por lo tanto, esta se perfila como una de las variables en las que habría que poner mayor atención y trabajo en estudios posteriores.

Diversidad de visitantes florales y acarreadores de polen

El cambio de uso del suelo de sistemas boscosos a huertas, aunado a la intensificación de la agricultura, es una de las causas de la pérdida de biodiversidad, (Kremen, 2002). No obstante, los mismos sistemas productivos pueden ser reservorios para fauna y flora con prácticas de manejo agrícola adecuados (Altieri, 1999; Evans et al., 2011). Aunque la riqueza de visitantes florales asociada al cultivo del aguacate que se observó fue baja (entre 104 a 123 especies), la riqueza en el manejo orgánico fue mayor que en el manejo convencional.

De igual forma, al considerar que la matriz ecosistémica en la zona de estudio está dominada por bosques de pino y pino-encino (Sáenz et al., 2006) los cuales están siendo deforestados a una tasa anual de 2.5% para producción de aguacate (Barsimantova y Navia, 2012), las huertas se convierten en agroecosistemas fundamentales para el mantenimiento de la biodiversidad. Al ir disminuyendo la cobertura forestal se hace aún más crítica la necesidad de un manejo orientado a la conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales, ya que el mantenimiento a largo plazo y la resiliencia de las áreas cultivadas y de los bosques restantes dependen de ese buen manejo.

Los resultados de este trabajo concuerdan con el mantenimiento de biodiversidad de insectos visitantes florales en las huertas agrícolas, donde se encontraron 70 especies y 4 órdenes taxonómicos (62% de las especies esperadas promedio). Se plantean dos razones para la diferencia entre la riqueza observada y la esperada de los visitantes florales encontrados: i) un esfuerzo de muestreo insuficiente y ii) el alto grado de intensificación del manejo de las huertas que disminuye la supervivencia y permanencia de los organismos asociados al cultivo. Determinar el grado de influencia de cada una de las razones anteriores en los resultados obtenidos no fue factible, pero se sugiere que puede ser resultado de ambas. El recambio de especies en sistemas agrícolas es alto, más aún cuando son monocultivos extensivos como en el caso del aguacate. Kremen et al. (2002) encontraron cambios significativos en la comunidad de visitantes florales en huertas de melón entre años. En este estudio se pudieron documentar únicamente dos periodos de floración y un grupo reducido de huertas, por lo que queda aún mucho trabajo por hacer para aumentar la representatividad de la muestra en tiempo y espacio; sin embargo, los datos sugieren mayor diversidad alfa y beta en sistemas orgánicos.

Rol de los acarreadores de polen

De acuerdo a la predicción sobre el rol de las especies acarreadores de polen nativas, se encontraron especies silvestres diferentes a la abeja europea con mejor desempeño para acarrear alta cantidad de polen de aguacatero y baja cantidad de otros tipos de polen, aunque no superaron su abundancia.

Hoy en día se considera en el mundo a la abeja europea como el principal vector de polinización del aguacatero por su abundancia y el número de granos de polen acarreado (Lesley y Bringhurst, 1951; Peterson, 1955; Ish-Am y Eisikowitch, 1993; Gazit y Degani, 2002), los datos de este estudio concuerdan con estos hallazgos previos. No obstante, numerosas especies silvestres han sido identificadas como buenas polinizadoras del aguacate (Papademetriou, 1976; Castañeda et al., 1999; Can et al., 2005; Perez-Balam et al., 2012), incluso con similar desempeño a esta especie en el acarreo de polen de aguacatero como es el caso de las moscas y en menor grado las avispas. En este trabajo, se encontraron dos especies de moscas pertenecientes a la familia Tachinidae y 4 especies de avispas de 3 géneros: *Parachatergus mexicanus*, *Polistes instabilis*, *Polistes major* y *Polybia occidentalis*. Resultados similares se han observado en huertas aguacateras de Australia (Vithanage, 1990) y México (Perez-Balam et al., 2012). Los resultados de este trabajo confirman que las moscas pueden ser potenciales polinizadores del aguacatero, pero además, se destaca la importancia de las avispas en el acarreo de polen del aguacatero, un grupo que hasta el momento no había sobresalido por su eficiencia polinizadora en este sistema productivo (Castañeda et al., 1999; Ish-am et al., 1999; Perez-Balam et al., 2012).

Aunque la eficiencia en la polinización de las especies acarreadoras observadas no se estudió en este trabajo, las observaciones indican que las especies silvestres recolectadas contienen cantidades significativas de granos de polen, y posiblemente proporcionen el servicio ecosistémico de la polinización en estos sistemas productivos. Si bien la abundancia de los acarreadores silvestres es menor respecto a la abeja europea, la sumatoria del rol de las especies silvestres podría compensar el servicio de polinización de la abeja europea (Hoehn et al., 2008; Garibaldi et al., 2013). Hay evidencia del incremento significativo del cuajado de frutos en diversos cultivos con la presencia de insectos silvestres, pero presencia baja de la abeja europea (Garibaldi et al., 2013). Más aún, la diversidad que presentan los visitantes florales no sólo debe considerarse a nivel de riqueza específica, sino también a nivel de funciones ecosistémicas (Altieri, 1999), y servicios como biocontrol de plagas y ciclaje de nutrientes son procesos adicionales en los cuales avispas y moscas son reconocidas.

A diferencia de lo que pudiera pensarse, la abeja europea obtiene el polen de forma sistémica y sólo algunas partes del cuerpo están en contacto con el polen, acarreándolo en las corbículas de forma compactada, lo que no lo hace apto para la polinización (Westerkamp, 1991; Ish-Am y Eisikowitch, 1993). Si se excluye la cantidad de polen acarreado en las patas de esta especie y se compara con el número de granos de polen transportados por los acarreadores silvestres, estos últimos acarrearían el 60.5% de los granos totales de polen, aunque esta proporción incluye el polen en las corbículas de los acarreadores silvestre, en este trabajo no se observó acumulación y compactación de granos de polen en esta parte del cuerpo, como si se observó en la mayoría de individuos de abeja europea. Lo anterior sugiere, que el efecto que la abeja europea produce en el incremento de la polinización de especies como el aguacatero probablemente sea debido a la alta abundancia de la especie.

Cabe resaltar que este trabajo no pretende controvertir el uso e introducción de colmenas de la abeja europea en los cultivos para el proceso de polinización, pero sí se considera adecuado preponderar la importancia de los polinizadores silvestres en el proceso de acarreamiento de granos de polen disponibles y la posible preferencia de parte de estos por los recursos alimenticios proporcionados por el aguacatero, por lo

que los posiciona como potenciales polinizadores de esta especie y prestadores del servicio ecosistémico de la polinización.

El presente estudio confirma que algunas especies nativas son acarreadoras de polen de aguacate. Estas especies pueden seguirse estudiando como polinizadores potencialmente útiles para la producción comercial de este cultivo. El estudio además muestra que aún se cuenta con una comunidad diversa de organismos capaces de proporcionar el servicio de polinización. Por esta razón, manejos específicos para incrementar la abundancia de las especies nativas podrían contribuir a mejorar la producción de cultivos de aguacate.

Efecto del manejo convencional y orgánico sobre la comunidad de visitantes florales y acarreadores de polen

La carencia de diferencia estadística significativa puede ser atribuida a un muestreo insuficiente, como ya se mencionó anteriormente, y/o al efecto extensivo de los sistemas productivos convencionales, que abarcan cerca del 99.85% del área total cultivada en aguacate de la región (SAGARPA, 2010) englobando por completo las huertas orgánicas. Por ejemplo, Brittain et al., (2010) encontraron que el paisaje circundante puede limitar los beneficios proporcionados por el manejo orgánico, al evaluar la riqueza de especies polinizadoras sin encontrar diferencia significativa entre los manejos. A su vez, Gosme et al., 2012 observaron el efecto de vecindad sobre la abundancia de áfidos y enfermedades foliares observando menor abundancia de estos en huertos cuyos vecinos tenían manejo orgánico. De igual forma otros estudios de diversidad de insectos concuerdan con la hipótesis general que los efectos de la agricultura orgánica pueden ser dominados por los efectos de la estructura del paisaje, en paisajes heterogéneos (Kremen et al., 2004; Ekroos et al., 2008).

No obstante, la riqueza de visitantes florales y acarreadores de polen y de los índices de diversidad entre los manejos agronómicos, mostraron mayor diversidad en el manejo orgánico respecto el convencional. De ahí que, con solo 20 especies de visitantes florales en común, el manejo orgánico poseyó el 88.5% y 95% de riqueza total de los visitantes florales y riqueza total de acarreadores de polen, a diferencia del manejo convencional que presentó el 40%, y 46%, respectivamente. Relación similar se observó en la abundancia. Sin embargo, hay que considerar que la información analizada en los índices de biodiversidad está basada en la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie en la comunidad (Moreno, 2001).

Numerosos trabajos mencionan los beneficios del manejo orgánico en el incremento de la riqueza específica y la abundancia de especies polinizadoras nativas en los cultivos respecto a la intensificación de las prácticas agronómicas y por ende al manejo convencional (Gabriel y Tschardtke, 2007; Kremen et al., 2007; Holzschuh et al., 2008; Rundlo et al., 2008; Kehinde y Samways, 2012). Por esto el discernimiento estaría más enfocado sobre la intensificación de la agricultura y determinadas prácticas agronómicas como promotores de la baja riqueza y abundancia de polinizadores nativos como lo es la diversidad de herbáceas y la presencia de bosques (Altieri, 199; Kremen et al., 2002; Steffan et al., 2005; Zhang et al., 2007; Potts, 2010; Le Féon et al., 2010; Otieno et al., 2011). Cabe puntualizar que en las huertas aguacateras de manejo convencional fue común observar prácticas agronómicas que incluyen abonos de origen orgánico, lo que podría suponerse como un recurso para la diversidad biológica especialmente en el grupo funcional de los dípteros, el cual contribuyó en una alta proporción a la riqueza

específica, tanto de los visitantes florales totales (50%) como de los acarreadores de polen (56.7%). Nótese que la mayoría de los estudios sobre polinizadores están dirigidos al estudio de las poblaciones de abejas nativas, lo que sugiere el reto de incrementar el estudio de otros grupos funcionales como avispas, moscas y escarabajos.

Fructificación

En este trabajo se encontró evidencia que respalda la predicción que plantea el efecto positivo de visitantes florales sobre la producción de frutos incrementando en un 76% la cantidad de frutos de aguacate en los árboles expuestos a visitantes. Es reconocido en la literatura, el efecto positivo de la polinización mediada por insectos, en el cultivo del aguacatero sobre el rendimiento de la fructificación (Vithanage, 1990; Ish-am y Eisikowitch, 1998; Gazit y Degani, 2002; Can, 2005), sin embargo no se encontraron estudios que permitieran comparar con la proporción de frutos encontrada en este estudio. La investigación de la polinización y fructificación ha sido mayoritariamente enfocada en el desempeño de los polinizadores en cuanto a la abundancia de los insectos, cantidad de visitas florales, de polen acarreado y polen depositado, pero el seguimiento de la eficiencia del rol de la contribución de los polinizadores en la producción de frutos es limitado. Un aspecto importante de resaltar en la valoración de la fructificación del aguacatero, es la significativa y constante pérdida de frutos inviábiles que presenta la especie durante la etapa de desarrollo de estos. Este comportamiento podría ser considerado como un comportamiento innato del árbol, el cual sostendría determinada cantidad de biomasa de fruta e iría abortando gradualmente, hasta quedar con una cantidad similar por árbol, hipótesis que debe ser puesta a prueba mediante la verificación de la relación tamaño-cantidad de fruta. A su vez, es pertinente evaluar si existe algún efecto diferencial en la calidad de la fertilización y desarrollo de frutos en presencia de polinizadores, lo que permitiría dilucidar si el rendimiento de la especie está más limitada por las condiciones ambientales y recursos, que por los polinizadores.

2.5 Conclusión

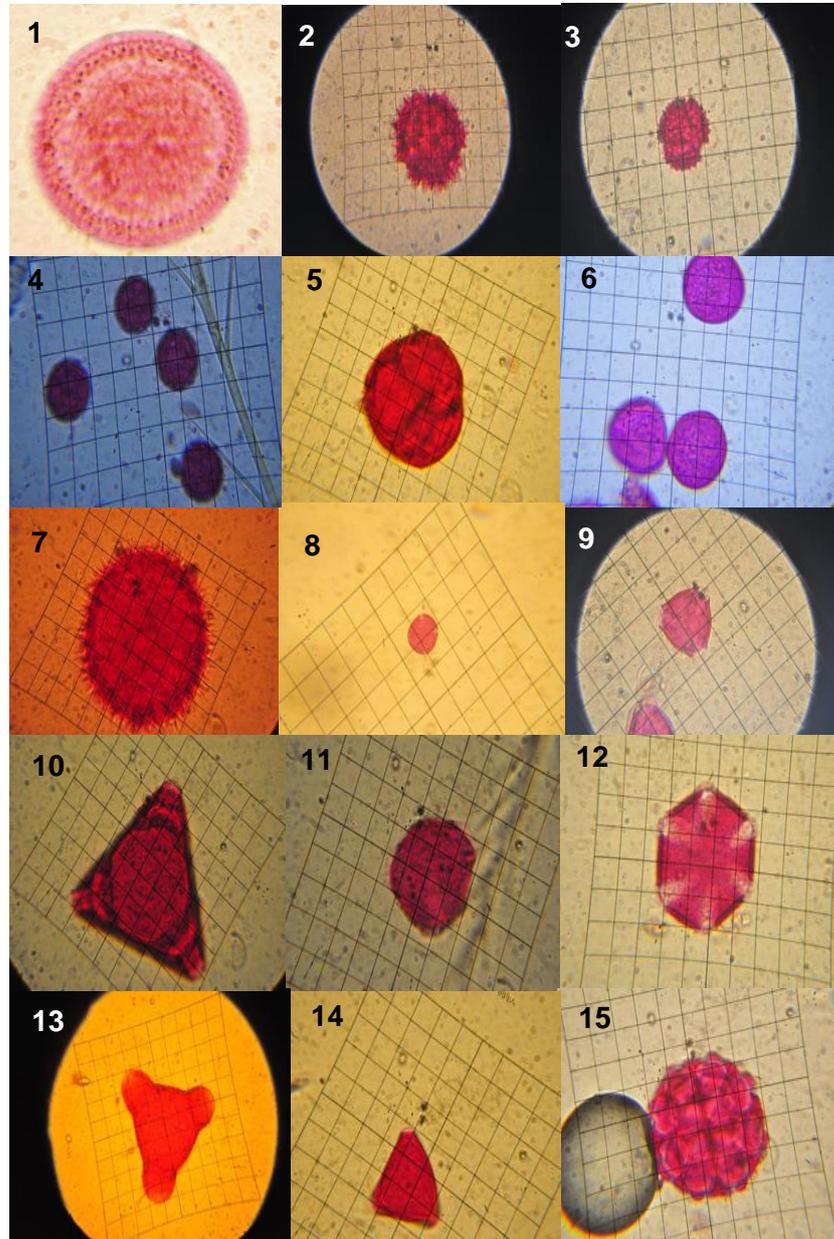
La oferta floral del aguacatero es alta y el patrón de apertura de las flores en estado masculino y femenino sugiere que el patrón de floración es más cercano al tipo B, aunque hay coincidencia de ambos estados durante varias horas del día. No hubo una relación clara entre el estado sexual de la apertura con las condiciones ambientales medidas, si bien la variable con mayor influencia fue la temperatura. Se documentó la riqueza de los acarreadores confirmados de polen de aguacate, con predominancia de himenópteros y dípteros y se identificó su capacidad y especificidad para el acarreo de polen de aguacate. No se encontró relación significativa entre los manejos agronómicos convencional y orgánico sobre la diversidad de visitantes florales y acarreadores de polen del aguacatero, sin embargo se obtuvieron diferencias significativas a nivel de huerta, esto posiblemente por el efecto del manejo agronómico particular de cada huerta sobre la comunidad local. Se observaron diferencias entre los valores de los índices de diversidad que indicaron una mayor diversidad en las huertas de manejo orgánico. Se constató la importancia de la polinización por insectos en el contexto ecológico y ambiental de las huertas y la eficiencia de la polinización, aun cuando no se pudo documentar un efecto sobre el rendimiento final de los frutos. En una perspectiva agroecológica, se refuerza la propuesta de que los sistemas productivos agrícolas pueden ser reservorios de biodiversidad, además de beneficiarse por los servicios ecosistémicos que estas especies prestan a la producción de recursos.

Apéndice 2.1 Riqueza y abundancia de los visitantes florales y acarreadores de polen del aguacatero. Se presenta la riqueza de visitantes de flores por grupo funcional (RVF), la abundancia de visitantes de flores (AVF), la riqueza de acarreadores de polen de aguacate por grupo funcional (RAP), MN el manejo donde fue observada la especie (C= convencional, O=orgánico y A=ambos) y si la especie acarrea polen (*=acarreador).

GRUPO FUNCIONAL-ESPECIE	RVF	AVF	RAP	MN
Coleoptera	1	22	1	
Morfotipo C1		22		O *
Diptera	35	91	21	
<i>Allograpta</i> sp. 1		5		O *
<i>Allograpta obliqua</i> (Say)		4		O *
Bibionidae sp. 1		4		A
Bombyliidae sp. 1		1		O *
Calliphoridae sp. 1		1		C
Calliphoridae sp. 2		1		O *
<i>Copestylum mexicanum</i> (Macquart)		1		C *
Dolichopodidae sp. 1		2		O *
Morfotipo M1		1		O
Morfotipo M2		4		A *
Muscidae sp. 1		1		O
Muscidae sp. 2		4		A
Muscidae sp. 3		2		O
Muscidae sp. 4		8		A *
Muscidae sp. 5		1		O *
Muscidae sp. 6		1		O
Muscidae sp. 7		1		O
<i>Ocyrtamus</i> sp. 1		2		A
<i>Palpada mexicana</i> (Macquart)		7		A *
<i>Platycheirus</i> sp.1		5		A *
<i>Pseudodoros clavatus</i> (Fabricius)		1		O *
Sarcophagidae sp. 1		1		O *
Sarcophagidae sp. 2		1		O *
Sarcophagidae sp. 3		1		O
Tachinidae sp. 1		1		O
Tachinidae sp. 2		5		A *
Tachinidae sp. 3		4		O *
Tachinidae sp. 4		3		O *
Tachinidae sp. 5		1		O *
Tachinidae sp. 6		1		O *
Tachinidae sp. 7		2		A *
Tephritidae sp. 1		3		A
Tipulidae sp. 1		1		C
<i>Toxomerus marginatus</i>		2		C
<i>Toxomerus mutuus</i> (Say)		12		A *
Hemiptera	3	6	2	
Morfotipo HE1		4		O *
Morfotipo HE2		1		O *
Morfotipo HE3		1		C
Hymenoptera	31	848	14	
<i>Apis mellifera</i> Lineo		710		A *
Brachonidae sp. 1		1		O
Brachonidae sp. 2		2		O
<i>Brachygastra mellifica</i> (Say)		4		O *
<i>Exomalopsis</i> sp. 1		1		O
Ichneumonidae sp. 1		1		O
<i>Lasioglossum</i> sp. 2 (Dialictus)		17		A *

<i>Lasioglossum</i> sp.1	1	O	*
<i>Megachile</i> sp. 1	1	C	
<i>Mischocyttarus</i> sp. 1	1	O	
Morfotipo A1	2	O	
Morfotipo A2	1	O	
Morfotipo Ap1	2	O	
Morfotipo Ap2	1	O	
Morfotipo Ap3	1	O	
Morfotipo Ap4	1	O	
<i>Nannotrigona perilampoides</i> Cresson	1	O	
<i>Parachartergus mexicanus</i> (Saussure)	19	A	*
<i>Polistes carnifex</i> (Fabricius)	3	O	*
<i>Polistes instabilis</i> Saussure	3	C	*
<i>Polistes major</i> Bequaard	7	A	*
<i>Polistes pacifica</i> Fabricius	5	A	*
<i>Polybia diguetana</i> (Buyssin)	20	O	*
<i>Polybia occidentalis</i> (Olivier)	10		*
Pompilidae sp. 1	1		
<i>Scolia</i> sp. 1	2	O	*
<i>Tiphia</i> sp. 1	12		
<i>Tiphia</i> sp. 2	3	A	*
<i>Tiphia</i> sp. 3	1		
<i>Vespula squamosa</i> (Drury)	13	A	*
<i>Zethus</i> sp. 1	1		
Total	70	967	38

Apéndice 2.2 Tipos de polen acarreado en las huertas aguacateras. Se identificaron 30 tipos de polen. De los cuales se identificaron taxonómicamente 12 tipos de polen pertenecientes a las familias Lauraceae (aguacatero) (1), Asteraceae 1 (2), Asteraceae 2 (3), Convolvulaceae (4), Fabaceae (6), Malvaceae (7), Onagraceae (10-13), Commelinaceae (11), Lamiaceae (12), Verbenaceae (14), Caryophyllaceae (15), los demás tipos de polen fueron catalogados como morfotipos.



CAPÍTULO 3
ESTRUCTURA DE LAS REDES DE TRANSPORTE DE POLEN EN HUERTAS
AGUACATERAS

Resumen

El cambio de uso del suelo de ecosistemas silvestres a sistemas agrícolas ha ocasionado pérdidas sustanciales en biodiversidad, incluidos los insectos acarreadores de polen y polinizadores. Los sistemas productivos aguacateros en particular han sido implementados bajo manejo agronómico intensivo, siendo el monocultivo una práctica común. En los últimos años se han transformado amplias extensiones de bosques de pino y pino-encino a cobertura agrícola dominada por el aguacatero (Sáenz et al., 2006). En este trabajo, se analizó la similaridad de especies y las redes de transporte de polen en huertas aguacateras bajo manejo convencional y orgánico con el fin de observar el efecto del manejo agronómico sobre las comunidades y las interacciones entre los acarreadores de polen y el tipo de polen acarreado. Se construyeron 20 redes de interacción cuantitativas (dos redes de interacción por cada huerta) diferenciando dos momentos del ciclo del cultivo: i) las interacciones establecidas durante la época de floración del aguacatero y ii) las interacciones establecidas en ausencia de flores del aguacatero. Durante la floración del aguacatero las comunidades estuvieron dominadas por *A. mellifera* y, en ausencia de esta floración presentaron menor dominancia. Las redes mostraron diferencia en tamaño, reflejando mayor riqueza y abundancia de tipos de polen y acarreadores de polen en ausencia de floración del aguacatero y en el manejo orgánico. Sin embargo, la estructura de las redes de transporte de polen no presentó diferencias significativas entre los tipos de manejo. Los resultados sugieren que la diversidad y la permanencia de la cobertura de herbáceas durante el periodo de ausencia de la floración del cultivo son fundamentales para el mantenimiento de la diversidad de la comunidad de acarreadores de polen en las huertas, ya que genera disponibilidad de recursos alimenticios para los visitantes florales durante todo el ciclo del cultivo.

3.1 Introducción

Las interacciones ecológicas mutualistas establecidas entre plantas y animales proveen a cada grupo beneficios diferenciados. Mientras que la mayoría de las especies de plantas con flor dependen de las interacciones con los polinizadores para la reproducción sexual, los visitantes florales se benefician de estas interacciones con la obtención de alimentos en forma de polen o néctar (Kaiser et al., 2009). Con frecuencia las especies de plantas interactúan con un amplio rango de taxones de visitantes y viceversa, lo que sugiere el establecimiento de mayor número de interacciones generalistas que especialistas (Memmott, 1999; Blüthgen et al., 2007; Bascompte y Jordano, 2007; Ebeling et al., 2011). En el nivel de comunidad, la estructura de dichas interacciones ha sido estudiada mediante la construcción de redes de interacción bipartitas que muestran la interdependencia que cada especie establece con las especies del otro grupo (Bascompte y Jordano, 2006).

La estructura de las redes de interacción planta-animal está determinada por la riqueza y abundancia de especies presentes, las interacciones entre generalistas y especialistas (Bascompte et al., 2006) y la complejidad (número de interacciones), ya que cuando aumentan estos atributos también aumenta el anidamiento (Bascompte et al., 2003). En el caso de las redes de interacción mutualista como la de los polinizadores, se establecen a partir de la comunidad de visitantes de las flores y acarreadores de polen (Gibson et al. 2006). Este último grupo fue el considerado en este estudio.

El cambio en el uso del suelo de ecosistemas silvestres a sistemas agrícolas ha ocasionado pérdidas sustanciales en biodiversidad (Foley et al., 2005), incluidos los visitantes florales y polinizadores que favorecen la reproducción de plantas silvestres y proveen el servicio ecosistémico de la polinización como generador de bienes alimenticios (Kremen et al., 2007). Estos organismos móviles ven afectada su biología poblacional y la dinámica de la comunidad por la distribución de los recursos a escala temporal y espacial (Kremen et al., 2007). Por tal razón, el mantenimiento de recursos disponibles en los sistemas productivos agrícolas a pesar de la perturbación constante en estos, facilitaría el mantenimiento de esta comunidad y de las interacciones mutualistas establecidas, ya que se ha observado que la plasticidad inherente de las interacciones planta-polinizador y la estructura de la red pueden generar persistencia de la diversidad de especies con respuesta rápida a los cambios ambientales, a pesar que la identidad de las interacciones cambie (Buekle y Alarcón, 2011). Sin embargo, existen pocos análisis de redes de polinización en sistemas agrícolas (Gibson et al., 2006; Memmott, 2009).

El sistema productivo de aguacate en Michoacán, México, abarca múltiples tipos de manejo (Burgos et al., 2011), los cuales comprenden prácticas agronómicas que incluyen los manejos convencional, orgánico y sus variantes. El cultivo de aguacate en esta región está generando un impacto ecológico negativo, especialmente por el cambio de cobertura vegetal de bosques nativos y las consecuencias que el incremento de áreas cultivadas conlleva, como la erosión, contaminación y pérdida de biodiversidad (Barsimantov y Navia, 2009). El aguacatero es una especie de importancia económica ya que su fruto tiene gran demanda a nivel mundial. En esta especie las características florales de dicogamia protogínica (que tiene como resultado la no coincidencia temporal de las funciones masculina y femenina en una misma flor) hacen indispensable la polinización mediada por insectos (Stout y Savage, 1925; Peterson, 1956; Davenport, 1986; Vithanage, 1990; Ish-Am y Eisikowitch, 1991). Esto cobra relevancia en el contexto de la creciente introducción en las huertas de colmenas de la abeja europea en época de floración y el empleo de prácticas agronómicas, como la aplicación de pesticidas y el constante corte de hierbas, que afectan negativamente a los visitantes florales nativos (Altieri, 1999), cuya efectividad real como polinizadores es virtualmente desconocida.

La estimación de la aptitud de los acarreadores de polen por el análisis de las cargas de polen de una muestra grande de insectos permite mejorar la comprensión de la polinización de especies de plantas individuales o de grupos de especies, hasta el nivel de toda una comunidad vegetal (Alarcón, 2010). Al ser el aguacatero una especie que requiere de polinización mediada, es importante evaluar la dinámica del transporte de polen por parte de los acarreadores nativos e introducidos a las huertas, considerando la cantidad de polen y los tipos de polen acarreado por cada especie.

En este trabajo abordó el análisis de las redes de transporte de polen, desde la perspectiva de las interacciones establecidas entre las especies acarreadoras y las plantas, esto a partir de la inferencia indirecta de los tipos de polen encontrados en el cuerpo de los insectos. Aunque estas redes no son las más comúnmente observadas en los estudios ecológicos, ya que no parten de una interacción directa que relacione plantas e insectos, permiten estimar la contribución de los insectos en el acarreo y su especificidad por las plantas visitadas.

El objetivo de este trabajo fue analizar las interacciones mutualistas entre plantas y acarreadores de polen, en huertas aguacateras bajo manejo convencional y orgánico. Para esto se utilizó un enfoque de redes que describen el transporte de polen de distintas especies de plantas por distintas especies de acarreadores de polen. Se construyeron redes de transporte de polen para dos momentos distintos del ciclo del cultivo: i) durante la época de floración del aguacatero, y ii) en ausencia de floración del aguacatero. Se pusieron a prueba dos hipótesis:

1. El manejo agronómico en los sistemas productivos agrícolas influye en las interacciones planta-acarreador de polen, por lo tanto hay mayor similitud en la composición de especies, interacciones y en la estructura de las redes de transporte de polen entre huertas del mismo manejo agronómico que entre huertas de diferentes tipos de manejo. Si bien las huertas aguacateras son agroecosistemas con perturbación constante, que presentan pocas especies dominantes y muchas especies raras, se espera mayor complejidad (riqueza de interacciones), anidamiento, equitatividad y grado de selectividad en las huertas orgánicas que en las huertas convencionales, ya que, las primeras exhibieron prácticas agronómicas que benefician a ambos grupos funcionales, como insumos de categorías toxicológicas bajas y menor número de corte de las herbáceas.
2. En las huertas aguacateras estudiadas se observó un patrón continuo en la disponibilidad del recurso alimenticio para los acarreadores de polen. En el momento de ausencia del recurso floral del aguacatero hay disponibilidad de recursos florales por parte de las herbáceas y viceversa. Por esto, se espera alta similitud en los ensamblajes de especies acarreadoras de polen en los momentos de floración del aguacatero y en ausencia de esta floración cuando sólo hay floración de las herbáceas. Sin embargo, se espera diferencia entre los manejos por las prácticas agronómicas y su influencia en ambos grupos funcionales.

3.2 Metodología

3.2.1 Sistema focal

La dinámica de disponibilidad de recursos florales en las huertas aguacateras varía en el transcurso del año. El aguacatero presenta su boom floral en época fría y seca (octubre-marzo) y las herbáceas en época cálida y húmeda (abril-octubre), patrón derivado por la respuesta de las especies a los recursos ambientales y al corte obligatorio de las herbáceas para la cosecha de la fruta, etapa que antecede a la floración del aguacatero. Por esto, en este trabajo se propone una posible concordancia en la disponibilidad del recurso floral en las huertas durante el año que permitiría el mantenimiento de recurso floral para los acarreadores de polen durante el año (Apéndice 3.1, Pág. 89).

3.2.2 Muestreo de acarreadores de polen y herbáceas

El muestreo de los visitantes florales del aguacatero y de las herbáceas se realizó por observación y captura directa de los insectos en recorrido constante alrededor de 10 árboles (flores de aguacate) o 10 parcelas de 200 m² (plantas herbáceas) en cada huerta. La captura de insectos en los aguacateros se realizó en la época de máxima floración en los periodos 2010/11 y 2011/12 (noviembre-enero), en 3 visitas a cada huerta, y la

captura de insectos en herbáceas se llevó a cabo en el año 2011 en el mes de septiembre, en 1 visita por huerta. Los muestreos se realizaron en épocas diferentes, considerando que el recurso floral muestreado en cada caso fuera el único presente en la huerta en ese momento. Los insectos se colectaron con red entomológica y se dispusieron en cámara letal de cloroformo. Cada insecto fue depositado por separado en envoltorio de papel para evitar la contaminación del polen entre individuos.

Se analizó la acumulación de los individuos acarreadores de polen observado y esperado, así como la acumulación de los tipos de polen acarreado, mediante el índice no paramétrico de especies esperadas Chao 2 (Smith y Van Belle, 1984; Bunge y Fitzpatrick, 1993).

3.2.3 Puesta a prueba de las hipótesis

El efecto del manejo agronómico sobre la composición de especies, interacciones y estructura de las redes de transporte de polen (Hipótesis 1), fue puesta a prueba por medio de la comparación entre huertas según la similitud de la composición de especies e interacciones ecológicas y las propiedades de la estructura de las redes de interacción. La complementariedad de especies de acarreadores de polen entre los dos momentos de floración (Hipótesis 2), se efectuó por la comparación de especies en común entre los dos momentos de floración y en cada tipo de manejo: convencional y orgánico.

3.2.3.1 Hipótesis 1. Efecto del manejo agronómico sobre la composición de especies, interacciones y estructura de las redes de transporte de polen

La similitud de la composición de especies e interacciones ecológicas entre las 10 huertas se efectuó por medio de tres análisis: i) el ordenamiento de las especies de acarreadores y tipos de polen en común respecto al total de especies a nivel de huerta, ii) la comparación de las proximidades de las especies a nivel de manejo (este análisis permite visualizar la similitud entre la ordenación resultante de las dos comunidades) y, iii) la discriminación entre los manejos convencional y orgánico, a partir de las propiedades estructurales de las redes de interacción, que se integraron para los dos momentos de floración. Cada unidad de muestreo consistió en el esfuerzo realizado en cada huerta (300 minutos durante la floración del aguacatero y 100 minutos en ausencia de floración del aguacatero).

Se construyeron las redes de transporte de polen en huertas aguacateras, en dos momentos: i) en floración del aguacatero y, ii) en ausencia de floración del aguacatero (cuando solo hay floración de las herbáceas presentes). Adicionalmente, se diferenciaron las redes de interacción de acarreadores de polen para las huertas de manejo convencional y las de manejo orgánico en los dos momentos anteriormente descritos. Se construyeron por lo tanto 20 redes cuantitativas de transporte de polen, una red por huerta para cada tipo de floración (Dormann, 2008). Los datos obtenidos en las dos años de floraciones del aguacatero fueron agrupados. Se calcularon un conjunto de parámetros que caracterizan la estructura de las redes en cada huerta, manejo y momento: el número de tipos de polen (P), el número de especies de acarreadores de polen (A), la conectancia (C), el anidamiento (N), equitatividad de las interacciones (EI), riqueza de interacciones (RI), grado de selectividad de la red (H2'). Estos parámetros han sido identificados como descriptores importantes en el contexto de las redes ecológicas (Tylianakis et al. 2010; para mayor detalle ver Devoto et al. 2012). La

frecuencia de interacción se midió como el número de granos de polen transportado por especie.

3.2.3.2 Hipótesis 2. Similitud de los ensamblajes de especies acarreadoras de polen entre los dos momentos de floración

Se realizó el análisis de la similitud de los ensamblajes de acarreadores de polen entre los dos momentos de floración (con y sin flores de aguacatero) en cada huerta y para cada manejo agronómico, el análisis se realizó por el índice de Sorensen. A su vez, se comparó la similitud de los dos momentos de floración entre los dos manejos agronómicos por prueba de hipótesis, para comparar las varianzas de los índices de similitud de las huertas de cada manejo.

3.2.4 Análisis de datos

Complejidad del muestreo

El análisis de los individuos acarreadores de polen observados y esperados, y las especies acarreadoras y tipos de polen en común entre huertas, la suavización de la curva y el cálculo de los estimadores no paramétricos se realizó en el software EstimateS versión 9.1.0, (Colwell, 2009).

Similitud de la composición de especies y de la estructura de las redes de transporte de polen.

El ordenamiento de las especies en común, se llevó a cabo por Escalamiento Multidimensional No Métrico (NMDS, por sus siglas en ingles). La distancia empleada fue Sorensen (Bray-Curtis), con transformación Beals smoothing de los datos de la matriz de especies/huertas, con 200 iteraciones, 0.0001 criterio de inestabilidad, 15 corridas con datos reales y 30 corridas para la prueba de Monte Carlo. Seguidamente, se realizó una refinación del análisis con dos dimensiones a partir de la configuración establecida en el primer análisis. El análisis se ejecutó en el software PC-ORD versión 5.0. La comparación de las proximidades de las interacciones entre manejos se realizó por Análisis de Procrustes Generalizado.

El cálculo de las propiedades de las redes de transporte de polen fue realizado con el paquete Bipartite del programa estadístico R, versión 2.1.1, (R Development Core Team, 2005). La comparación de los manejos se hizo por Análisis Discriminante. Con el fin de comprobar si estos son correctamente diferenciados a partir de la estructura de las redes generadas, se efectuaron las pruebas de Aproximación asintótica del F de Fisher, para comprobar la hipótesis de la igualdad de las matrices de covarianza para los dos manejos, y la prueba de Lambda de Wilks, para observar diferencia entre los vectores ($\alpha= 0.05$), los análisis fueron realizados en el programa estadístico XLSTST versión 2009.1.02.

Similitud de los ensamblajes de especies acarreadoras de polen entre los dos momentos de floración

La similitud entre la composición de especies acarreadoras de polen entre los momentos de floración del aguacatero y ausencia de floración de las herbáceas, se llevó a cabo por

medio del índice de Sorensen, de esta forma, la similitud de especies acarreadoras de polen entre floraciones es:

$$I_s = 2c / a + b$$

donde, *a* es el número de especies acarreadoras de la floración del aguacatero (momento A), *b* es el número de especies de la floración de las herbáceas (momento B), y *c* es el número de especies en común entre A y B. El índice varía de 0, cuando no comparten especies, a 1 cuando las especies de ambos son iguales. La prueba de hipótesis se ejecutó por medio la prueba t para dos muestras independientes; los análisis fueron realizados en el programa estadístico XLSTST versión 2009.1.02.

3.3. Resultados

3.3.1 Diversidad de acarreadores de polen

Se capturaron un total de 1531 ejemplares de insectos acarreadores de polen, de los cuales 967 individuos pertenecientes a 34 especies, 20 familias y 4 morfotipos se obtuvieron durante la floración del aguacatero (ver Apéndice 3.2, Pág. 90) y 564 individuos distribuidos en 47 especies y 15 morfotipos de 17 familias en ausencia de floración del aguacatero (ver Apéndice 3.3, Pág.91). En ambos momentos de muestreo, con y sin floración aguacatero, la abeja europea fue la especie más abundante con 73.4% y 26.8%, respectivamente. Le siguen en abundancia *Polybia diguetana* (Buyssin) (1.8%) en la floración del aguacatero y *Campsomeris limosa* (Burmeister) (5.5%) y *Palpada furcata* (Wiedemann) (5.5%) en ausencia de flores de aguacatero.

Las curvas de acumulación de individuos acarreadores de polen del aguacatero y de las herbáceas no alcanzaron la asíntota en las huertas donde se observaron los mayores valores. A medida que la abundancia descendió, el número de individuos acarreadores observados fue similar a los esperados. Las estimaciones de individuos acarreadores de polen estuvieron entre el 33% y 100% y entre 63% y 100% para las estimaciones de tipos de polen acarreado, del total calculado según el índice Chao2 (Tabla 1).

Se contaron 84372 granos de polen acarreado durante la floración del aguacatero y 12582 en su ausencia. Se identificaron 21 tipos de polen en ambas floraciones, de los cuales 12 tipos se encontraron durante la floración del aguacatero y 19 tipos en la ausencia de la floración del aguacatero. Sólo fue posible reconocer taxonómicamente 12 tipos de polen pertenecientes a las familias Lauraceae (aguacatero), Asteraceae, Malvaceae, Verbenaceae, Caryophyllaceae, Fabaceae, Convolvulaceae, Commelinaceae, Onagraceae, Lamiaceae y Primulaceae; los demás tipos de polen fueron catalogados como morfotipos (ver imágenes de otros tipos de polen en Apéndice 2.2, Pág.66). El polen del aguacatero fue el más transportado durante su floración (94.1%), seguido por el polen del morfotipo 1 (2.0%) y Asteraceae (1.90%), y en ausencia de su floración herbáceas fueron los tipos de polen de Asteraceae (1) (47.8%), Morfotipo 1 (14.5%), Verbenaceae (5.8%) y Caryophyllaceae (5.71), (Tabla 1). Los insectos que más tipos de polen acarrearón en la floración del aguacatero totalizando las tres partes del cuerpo fueron *A. mellifera* L. (15), *Vespula squamosa* (Drury) (7), *Lasioglossum* sp. 2 (*Dialictus*) (6) y *Parachartergus mexicanus* (Saussure) (6); en ausencia de flores del aguacatero estuvieron *Apis mellifera* L. (13), Morfotipo C2 (11) y *Xylocopa azteca* (Cresson) (6), (Tabla 2).

Tabla 1. Índices de acumulación de individuos acarreadores de polen observados de acuerdo con el muestreo (Sobs) e individuos observados (Chao2) de las especies de acarreadores de polen durante la floración del aguacatero (AG), acarreadores de polen cuando sólo hay floración de herbáceas (AH), los tipos de polen acarreados durante la floración del aguacatero (TPA) y los tipos de polen acarreado cuando sólo hay floración de herbáceas (TPH). Se incluye el porcentaje de los individuos observados respecto los esperados. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

		C1	C2	C3	C4	O5	O6	O7	O8	O9	O10
AG	Sobs	7	12	11	4	19	10	18	6	7	11
	Chao2	7.72	18.72	16.07	4.48	52.83	13.62	54.58	8.9	7.48	15.83
	%	90.7	64.1	68.4	89.3	36.0	73.4	33.0	67.4	93.6	69.5
AH	Sobs	13	2	24	10	24	32	15	16	20	15
	Chao2	29.2	2	39.75	22.6	35.7	53	35.25	45.7	29.9	39.75
	%	44.5	100	60.4	44.2	67.2	60.4	42.6	35.0	66.9	37.7
TPA	Sobs	1	7	8	6	9	9	9	9	9	9
	Chao2	1	7	8.48	6	9.98	9	9.49	9	9	9.97
	%	100	100	94.3	100	90.2	100	94.8	100	100	90.2
TPH	Sobs	5	3	12	3	10	9	8	6	8	9
	Chao2	7.94	3.9	18.88	3	10.06	9	10.93	6.32	8.97	11.93
	%	63.0	76.9	63.5	100	99.4	100	73.2	94.9	89.2	75.4

3.3.2 Hipótesis 1. Efecto del manejo agronómico sobre la composición de especies y estructura de las redes de transporte de polen

3.3.2.1 Ordenamiento de las especies en común respecto al total de especies

La similitud en la composición de especies entre pares de huertas durante las dos floraciones fue bastante parecida. El valor más alto del índice de similitud de Sorensen (classic) entre huertas fue 0.61 para la floración del aguacatero y 0.60 en la floración de las herbáceas. Se observa una cantidad reducida de especies en común, tanto de acarreadoras de polen (Tabla 3) como tipos de polen acarreado (Tabla 4). De las 39 especies acarreadoras durante la floración del aguacatero sólo la abeja europea estuvo presente en todas las huertas, y en ausencia de flores del aguacatero, de las 64 especies observadas sólo 2 especies fueron comunes: la abeja europea y el morfotipo C2 (coleóptero), presentes en 9 y 10 de las huertas, respectivamente. En la floración del aguacatero, los tipos de polen en común a las 10 huertas fueron: Lauraceae, Cucurbitaceae, Asteraceae y Verbenaceae. En ausencia de flores de aguacatero fueron Morfotipo 1 y Cucurbitaceae.

Tabla 2. Ensamblaje de los tipos de polen acarreados en el momento de la floración del aguacatero y de las herbáceas y la cantidad de especies de insectos que lo acarrearón y la contribución de cada tipo de polen al total de granos de polen acarreado (%).

Familia o morfotipo	Floración del aguacatero		Sin floración del aguacatero	
	Acarreadores	Tipo polen	Acarreadores	Tipo polen
Aguacatero	38	94.10	-	-
Asteraceae	27	1.90	45	47.84
Caryophyllaceae	7	0.17	19	5.71
Commelinaceae	15	0.27	23	4.87
Convolvulaceae	2	0.02	1	0.04
Cucurbitaceae	-	-	5	1.65
Fabaceae	2	0.23	2	0.93
Lamiaceae	2	0.03	-	-
Malvaceae	-	-	7	4.69
Onagraceae	10	0.20	11	2.93
Primulaceae	2	0.10	3	2.30
Verbenaceae	19	0.96	11	5.82
Morfotipo 1	34	2.02	25	14.48
Morfotipo 2	1	0.01	-	-
Morfotipo 3	-	-	3	1.34
Morfotipo 4	-	-	2	0.08
Morfotipo 5	-	-	1	0.45
Morfotipo 6	-	-	4	1.09
Morfotipo 7	-	-	9	3.96
Morfotipo 8	-	-	2	0.48
Morfotipo 9	-	-	1	0.45
Morfotipo 10	-	-	2	0.89
TOTAL	159	100	176	100

El análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico para las especies en común de acarreadores y tipo de polen durante ambas evaluaciones arrojó valores bajos de estrés final e inestabilidad. Los análisis presentaron soluciones recomendadas de dos dimensiones, excepto el análisis realizado para los tipos de polen en la floración del aguacatero que presentó cuatro, lo que indica que la información de los análisis es fiable sobre el patrón de distribución de los datos. Las unidades de muestreo se ubicaron cercanas a las de mayor similitud y lejanas de las de menor similitud (López, 2009), (Tabla 5). No se encontraron diferencias entre los datos reales y los datos distribuidos al azar ($p < 0.05$), en el análisis de Monte Carlo para todos los casos. Los ordenamientos muestran pocas especies de acarreadores de polen en común entre las huertas en ambos momentos de floración. Durante la floración del aguacatero se observaron dos grupos de huertas, el primero con 3 huertas de manejo orgánico y el segundo con 7 huertas, 3 de manejo orgánico y 4 de convencional, (Fig. 1), mientras que en ausencia de floración del aguacatero se observa un solo grupo de huertas (Fig. 2). A diferencia de los tipos de polen en común que muestran grupos únicos durante (Fig. 3) y en ausencia (Fig. 4) de la floración del aguacatero.

Tabla 3. Índice de similitud de Sorensen (classic) para acarreadores de polen durante la floración del aguacatero (A, triangulo superior) y cuando solo había floración de las herbáceas (H, triangulo inferior), en 10 huertas aguacateras. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

H/A	O5	O6	C1	O7	C5	O10	O9	O8	C4	C3
O5		0.48	0.38	0.38	0.52	0.33	0.31	0.24	0.26	0.4
O6	0.43		0.35	0.21	0.54	0.48	0.35	0.5	0.43	0.48
C1	0.27	0.31		0.32	0.53	0.33	0.28	0.15	0.36	0.44
O7	0.31	0.38	0.57		0.27	0.41	0.4	0.25	0.18	0.34
C5	0.15	0.12	0.27	0.23		0.17	0.21	0.44	0.5	0.61
O10	0.46	0.34	0.43	0.6	0.23		0.44	0.23	0.27	0.18
O9	0.41	0.38	0.42	0.51	0.18	0.46		0.31	0.18	0.22
O8	0.4	0.29	0.27	0.39	0.22	0.32	0.39		0.4	0.35
C4	0.35	0.28	0.26	0.24	0.17	0.08	0.4	0.54		0.27
C3	0.42	0.28	0.49	0.41	0.15	0.46	0.54	0.3	0.23	

Tabla 4. Índice de similitud de Sorensen (classic) para tipos de polen acarreado durante la floración del aguacatero (A, triangulo superior) y cuando solo había floración de las herbáceas (H, triangulo inferior), en 10 huertas aguacateras. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

H/A	O5	O6	C1	O7	C5	O10	O9	O8	C4	C3
O5		0.78	0.89	0.89	0.87	1	0.8	0.73	0.67	0.54
O6	0.76		0.64	0.64	0.6	0.64	0.8	0.73	0.5	0.54
C1	0.59	0.63		0.89	0.87	0.89	0.89	0.95	0.67	0.82
O7	0.8	0.63	0.53		0.75	0.89	0.78	0.84	0.8	0.7
C5	0.4	0.43	0.4	0.46		0.87	0.87	0.82	0.77	0.8
O10	0.67	0.7	0.5	0.84	0.43		0.89	0.84	0.8	0.7
O9	0.8	0.95	0.67	0.67	0.46	0.74		0.84	0.67	0.82
O8	0.67	0.82	0.77	0.63	0.36	0.71	0.88		0.62	0.78
C4	0.53	0.57	0.8	0.62	0.5	0.57	0.62	0.73		0.56
C3	0.75	0.61	0.53	0.55	0.35	0.61	0.64	0.5	0.35	

Tabla 5. Valores del nivel de significación del análisis de Monte Carlo ($p < 0.05$) y los valores de estrés el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico, para los acarreadores de polen y los tipos de polen durante las floraciones del aguacatero y cuando solo había flores de las herbáceas.

Momento		p	Estrés	Inestabilidad
Floración del aguacatero	Acarreadores	0.0196	12.4473	0.0464
	Tipo polen	0.0196	0.0134	0.00009
Sin floración del aguacatero	Acarreadores	0.0196	18.4256	0.0096
	Tipo polen	0.0196	3.4139	0.00001

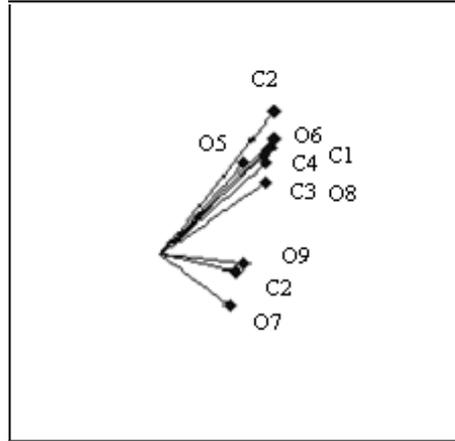


Figura 1. Ordenación de las 10 huertas (rombos) según las 35 especies y 4 morfotipos de acarreadores de polen durante la floración del aguacatero. El análisis presentó solución recomendada de dos dimensiones.

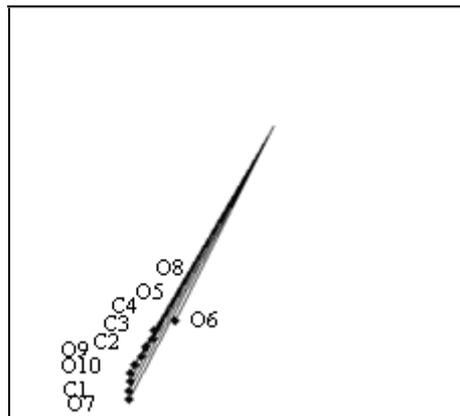


Figura 2. Ordenación de las 10 huertas (rombos) según las 47 especies y 15 morfotipos acarreadores de polen cuando solo había floración de las herbáceas. El análisis presentó solución recomendada de dos dimensiones.

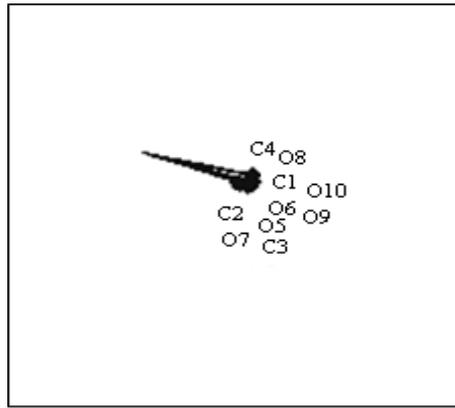


Figura 3. Ordenación de las 10 huertas (rombos) según los 12 tipos de polen acarreado durante la floración del aguacatero. El análisis presentó solución recomendada de cuatro dimensiones.

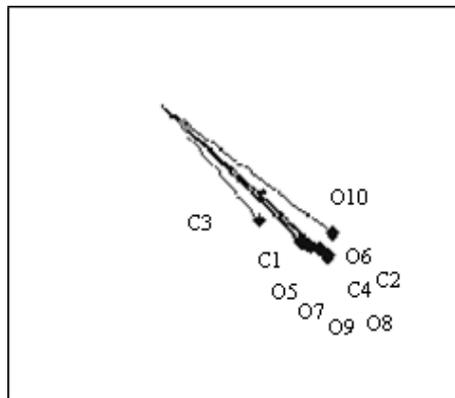


Figura 4. Ordenación de las 10 huertas (rombos) según los 19 tipos de polen acarreado cuando solo había floración de las herbáceas. El análisis presentó solución recomendada de dos dimensiones.

3.3.2.2 Comparación de las proximidades entre las interacciones y redes de transporte de polen entre el manejo convencional y orgánico

En el Análisis de Procrustes Generalizado, la puesta a escala no tuvo un impacto importante en la reducción de la variabilidad de las configuraciones durante la floración del aguacatero (Tabla 6), sin embargo se observó un bajo consenso (Permutaciones= 300; $R_c = 0.651$; Cuantil= 97.333). En la evaluación donde solo había floración de las herbáceas la puesta a escala tuvo un impacto importante en la reducción de la variabilidad de las configuraciones durante la floración del aguacatero, observándose un bajo consenso (Permutaciones= 300, $R_c = 0.634$, Cuantil= 92.333). Se observó relación entre los tipos de polen durante la floración del aguacatero de ambos manejos, a diferencia de cuando solo estaba la floración de las herbáceas (Fig. 5). En ambos momentos del ciclo del cultivo se puede observar que no hay una separación clara de las configuraciones de ambos manejos, la proximidad de las especies muestra un consenso poco evidente al interior de cada huerta (Fig. 6). Lo anterior indica semejanza en las interacciones presentes en las redes de transporte de polen entre ambos manejos, para cada momento de evaluación.

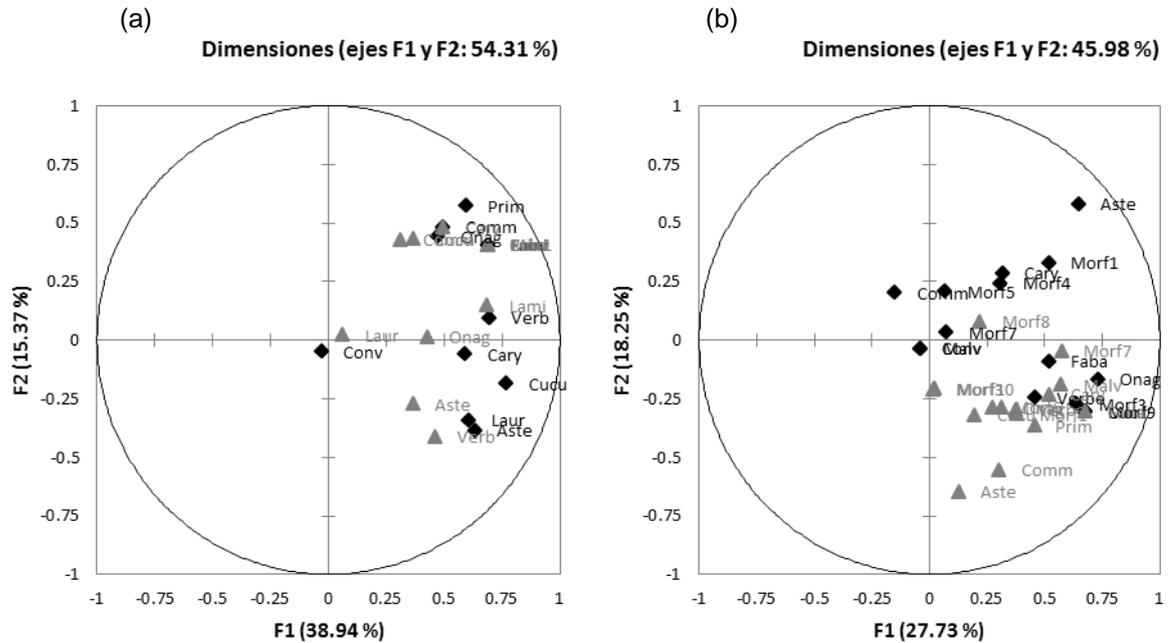


Figura 5. Mapa factorial de las dos configuraciones de manejo: i) convencional (rombos) y ii) orgánico (triángulos) de los tipos de polen, durante la floración del aguacatero (a) y cuando solamente se encontraba la floración de las herbáceas (b). Se muestra la configuración del consenso (triángulos).

Tabla 6. Resultados del análisis de procrustes generalizado. Se observa que la puesta a escala tuvo un impacto preponderante en la reducción de la variabilidad de las configuraciones al haber solo floración de las herbáceas a diferencia de las configuraciones en la floración del aguacatero.

	Fuente	GDL	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Pr > F
Floración del aguacatero	Residuales después reescalamiento	389	27.067	0.070		
	Reescalamiento	1	0.136	0.136	1.961	0.162
	Residuales después rotación	390	27.204	0.070		
	Rotación	66	12.412	0.188	2.703	< 0.0001
	Residuos después traslación	456	39.615	0.087		
	Traslación	12	8.885	0.740	10.640	< 0.0001
	Total corregido	468	48.500	0.104		
Sin floración del aguacatero	Residuales después reescalamiento	1112	47.107	0.042		
	Reescalamiento	1	2.158	2.158	50.943	< 0.0001
	Residuales después rotación	1113	49.265	0.044		
	Rotación	210	22.391	0.107	2.517	< 0.0001
	Residuales después traslación	1323	71.656	0.054		
	Traslación	21	8.344	0.397	9.379	< 0.0001
Total corregido	1344	80.000	0.060			

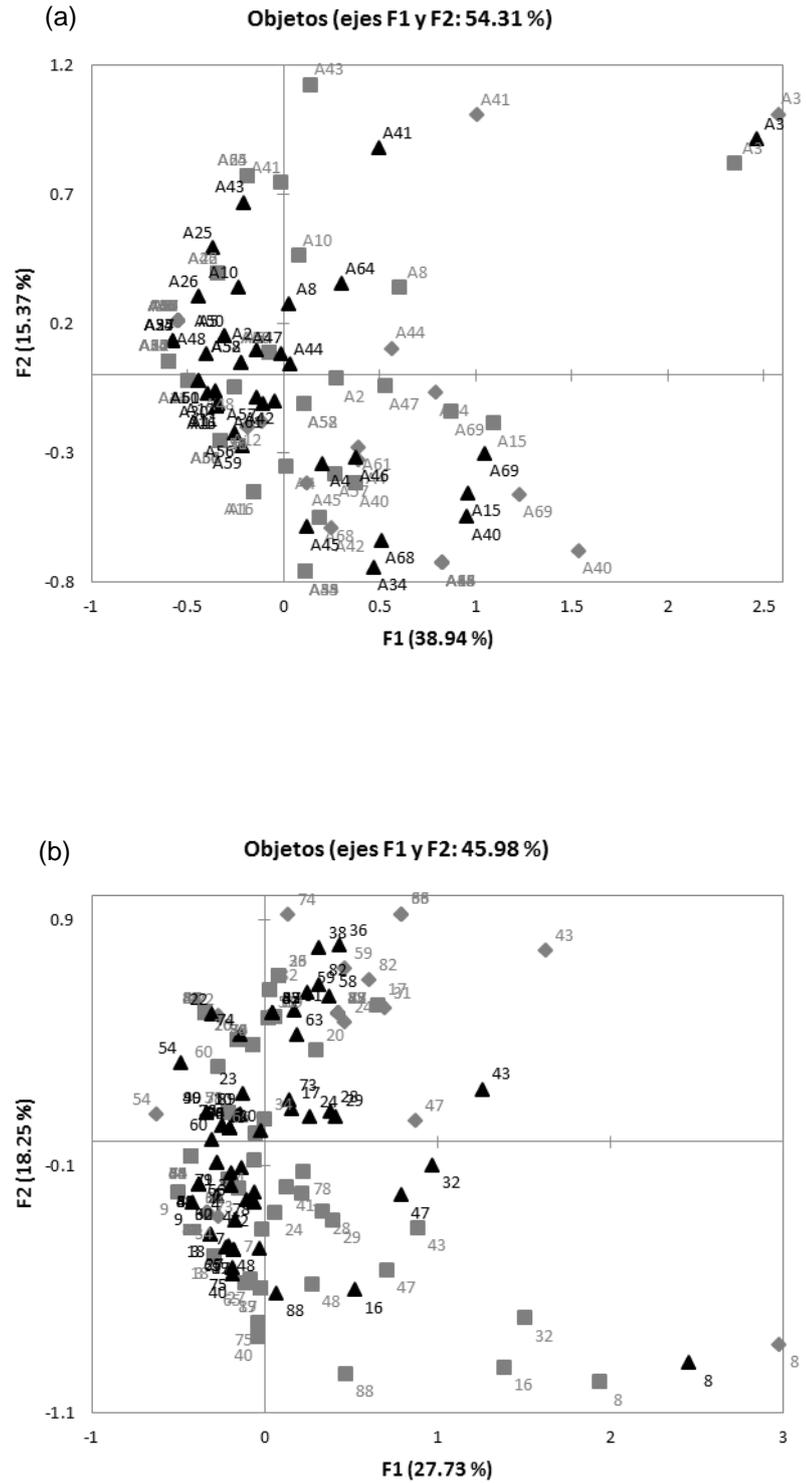


Figura 6. Mapa factorial de las dos configuraciones de manejo: i) convencional (rombos) y ii) orgánico (cuadrado) de las especies acarreadoras de polen, durante la floración del aguacatero (a) y cuando había solo la floración de las herbáceas (b). Se muestra la configuración del consenso (triángulos).

3.3.2.3 Estructura de las redes de transporte de polen

En la Tabla 7 se observan las propiedades de las estructuras de las redes de transporte de polen en los manejos convencional y orgánico para los dos momentos de floración. La estructura de las redes de transporte de polen durante las floraciones del aguacatero y solo las herbáceas mostraron similitud en la riqueza de interacciones (170 y 171, respectivamente). No obstante, la riqueza de acarreadores de polen, tipos de polen y grado de especialización de la red fueron mayor al haber solo la floración de las herbáceas. Los índices de conectancia, anidamiento y equitatividad de las interacciones fueron superiores en la red de la floración del aguacatero (Tabla 7).

Las huertas orgánicas exhiben índices con valores más altos respecto las huertas convencionales, a excepción de la conectancia (Tabla 7). Esto se ve reflejado en la comparación entre manejos, ya que el manejo orgánico mostró mayor riqueza de especies y riqueza de interacciones que el manejo convencional (relación 2.3:1), tanto para la floración del aguacatero (Fig. 7) como para la floración únicamente de las herbáceas (Fig. 8). A pesar de observarse mayor número de interacciones aparentes en las redes de transporte de polen del manejo orgánico, se observa la amplia contribución en la frecuencia de las interacciones en la floración del aguacatero por parte de la abeja europea, especie dominante durante este momento de floración en ambos manejos.

La comparación de los manejos agronómicos convencional y orgánico, a partir de las propiedades estructurales de las redes integrando los dos momentos de floración, efectuado en el Análisis Discriminante produjo discriminación entre estos. La prueba de Fisher confirma diferencias para las matrices de covarianza para los manejos ($F=2.074$; $GD= 28$; $p=0.001$), así mismo, la prueba de Lambda muestra diferencias entre los vectores ($\text{Lambda}=0.023$; $GD= 8$; $p= <0.001$). El 100% de la varianza estuvo representada en el primer factor (Valor propio= 2.021; Discriminación (%)= 100.000). Sin embargo, 4 observaciones de huertas convencionales fueron reclasificadas como huertas orgánicas. En el anexo 3.5 se muestra la clasificación *a priori* y *a posteriori* de los manejos de cada huerta. La Figura 9 muestra la discriminación de las huertas según el manejo agronómico, se observan dos grupos sobre el primer eje factorial, con algunas huertas convencionales dentro o cerca del grupo de las huertas orgánicas (Apéndice 3.5, Pág. 94).

Tabla 7. Características estructurales de las redes de transporte de polen de cada huerta, de los manejos convencional y orgánico y de cada momento (Mo) del ciclo del cultivo (floración del aguacatero (A) y cuando había solo floración de las herbáceas (H)) en cada huerta y en huertas agregadas. Los parámetros analizados: A, número de especies de acarreadores de polen; P, número de tipos de polen; C, conectancia; N, anidamiento; EI, equitatividad de las interacciones, RI, riqueza de interacciones; H₂' , grado de especialización de la red. Se observan el número de especies en común entre los dos momentos de floración por cada huerta y por cada manejo (Ec) y los valores del índice de similitud de Sorensen (Is), entre los acarreadores de polen del momento de la floración del aguacatero y de floración únicamente de las herbáceas en cada huerta. El manejo de cada huerta se identifica por la consonante inicial: convencionales (C) y orgánicas (O).

	Mo	A	P	C	N	EI	RI	H ₂ '	Ec	Is
C1	A	8	9	0.33	9.23	0.06	24	0.29	1	0.14
	H	6	6	0.31	23.42	0.47	11	0.56		
C2	A	14	9	0.33	13.89	0.28	32	0.24	1	0.13
	H	2	3	0.50	44.73	0.60	3	1.00		
C3	A	10	8	0.35	14.82	0.23	28	0.19	3	0.21
	H	19	12	0.15	10.86	0.48	35	0.50		
C4	A	4	6	0.50	1.07	0.10	12	0.04	1	0.25
	H	4	3	0.67	8.42	0.52	8	0.23		
O5	A	18	9	0.30	11.30	0.16	48	0.20	4	0.21
	H	21	11	0.21	18.68	0.64	48	0.54		
O6	A	11	9	0.32	23.09	0.13	32	0.11	3	0.17
	H	24	9	0.22	27.42	0.57	48	0.65		
O7	A	23	9	0.28	11.08	0.15	57	0.14	2	0.12
	H	10	9	0.26	15.97	0.59	23	0.37		
O8	A	8	10	0.25	15.75	0.20	20	0.14	1	0.1
	H	12	7	0.24	30.28	0.57	20	0.62		
O9	A	9	9	0.32	9.38	0.26	26	0.20	3	0.26
	H	14	8	0.24	16.59	0.51	27	0.41		
O10	A	14	9	0.29	9.99	0.09	36	0.10	3	0.23
	H	12	9	0.23	13.54	0.46	25	0.35		
C	A	24	11	0.25	10.62	0.11	66	0.12	4	0.11
	H	52	12	0.23	11.25	0.12	50	0.10		
O	A	23	15	0.14	8.53	0.52	141	0.39	12	0.31
	H	54	15	0.18	11.91	0.59	142	0.31		
A		39	12	0.28	9.30	0.12	170	0.06	12	0.24
H		62	19	0.15	8.29	0.58	171	0.30		

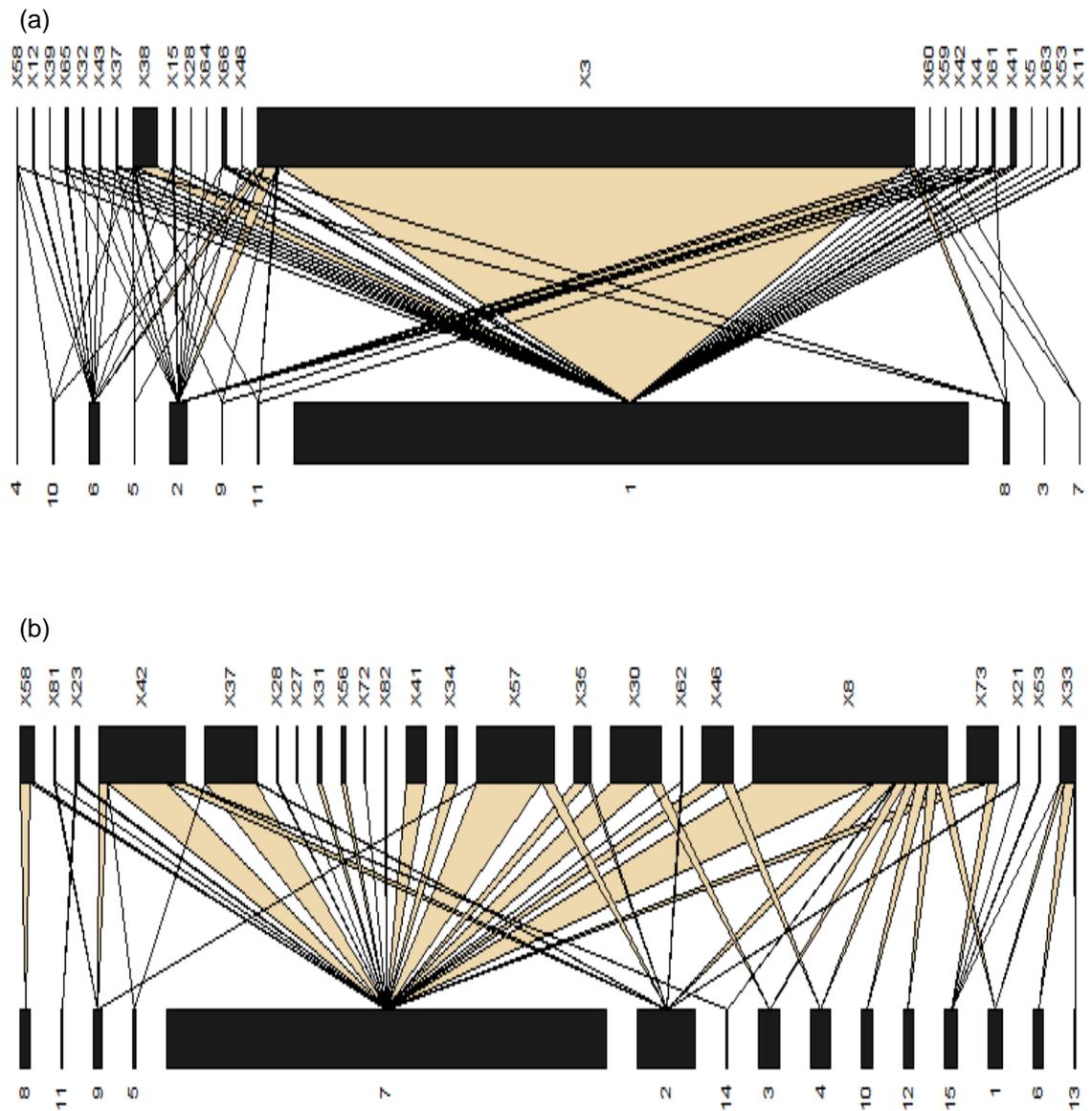


Figura 7. Redes cuantitativas de transporte de polen durante la floración del aguacatero (a) y con floración solo de las herbáceas (b) en el manejo convencional de huertas aguacateras. Las especies acarreadoras de polen se muestran como rectángulos en el ensamble superior y los tipos de polen en el ensamblaje inferior. La frecuencia de interacción se midió como el número de granos de polen transportado por especie. El tamaño de la interacción es proporcional a la frecuencia de la interacción entre los ensamblaje. Las redes fueron construidas a diferentes escalas. Los nombres completos de las especies de acarreadores y las abundancias se presentan en los Apéndices 3.2 y 3.3 (Págs. 90 y 91). Los nombres de los tipos de polen se presentan en el Apéndice 3.4 (Pág. 93).

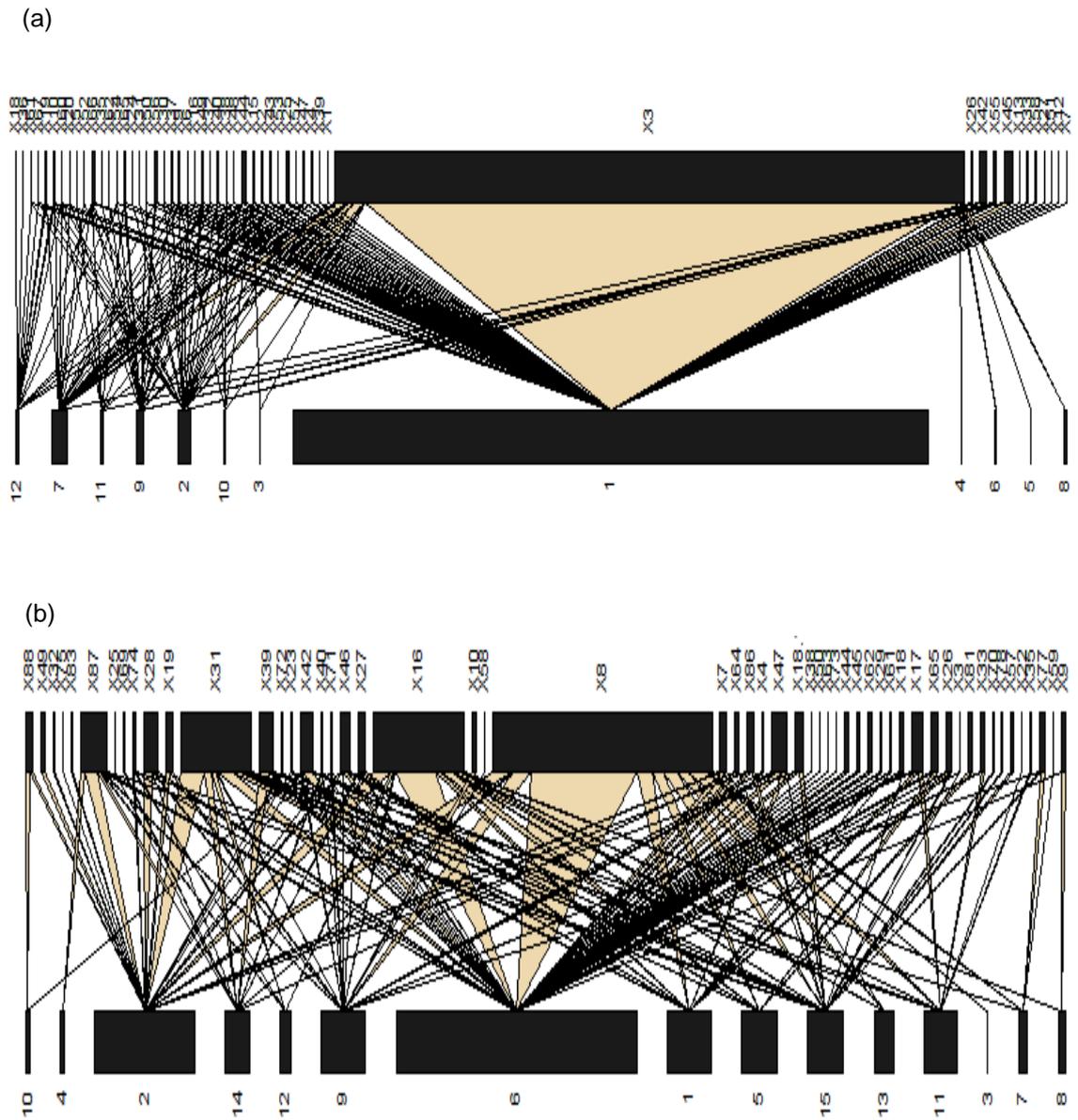


Figura 8. Redes cuantitativas de transporte de polen durante la floración del aguacatero (a) y con floración solo de las herbáceas (b) en el manejo orgánico de huertas aguacateras. Las especies acarreadoras de polen se muestran como rectángulos en el ensamble superior y los tipos de polen en el ensamblaje inferior. La frecuencia de interacción se midió como el número de granos de polen transportado por especie. El tamaño de la interacción es proporcional a la frecuencia de la interacción entre los ensamblaje. Las redes fueron construidas a diferentes escalas. Los nombres completos de las especies de acarreadores y las abundancias se presentan en los Apéndices 3.2 y 3.3 (Págs. 90 y 91). Los nombres de los tipos de polen se presentan en el Apéndice 3.4 (Pág. 93).

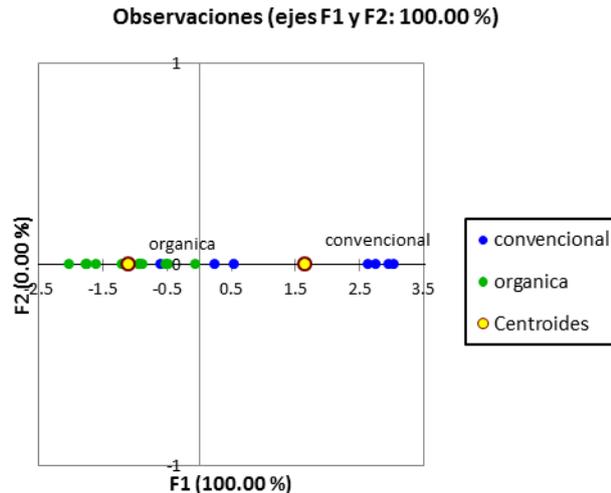


Figura 9. Representación de las observaciones sobre los ejes factoriales. Se confirma que las observaciones están correctamente discriminadas sobre el primer eje factorial obtenidas a partir de las propiedades estructurales de las redes de transporte de polen.

3.3.3 Hipótesis 2. Similitud de los ensamblajes de especies acarreadoras de polen entre los dos momentos de floración

Se observaron 72 especies de acarreadores de polen en total, 39 especies en la floración del aguacatero y 62 especies en la floración solo de las herbáceas de las cuales 13 especies de acarreadores de polen fueron comunes entre las dos floraciones. Entre estas, estuvieron 6 especies de Hymenoptera (*Apis mellifera*, *Lassioglossum* sp. 1 y 2, *Vespula squamosa*, *Polybia occidentalis* y *Polistes instabilis*) y 6 dípteros (*Allograpta* sp.1, *Palpada mexicana*, Morfotipo M2, Muscidae sp. 4, Tachinidae sp.7 y *Toxomerus mutuus*) y 1 hemiptero (Morfotipo He1). Por su parte, el manejo convencional presentó 46 especies de acarreadores en total entre ambos momentos de floración y 4 especies en común, mientras que el manejo orgánico tuvo 83 especies de acarreadores y 12 especies en común.

El índice de similitud de Sorensen entre los ensamblajes de acarreadores de polen de los momentos de floración del aguacatero y solo las herbáceas, de cada huerta y por cada manejo agronómico se observa en la Tabla 7. La similaridad de especies entre ambos momentos de floración fue $I_s = 0.24$, indicando baja similaridad entre los dos ensamblajes. Los valores que adquiere el índice para las huertas de manejo convencional se encuentran entre el rango 0.13 a 0.25, y para el manejo orgánico entre 0.1 a 0.26. La prueba de hipótesis entre los manejos no arrojó diferencias significativas ($t = 0.1$; $GL = 8$; $p = 0.399$). Sin embargo, el manejo orgánico presentó mayor similitud entre las comunidades de los dos momentos de floración ($I_s = 0.31$), que el manejo convencional ($I_s = 0.24$), (Tabla 7).

3.4 Discusión

Los resultados de este trabajo muestran cómo la diversidad de los recursos florales presentes en la huerta genera estructuras determinadas en las redes de transporte de polen. Las redes de interacción construidas a partir de los acarreadores de polen y los

tipos de polen en huertas aguacateras estuvieron constituidas por diferentes especies en ambos momentos de floración y en ambos manejos agronómicos. El ensamblaje de acarreadores de polen respondió al grado de diversidad de los recursos, es decir a mayor diversidad de plantas las redes mostraron mayor complementariedad y complejidad. Esta diferencia en la estructura de las redes, puede explicarse por el aumento de la abundancia de los recursos florales (polen y néctar), lo que aumenta el atractivo para muchas especies de visitantes florales (Memmott, 1999; Potts et al., 2003; Ebeling et al., 2008).

En este estudio se observó diferencia entre la estructura de las redes de transporte de polen, considerando los dos momentos de floración (aguacate y solo herbáceas) del ciclo del cultivo. Sin embargo, no se observó diferencia en la similaridad de las comunidades de ambos momentos a nivel de huerta y manejo. No obstante, una consideración importante en el análisis de los resultados obtenidos, fue el menor esfuerzo de muestreo durante la floración únicamente de las herbáceas, lo que pudo influir en la riqueza de especies de acarreadoras observadas (aunque, en algunas huertas el porcentaje de estas fue superior al compararse con la floración del aguacatero).

Durante la floración del aguacatero, la red estuvo dominada por la abeja europea y el tipo de polen Lauraceae (aguacatero). Estas especies presentaron la mayor abundancia y mayor cantidad de interacciones en la totalidad de las huertas, situación esperable ya que, la presencia de esta abeja en las huertas está determinada por la introducción de colmenas al cultivo, mientras que el tipo de polen del aguacatero es el recurso floral de importancia en ese momento del año. En el momento de floración de las herbáceas la estructura de la red presentó menos dominancia, se observó en la comunidad de acarreadores mayor participación de otras especies silvestres. No obstante la abeja europea continuó siendo la especie más abundante, posiblemente proveniente de colonias ferales, ya que en ese momento del ciclo del cultivo no hay introducción de colmenas en las huertas aguacateras. La presencia de esta especie fue mayor durante la floración de aguacatero en una proporción de 4.3:1, respecto el momento de floración solo de las herbáceas. Sin embargo, se encuentran otras 7 especies de acarreadores de polen de aguacatero que se mantienen durante las dos floraciones, *Lasioglossum* sp.1, *Polistes instabilis*, *Vespula squamosa*, *Palpada mexicana*, Tachinidae sp. 7 y *Toxomerus mutuus*, Morfotipo HE1, aunque estas especies presentaron bajas abundancias y medias a bajas cargas de polen. La distribución de los tipos de polen acarreado estuvo principalmente en 4 familias taxonómicas (Asteraceae, Cucurbitaceae, Malvaceae y Commelinaceae), que presentaron las interacciones más generalistas.

Conocer la estructura de las redes de interacción, tiene implicaciones importantes para la convivencia y la estabilidad de las especies (Bascompte y Jordano, 2007) en el caso de sistemas continuamente perturbados como los agroecosistemas. Por esto, identificar las familias taxonómicas de herbáceas asociadas al cultivo de interés económico, como aquellas que pueden establecer mayor riqueza de interacciones con especies de acarreadores especialistas y generalistas, permite plantear acciones de manejo de las herbáceas para la permanencia de los visitantes y acarreadores de polen durante todo el ciclo del cultivo. Por ejemplo, especies de las familias Asteraceae y Commelinaceae comúnmente presentes en las huertas, de porte bajo y abundante cantidad de flores, y cuyo polen estuvo presente y abundante en los acarreadores de polen en ambos momentos de floración pueden ser una buena alternativa para el manejo y mantenimiento

de este grupo funcional durante la época de ausencia de floración de la especie de interés económico.

La complejidad de las redes de interacción incrementó con la riqueza de los recursos florales. Este patrón se presentó al comparar las redes establecidas en floración solo de las herbáceas (mayor riqueza de plantas) respecto a las interacciones durante la floración del aguacatero (menor riqueza de plantas), y al comparar los manejos agronómicos orgánico (mayor riqueza de plantas) y convencional (menor riqueza de plantas) durante ambas floraciones. El manejo orgánico presentó mayor riqueza, grado de especialización y equitatividad de las interacciones, y menor anidamiento y conectancia que el manejo convencional, resultados explicados posiblemente por la mayor riqueza de recursos florales en las huertas. Sin embargo, en concordancia con los otros aspectos evaluados en este trabajo, se observan casos particulares en las huertas estudiadas, ya que algunas huertas convencionales presentaron propiedades estructurales en las redes de transporte de polen similares a las huertas orgánicas. Lo anterior puede indicar, que a pesar de la biodiversidad diferencial observada entre los manejos, las interacciones establecidas en los sistemas agrícolas aguacateros respondieron a una característica atribuible a las redes mutualistas: especies que establecen pocas interacciones coexisten con una riqueza relativamente baja de generalistas de ambos ensamblajes (Fontaine, 2009; Bascompte et al., 2003). A su vez, este resultado es indicativo de la importancia del manejo particular en cada huerta y el mantenimiento de los recursos.

Análisis recientes de redes de interacción mutualistas revelan que las interacciones planta-polinizador muestran alto grado de especialización complementaria a escala comunitaria (Fruend et al., 2010; Blüthgen y Klein, 2011) especialmente en sitios naturales (Gotlieb et al., 2011), una flexibilidad en las preferencias de flores y distribución dinámica de recursos entre polinizadores (Fruend et al., 2010) y una mayor generalización en sistemas disturbados (Gotlieb et al., 2011). Esta generalización es atribuible a la homogenización de las recompensas entre las especies de plantas (Waser et al., 1996), donde hay poca diversidad taxonómica, con especies altamente generalistas, como la abeja europea en el caso de los visitantes y la familia Asteraceae en las plantas. Al ser consistentes con el propósito fundamental de una huerta que es la producción, y no propiamente la conservación de las herbáceas, estas especies generalistas tienen importantes implicaciones, ya que aportan resiliencia a las interacciones a través del ciclo del cultivo, además de beneficiar la polinización del cultivo y de las herbáceas. No obstante, las especialistas con mayor grado de especialización agregan complejidad funcional al sistema.

En este trabajo se encontró mayor conectancia y anidamiento en las redes de los sistemas más perturbados o con menor riqueza de recursos florales, esto es durante el momento de floración del aguacatero y el manejo convencional, respecto a las redes de los sistemas que presentaron mayor complejidad por la diversidad de recursos como en el momento de floración solo de las herbáceas y en el manejo orgánico. Estos resultados concuerdan con el patrón de anidamiento más común reconocido en la naturaleza (Bascompte et al., 2003; Bascompte y Jordano, 2006) el cual presenta un núcleo de especies que sostiene la mayor parte de las interacciones. Tal es el caso en el momento de floración del aguacatero donde esta especie es quien sostiene la mayoría de las interacciones por parte de las plantas y la abeja europea en el caso de los acarreadores y en el manejo convencional donde las redes mantienen interacciones de forma

asimétrica, debido a que los especialistas tienden a interactuar con la mayoría de los generalistas (Bascompte y Jordano, 2006). A diferencia de las redes del momento de floración solo de las herbáceas y del manejo orgánico presentaron menos dominancia.

Numerosos estudios sobre interacciones mutualistas en ecosistemas con diversos grado de disturbio han arrojado resultados similares a los de este trabajo respecto a la relación positiva entre la diversidad del recurso floral, la diversidad de visitantes o acarreadores y el estado del sistema (Potts et al., 2003; Stang et al., 2006; Fruend et al., 2010; Gotlieb et al., 2011), el efecto negativo en la diversidad y la composición de especies de visitantes florales especializados con el empobrecimiento de la diversidad floral (para el caso, entre manejos agronómicos, Weiner et al., 2011) y el mantenimiento de la diversidad de visitantes florales y acarreadores durante los diferentes momentos de floración en las huertas. A partir de estos resultados se pueden generar propuestas como el mantenimiento de grupos de herbáceas silvestres en áreas no cultivadas, en los márgenes de los cultivos y en asociación con el cultivo, que incrementen las propiedades productivas y ecológicas al favorecer la diversidad de insectos (Carreck y Williams, 2002; Miliczky y Horton, 2005; Isaacs et al., 2009; Ebeling et al., 2011) que contribuyen a la polinización de las plantas del sistema productivo a pesar de la variación temporal o ambiental (Fontaine et al., 2006; Blüthgen y Klein, 2011).

Las interacciones ecológicas en las huertas pueden ser complejas de analizar en el sentido del posible recambio de la comunidad por la constante intervención sobre el sistema productivo y la diversidad de prácticas agronómicas particulares a cada huerta. Los resultados presentados en este trabajo contribuyen a la comprensión del manejo de la cobertura de herbáceas en sistemas productivos agrícolas, ya que aportan recursos alimentarios y generan redes complejas de interacción. Así mismo, pueden ser recursos alimenticios para los acarreadores de polen durante el periodo de ausencia de floración de la especie de importancia económica. Estas plantas mejoran el hábitat de los visitantes florales al generar recursos alimenticios como néctar y polen (Decourtye et al., 2010), además de otros beneficios para el agroecosistema (Altieri, 1999).

3.5 Conclusión

La diversidad de plantas y el manejo agronómico determinan la diversidad de acarreadores de polen y las interacciones ecológicas, lo que acrecienta la importancia de la permanencia de la cobertura de herbáceas durante el periodo de ausencia de la floración del cultivo, generando disponibilidad de recursos alimenticios para los visitantes florales. Es preciso considerar el carácter continuamente perturbado de los sistemas productivos, pero también es imprescindible resaltar el papel que las huertas podrían tener en el sostenimiento de biodiversidad, como la de los insectos. La conservación de relictos de bosque circundante a las huertas y el mantenimiento al interior de estas de especies de herbáceas cuyas flores son atrayentes de acarreadores de polen, son dos componentes con una contribución significativa a la estructura de la comunidad de acarreadores de polen.

Apéndice 3.1 Fenología y manejo de la población del aguacatero y comunidad de herbáceas según el mes y la estación climática

Mes	Estación climática	Fenología Aguacate	Herbáceas	Recurso floral	
				Aguacate	Herbáceas
Junio	Primavera-verano	Crecimiento vegetativo y del fruto	Crecimiento y floración	Ausente	Presente
Julio	Verano	Crecimiento vegetativo y del fruto	Crecimiento y floración	Ausente	Presente
Agosto	Verano	Crecimiento vegetativo y del fruto	En floración	Ausente	Presente
Septiembre	Verano-otoño	Crecimiento vegetativo y del fruto	En floración	Ausente	Presente
Octubre	Otoño	Cosecha del fruto, floración loca	Corte de herbáceas obligatorio por cosecha de aguacate	Presente	Ausente
Noviembre	Otoño	Cosecha del fruto, floración normal	Secamiento de las hierbas por efecto del clima	Presente	Ausente
Diciembre	Otoño-invierno	Floración normal	Secamiento de las hierbas por efecto del clima	Presente	Ausente
Enero	Invierno	Floración normal	Secamiento de las hierbas por efecto del clima	Presente	Ausente
Febrero	Invierno	Floración normal	Secamiento de las hierbas por efecto del clima	Presente	Ausente
Marzo	Invierno-primavera	Floración marceña	Secamiento de las hierbas por efecto del clima	Presente	Ausente
Abril	Primavera	Crecimiento vegetativo y del fruto	Regeneración de algunas especies de hierbas	Ausente	Ausente
Mayo	Primavera	Crecimiento vegetativo y del fruto	Floración de algunas especies de hierbas con las primeras lluvias	Ausente	Presente

Apéndice 3.2 Riqueza (RAP) y abundancia (AAP) de los acarreadores de polen de aguacatero y el manejo donde fue observada la especie (MN: C= convencional, O=orgánico y A=ambos). Se incluye el número de identificación de cada especie en las redes de transporte de polen.

ID	GRUPO FUNCIONAL-ESPECIE	RAP	AAP	MN
	Coleoptera	1	22	
25	Morfotipo C1		22	O
	Diptera	21	70	
1	<i>Allograpta</i> sp. 1		5	O
2	<i>Allograpta obliqua</i> (Say)		4	O
5	Bombyliidae sp. 1		1	O
10	Calliphoridae sp. 2		1	O
11	<i>Copestylum mexicanum</i> (Macquart)		1	C
12	Dolichopodidae sp. 1		2	O
30	Morfotipo M2		4	A
34	Muscidae sp. 4		8	A
35	Muscidae sp. 5		1	O
40	<i>Palpada mexicana</i> (Macquart)		7	A
42	<i>Platycheirus</i> sp.1		5	A
50	<i>Pseudodoros clavatus</i> (Fabricius)		1	O
51	Sarcophagidae sp. 1		1	O
52	Sarcophagidae sp. 2		1	O
56	Tachinidae sp. 2		5	A
57	Tachinidae sp. 3		4	O
58	Tachinidae sp. 4		3	O
59	Tachinidae sp. 5		1	O
60	Tachinidae sp. 6		1	O
61	Tachinidae sp. 7		2	A
68	<i>Toxomerus mutuus</i> (Say)		12	A
	Hemiptera	2	5	
26	Morfotipo HE1		4	O
27	Morfotipo HE2		1	O
	Hymenoptera	14	817	
3	<i>Apis mellifera</i> Lineo		710	A
8	<i>Brachygastra mellifica</i> (Say)		4	O
15	<i>Lasioglossum</i> sp. 2 (Dialictus)		17	A
16	<i>Lasioglossum</i> sp.1		1	O
41	<i>Parachartergus mexicanus</i> (Saussure)		19	A
43	<i>Polistes carnifex</i> (Fabricius)		3	O
44	<i>Polistes instabilis</i> Saussure		3	C
45	<i>Polistes major</i> Bequard		7	A
46	<i>Polistes pacifica</i> Fabricius		5	A
47	<i>Polybia diguetana</i> (Buyssin)		20	O
48	<i>Polybia occidentalis</i> (Olivier)		10	
54	<i>Scolia</i> sp. 1		2	O
64	<i>Tiphia</i> sp. 2		3	A
69	<i>Vespula squamosa</i> (Drury)		13	A
	Total	38	914	

Apéndice 3.3 Riqueza (RAP) y abundancia (AP) de los acarreadores de polen de las flores herbáceas de las huertas de aguacate y el manejo donde fue observada la especie (C= convencional, O=orgánico y A=ambos). Se incluye el número de identificación de cada especie en las redes de transporte de polen.

ID	ESPECIE	RAP	AP	Manejo
Coleoptera		1	64	
43	Morfotipo C1		64	A
Diptera		20	89	
3	<i>Allograpta similis</i> (Curran)		1	O
4	<i>Allograpta</i> sp. 1		1	O
10	<i>Bibio</i> sp. 2		1	O
22	<i>Copestylum marginatum</i> (Say)		1	C
26	<i>Eupeodes americanus</i> Wiedemann		1	O
31	<i>Lejops mexicanus</i> (Macquart)		10	C
50	Morfotipo M3		1	O
51	Muscidae sp. 4		1	O
54	Muscidae sp. 8		1	C
57	<i>Ornidia obesa</i> (Fabricius)		1	C
58	<i>Palpada furcata</i> (Wiedemann)		31	A
59	<i>Palpada mexicana</i> (Macquart)		3	A
70	Syrphidae sp. 4		4	A
71	Tachinidae sp. 7		1	O
72	Tachinidae sp. 8		1	O
73	Tachinidae sp. 9		4	A
79	<i>Toxomerus dispar</i> (Fabricius)		12	A
82	<i>Toxomerus mutuus</i> (Say)		5	A
83	<i>Toxomerus pictus</i> (Macquart)		2	A
84	<i>Toxomerus politus</i> (Say)		7	A
Hemiptera		4	18	
45	Morfotipo He1		1	O
46	Morfotipo He4		1	O
47	Morfotipo He5		14	A
48	Morfotipo He6		2	O
Hymenoptera		37	346	
7	<i>Ammophila</i> sp. 1		5	O
8	<i>Apis mellifera</i> Lineo		151	A
9	<i>Augochoropsis pallitarsis</i> (Friese)		1	O
16	<i>Campsomeris limosa</i> (Burmeister)		31	A
17	<i>Centris</i> sp. 1		2	O
18	<i>Ceratina</i> sp. 1		6	O
19	<i>Cerceris</i> sp. 1		7	A
20	<i>Colletes</i> sp. 1		2	O

23	<i>Crabro latipes</i> Smith	2	O
24	<i>Deltoptila montezuma</i> (Smith)	3	A
27	<i>Exomalopsis</i> sp. 2	2	O
28	Ichneumonidae sp. 1	5	A
29	<i>Lasioglossum</i> sp. 1	8	A
30	<i>Lasioglossum</i> sp. 2	6	A
32	<i>Melissodes tepaneca</i> Cresson	22	A
33	Morfotipo A3	1	O
34	Morfotipo A5	4	A
35	Morfotipo A6	2	A
36	Morfotipo A7	4	A
38	Morfotipo Av1	5	C
39	Morfotipo Av2	1	O
40	Morfotipo Av3	11	A
41	Morfotipo Av4	5	A
42	Morfotipo Av5	2	C
60	<i>Polistes instabilis</i> (Saussure)	1	O
62	<i>Polybia occidentalis</i> (Olivier)	7	A
63	Pompilidae sp. 1	4	A
64	<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius)	3	O
65	<i>Pseudopanurgus</i> sp. 1	4	A
66	<i>Sceliphron</i> sp. 1	2	O
74	Tenthredinidae sp. 1	7	A
75	Tenthredinidae sp. 2	5	O
76	<i>Tethida</i> sp. 1	1	O
78	<i>Tiphia</i> sp. 1	4	O
87	<i>Vespula squamosa</i> (Drury)	10	O
88	<i>Xylocopa azteca</i> (Cresson)	8	O
89	<i>Xylocopa guatemalensis</i> (Cockerell)	2	O
	Total	67	517

Apéndice 3.4 Nombre de los tipos de polen según el código mostrado en las redes de transporte de polen.

Floración aguacatero M. Convencional		Floración aguacatero M. Orgánico		Floración herbáceas M. Convencional		Floración herbáceas M. Orgánico	
1X	Lauraceae	1X	Lauraceae	1X	Verbenaceae	1X	Verbenaceae
2X	Cucurbitaceae	2X	Cucurbitaceae	2X	Morfotipo 1	2X	Morfotipo 1
3X	Lamiaceae	3X	Lamiaceae	3X	Fabaceae	3X	Fabaceae
4X	Convolvulaceae	4X	Morfotipo 1	4X	Morfotipo 3	4X	Morfotipo 3
5X	Primulaceae	5X	Convolvulaceae	5X	Morfotipo 4	5X	Malvaceae
6X	Asteraceae	6X	Primulaceae	6X	Malvaceae	6X	Asteraceae
7X	Fabaceae	7X	Asteraceae	7X	Asteraceae	7X	Morfotipo 6
8X	Verbenaceae	8X	Fabaceae	8X	Morfotipo 5	8X	Morfotipo 10
9X	Caryophyllaceae	9X	Verbenaceae	9X	Caryophyllaceae	9X	Caryophyllaceae
10X	Onagraceae	10X	Caryophyllaceae	10X	Morfotipo 9	10X	Morfotipo 8
11X	Commelinaceae	11X	Onagraceae	11X	Morfotipo 7	11X	Morfotipo 7
		12X	Commelinaceae	12X	Cucurbitaceae	12X	Cucurbitaceae
				13X	Convolvulaceae	13X	Primulaceae
				14X	Onagraceae	14X	Onagraceae
				15X	Commelinaceae	15X	Commelinaceae

Apéndice 3.5 Validación cruzada del análisis discriminante: clasificación a priori y a posteriori, probabilidades de pertenencia, coordenadas de las observaciones y cuadrados de las distancias.

Observación	Momento	A priori	A posteriori	convencional	orgánica
Obs1	Aguacatero	orgánica	orgánica	0.026	0.974
Obs2	Aguacatero	orgánica	orgánica	0.002	0.998
Obs3	Aguacatero	convencional	convencional	0.998	0.002
Obs4	Aguacatero	orgánica	orgánica	0.001	0.999
Obs5	Aguacatero	convencional	orgánica	0.305	0.695
Obs6	Aguacatero	orgánica	orgánica	0.114	0.886
Obs7	Aguacatero	orgánica	orgánica	0.434	0.566
Obs8	Aguacatero	orgánica	orgánica	0.371	0.629
Obs9	Aguacatero	convencional	convencional	1.000	0.000
Obs10	Aguacatero	convencional	orgánica	0.002	0.998
Obs11	Herbáceas	orgánica	orgánica	0.005	0.995
Obs12	Herbáceas	orgánica	orgánica	0.119	0.881
Obs13	Herbáceas	convencional	orgánica	0.009	0.991
Obs14	Herbáceas	orgánica	orgánica	0.002	0.998
Obs15	Herbáceas	convencional	convencional	1.000	0.000
Obs16	Herbáceas	orgánica	orgánica	0.038	0.962
Obs17	Herbáceas	orgánica	orgánica	0.019	0.981
Obs18	Herbáceas	orgánica	orgánica	0.067	0.933
Obs19	Herbáceas	convencional	convencional	1.000	0.000
Obs20	Herbáceas	convencional	orgánica	0.351	0.649

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

El principal cuestionamiento en términos de sostenibilidad ambiental en los sistemas productivos agrícolas es la simplificación de los ecosistemas naturales y la pérdida de la biodiversidad que genera la disminución de interacciones y procesos ecosistémicos (Memmott, 1999; Lindborg y Eriksson, 2004; Winfree et al., 2009). Sin embargo, las huertas pueden ser reservorios de biodiversidad, dependiendo de su manejo, por el efecto positivo del mantenimiento constante de recursos como la disponibilidad de recursos alimenticios que proveen la presencia de hábitats de alta calidad en y alrededor de las huertas y la diversidad a escala de campo local (Szentkirály y Kozár, 1991; Altieri, 1999; Greenleaf y Kremen, 2006; Kennedy et al., 2013). Si bien este trabajo planteó la comparación de la biodiversidad entre el manejo convencional y orgánico, se encontraron muy pocas diferencias a este nivel. Sin embargo, se encontraron diferencias de las comunidades a nivel de huerta. Es decir, fueron las prácticas e insumos particulares asociados a cada huerta quienes determinaron la biodiversidad presente, y no sólo el hecho de encontrarse dentro del manejo convencional y orgánico. A su vez, los resultados de este trabajo mostraron como el manejo agronómico y los recursos florales presentes en la huerta pueden determinar la estructura de la comunidad de visitantes y acarreadores de polen. Considerando que el cultivo del aguacatero presenta la floración en una época específica del año, es necesario proporcionarles de forma continua recursos florales provenientes de otras fuentes, como son las herbáceas. Los recursos provenientes de estas plantas pueden mantener durante el año la funcionalidad de la comunidad, proporcionando el servicio ecosistémico de la polinización de plantas silvestres y de las cultivadas.

En los sistemas productivos estudiados en este trabajo, se identificaron varios subtipos de manejo dentro de los dos manejos generales (convencional y orgánico). Los manejos derivados se distinguieron por prácticas agronómicas identificables como agroecológicas, ya que consistieron en la presencia y el tamaño del bosque al interior de la huerta y en la intensidad del corte de las herbáceas durante el año. Estas características separaron a las huertas orgánicas en dos grupos, un primer grupo que aplicaba insumos orgánicos y de categorías toxicológicas bajas y realizaba corte a las herbáceas de baja intensidad, sin presencia de bosque y un segundo grupo que además de la aplicación de los insumos ya nombrados, realizaban corte intenso de las herbáceas pero presentaba bosques. Por su parte, las huertas convencionales mostraron ser más similares y fueron agrupadas en un solo grupo.

La diversidad de la comunidad de visitantes florales del aguacatero estuvo manifiestamente influenciada por la abundancia que presentó la abeja europea. Esta especie es introducida masivamente en las huertas como práctica agronómica en beneficio de la polinización, sólo en los periodos de floración del aguacatero. Las otras especies silvestres tuvieron menor representación, aunque los dípteros constituyeron el segundo grupo de importancia, antecedido por los himenópteros. Composición similar se encontró en el caso de los acarreadores de polen de aguacatero.

La abeja europea fue la especie que más granos de polen acarreó, sin embargo la mayor cantidad del polen transportado se encontró en las corbículas, por lo que se convierte en polen no disponible para la polinización. Sin embargo, esta especie continúa siendo considerada como el principal vector de polen en estos cultivos, por dos razones importantes: su introducción a las huertas en el momento de la floración del cultivo y su

abundancia. Existen evidencias de eficiencia reducida de polinización de los polinizadores manejados respecto a los polinizadores silvestres (Greenleaf y Kremen, 2006; Garibaldi et al., 2013). Si bien los polinizadores silvestres son especies que presentan menores abundancias que la abeja europea, pueden operar simultáneamente y aumentar la eficiencia del acarreo de polen y del cuajado de frutos en los sistemas productivos (Hoehn et al., 2008; Garibaldi et al., 2013). En este trabajo, se encontró una contribución inferior en el acarreo del polen por parte de las especies silvestres comparado con la abeja europea, pero la presencia de estas especies podría considerarse significativo en todo el sentido ecológico, ya que no solo favorece a la polinización, sino que también participan en otros procesos ecológicos como la depredación y la descomposición (Altieri, 1999; Szentkirály y Kozár, 1991).

La falta de interés en las comunidades polinizadoras nativas por la facilidad de arrendamiento o mantenimiento de colmenas de la abeja europea ha llevado en esta región a una clara dominancia de esta especie, con notablemente baja representación de las especies nativas en los visitantes florales. Esto no sólo indica la pérdida de las funciones ecosistémicas que puede mantener una comunidad de alta riqueza específica y funcional, sino también un aumento en la vulnerabilidad del servicio de polinización. Si la abeja europea desarrolla alguna enfermedad, como ha sucedido en EE UU, o Europa (Neumann y Carreck, 2010), se encontraría en riesgo el servicio sostenido por esa única especie, que en este caso tendría implicaciones fuertes para la productividad de las huertas. Se hace evidente la urgencia de establecer programas de mantenimiento de la biodiversidad en las huertas aguacateras orientadas a optimizar el funcionamiento y la conservación de los servicios ecosistémicos y de buscar alternativas, incluso comerciales, de mantenimiento de una mayor diversidad de polinizadores. La renta de abejas melíponinas nativas de México como alternativa de diversificación de polinizadores es aún muy incipiente y, aun siendo el aguacate uno de los principales cultivos del país, prácticamente no hay información sobre la polinización y los polinizadores del aguacatero que ayuden a sugerir potenciales polinizadores nativos para producción comercial. En este trabajo se reconocieron 6 especies que en función de los datos de abundancia y cantidad de polen de aguacatero en el cuerpo, se pueden sugerir como potenciales polinizadores nativos. Las especies a tener en cuenta son 4 especies de himenopteros (*Parachartergus mexicanus*, *Polistes instabilis*, *Polistes major*, *Polybia occidentalis*) y 2 especies de dípteros (Tachinidae sp.4 y sp.5).

Se encontró relación entre la riqueza floral (tipos de polen) y la diversidad de acarreadores con y sin floración del aguacatero y entre los manejos convencional y orgánico. Cuando el ensamblaje inferior (tipos de polen) tuvo mayor diversidad, las redes fueron más complejas, ya que presentaron mayor número de interacciones.

Este trabajo presenta tres contribuciones importantes al estudio agroecológico de los sistemas productivos agrícolas y especialmente al cultivo del aguacate en Michoacán, México. La primera contribución es la descripción de la fauna de insectos visitante de las flores y acarreadora de polen del aguacatero. Considerando la alta dependencia de vectores de polen de esta planta, los resultados obtenidos confirman la importancia de los dípteros en el transporte del polen en las huertas aguacateras (Perez et al., 2012) y la preponderancia en el desempeño de los himenopteros. Especialmente el grupo de las avispa en el acarreo de polen, un grupo funcional que no había tenido importancia en otros trabajos en sistemas aguacateros (Castañeda et al., 199; Ish-am et al., 1999; Perez et al., 2012). La segunda contribución es el evidenciar la importancia del análisis del

manejo agronómico, pero sobre todo profundizar sobre las prácticas específicas que surgen a partir de los dos manejos generalmente identificados como convencional y orgánico, ya que considerando las limitaciones de cada huerta se pueden establecer prácticas agronómicas que se compensen entre sí y generen mayor sostenibilidad del sistema productivo en términos ecológicos. La tercera contribución, es la importancia de la diversidad de las herbáceas de las huertas en el sostenimiento de las interacciones mutualistas flor-visitante floral que atrajeron acarreadores de polen del cultivo los cuales a su vez incrementaron claramente los frutos logrados. De esta manera, se confirmó que el favorecer estas relaciones de diversidad en las huertas no solo conlleva una mejoría en los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos derivados de ellos, sino también un claro beneficio para la productividad de las huertas.

Por esto, se requiere de prácticas de manejo acordes al mantenimiento de la biodiversidad y de las funciones ecosistémicas como es el caso de la polinización y que estén en beneficio de la rentabilidad del sistema productivo. Aunado a esto se requiere del conocimiento a fondo de la biología intrínseca de las especies identificadas como buenos acarreadores de polen de aguacatero y el cambio en las prácticas de manejo agronómico que aseguren alimentación y refugio para los visitantes florales y acarreadores nativos (Rader et al., 2006; Garibaldi, 2013). Considerando que la floración del aguacatero en la llamada franja aguacatera del estado de Michoacán, México, se concentra en la temporada de octubre-marzo y la floración de herbáceas muestra desarrollo de flores desde el mes de mayo (primeras lluvias) hasta los meses de septiembre u octubre, época en la que se realiza el corte obligatorio de las herbáceas en huertas que producen la fruta para exportación, exigido por el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica-Sanidad Vegetal, institución encargada de regular la producción agrícola en México), se podría asegurar el mantenimiento de recursos florales durante todo el año si se garantiza el desarrollo adecuado de las herbáceas en las huertas. Esta propuesta considera la fenología de floración del aguacatero en el estado de Michoacán, México, la dinámica de desarrollo de las herbáceas y el corte de estas por las exigencias de manejo, planteando el mantenimiento constante de recurso floral, ya sea proveniente del aguacatero o de las herbáceas. Esta situación es posible de mantener durante todo el año mediante la sincronización de la fenología y el manejo agronómico de cada uno de estos dos grupos funcionales.

Referencias

- Abaidoo, S., Dickinson. 2002. Alternative and conventional agricultural paradigms: evidence from farming in southwest Saskatchewan. *Rural sociology*, 67: 114-131.
- Abbona, E. A., Sarando, S. J., Marasas, M. E., Astier, M. 2007. Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 335-345.
- Afik, O., Dag, A., Kerem, Z., Shafir, S. 2006a. Analyses of avocado (*Persea americana*) nectar properties and their perception by honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Chemical Ecology*, 32: 1949-1963.
- Afik, O., Dag, A., Shafir, S. 2006b. The effect of avocado (*Persea americana*) nectar composition on its attractiveness to honey bees (*Apis mellifera*). *Apidologie*, 37: 317-325
- Alarcon, R. 2010. Congruence between visitation and pollen-transport networks in a California plant-pollinator community. *Oikos*, 119: 35-44.
- Alcaraz, M. L. y Hormaza, J. I. 2009. Selection of potencial pollinizers for Hass avocado based on flowering time and male-female overlapping. *Scientia Horticulturae*, 121: 267-271.
- Allen-Wardell, G. P., Bernhardt, R., Bitner, A., Burquez., Buchmann, S., Cane, J., Allen, P., Dalton, V., Feinsinger, P., Mrill Ingram, Inouye, D., Eugene Jones, C. E., Kennedy, K., Kevan, P., Koopowitz, H., Medellin, R., Medellin-Morales, S., Nabhan, G. P. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 12: 8-17.
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 19-31.
- Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R., Oyama, K. 2009. Pollinator-dependent food production in Mexico. *Biological Conservation* 145, 1050-1057.
- ASOCIACION DE PRODUCTORES Y EMPACADORES EXPORTADORES DE AGUACATE DE MICHOACAN A.C. (APEAM). 2012. Sistema de información meteorológica. <http://www.apeamclima.org/historica.php?estacion>
- Augsburger, C. K. 1980. Mass-flowering of a tropical shrub (*Hybanthus prunifolius*): influence on pollinator attraction and movement. *Evolution*, 34, 475-488.
- Atlas of Pollen and Spores of The Florida Everglades. En: http://sofia.usgs.gov/publications/papers/pollen_atlas/table3.html
- Atlas of Pollen of United States Department of Agriculture (USDA). En: <http://pollen.usda.gov/index.htm>.
- Baillieux, P. y A. Scharpe. 1994. Organic farming. Office for Official Publications of the European Communities; Brussels.

- Barsimantov, J. y Navia, J. 2012. Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops?. *Applied Geography*, 32: 844-853.
- Bascompte, J., P. Jordano, C. J. Melián y J. M. Olesen. 2003. The nested assembly of plant animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100:9383–9387.
- Bascompte, J. y Jordano, P. 2006. The structure of plant-animal mutualistic networks. In: Pascual, M. and Dunne, J. (Eds.). *Ecological networks*. Oxford University Press, Oxford, US. Pp: 143-159.
- Bascompte, J. y Jordano, P. 2007. Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38: 567-593.
- Batary, P., Baldi, A., Sarospataki, M., Florian Kohler, F., Verhulst, J., Knop, E., Herzog F., Kleijn, D. 2010. Effect of conservation management on bees and insect-pollinated grassland plant communities in three European countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 136: 35–39.
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P. M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A. P., Potts, S. G., Kleukers, R., Thomas, C. D., Settele, J., W. E. Kunin, W. E. 2006. Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 21: 351-354.
- Bergh, B. O. y Whitsell, R. H. 1974. Self-pollinated Hass seedlings. *California Avocado Society Yearbook*, 73/74: 118-126.
- Bergh, B.O. 1986. *Persea americana*. In: Halevy, A.B. (Ed). *Handbook of Flowering*, Vol. 5. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 253–268.
- Blanche, R., Ludwig, J. A., Cunningham, S. A. 2006. Proximity to rainforest enhances pollination and fruit set in orchards. *Journal of Applied Ecology*, 43: 1182–1187.
- Blazy, J. M. Ozier, H., Dore, T., Thomas, A., Wery, J. 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 10: 30–41.
- Blüthgen, N., Menzel, F., Hovestadt, T., Fiala, B., Blüthgen, N. 2007. Specialization, constraints, and conflicting interests in mutualistic networks. *Current Biology*, 17: 341-346.
- Blüthgen, N., Klein, A. M. 2011. Functional complementarity and specialisation: The role of biodiversity in plant–pollinator interactions. *Basic and Applied Ecology*, 12: 282-291.
- Bradley, B. D., Christodoulou, M., Caspari, C., Di Luca, P. 2002. Integrated crop management systems in the EU. *Agra CEAS Consulting*. European Commission DG Environment. 157 pp.
- Bravo, M., Mendoza, M. E., Carlón, T., Medina, L., Sáenz, J. T., Páez, R. 2012. Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-mexican

volcanic system, México. *Land Degradation & Development*, 24: Breiman L, Friedman J, Olsehn R, Stone C. 1984. Classification and regression trees. Wadsworth International Group.

Breiman L, Friedman J, Olsehn R, Stone C. 1984. Classification and regression trees. Wadsworth International Group.

Bringhurst, R. S. 1951. Influence of grasshouse conditions on flower behavior of Hass and Anaheim avocados. *California Avocado Society Yearbook*, 36: 164-168.

Brittain, C. A., Vighi, M., Bommarco, R., Settele, J., Potts, S. G. 2010. Impacts of pesticides on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology*, 11: 106–115.

Brittain, C., Kremen, C., Klein, A. M. 2013. Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. *Global Change Biology*, 19: 540–547.

Brown, M. W. 1999. Applying principles of community ecology to pest management in orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73:103-106.

Brumfield, R. G., Rimal, A., Reiners, S. 2010. Comparative Cost Analyses of Conventional, Integrated Crop Management, and Organic Methods. *Hortechology*, 10: 785-793.

Bunge, J. y Fitzpatrick, M. 1993. Estimating the number of species: a review. *Journal of the American Statistical Association*, 88: 364-373.

Burgos, A., C. Anaya, I. Solorio. 2011. Impacto ecológico del Cultivo de Aguacate a nivel regional y de parcela en el Estado de Michoacán: Definición de una Tipología de Productores. Informe final a la Fundación Produce Michoacán (FPM) y la AALPAUM. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA/UNAM Campus Morelia). Morelia, Michoacán, 0 pp. + 3 Anexos.

Burkle, L. A., Alarcón, R. 2011. The future of plant–pollinator diversity: Understanding interaction networks across time, space, and global change. *American Journal of Botany*, 98: 528-538.

Cabezas, C., Cuevas, J. 2007. Vectores de polinización del aguacate en el sureste español. *Proceedings World Avocado Congress VI*.

Can, C., Quezada, J. J., Xiu, P., Moo, H., Valdovinos, G. R., Medina, S. 2005. Pollinators of criollo avocados (*Persea americana*) and the behavior of associated bees in subtropical México. *Journal of Apicultural Research*, 44: 3–8.

Cane, J. H. y Tepedino, V. J. 2001. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology*, 5: 1-11.

Carreck, N.L., Williams, I.H., 2002. Food for insect pollinators on farmland: insect visits to flowers of annual seed mixtures. *Journal of Insect Conservation*, 6: 13–23.

Castañeda, A., Equihua, A., Valdés, J., Barrientos, A. F., Ish-Am, G., Gazit, S. 1999. Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 5: 129-136.

Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M. 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114: 343–350.

Catalog of Internet Pollen and Spore Images of University of Arizona. En: <http://www.geo.arizona.edu/palynology/polonweb.html>

Colwell, R. K. 2009. EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Software and User's Guide and application), Versión 7.5 Disponible en <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>

Colwell, R. y Coddington, J. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 345: 110–118.

Conway, G. R. 1985. Agroecosystem analysis. *Agricultural Administration*, 20: 31–55.

Corbet, S. A, Fussell, M., Ake, R., Fraser, A., Gunson, C., Savage, A., Smith, K 1993. Temperature and the pollinating activity of social bees. *Ecological Entomology*, 18: 17–30.

Corbet, S. A., Saville, N. M., Fussell, M., Prys-Jones, O. E., Unwin, D. M. 1995. The competition box: a graphical aid to forecasting pollinator performance. *Journal of Applied Ecology*, 32: 707–19.

Corbet, S. A. Pollination and the weather. *Israel Journal of Botany*, 39: 13–30.

Dag, A., Fetscher, E., Afik, O., Yeselson, Y., Schaffer, A., Kamer, Y., Waser, N. M., Madore, M. A., Arpaia, M. L., Hofshi, R., Shafir, S. 1994. Honey bee (*Apis mellifera*) strains differ in avocado (*Persea americana*) nectar foraging preference. *Apidologie*, 34: 299–309.

Davenport, T. L. 1986. Avocado flowering. *Horticultural Reviews*, 8: 257–289.

Davenport, T. L., Parnitzki, P., Fricke, S: Hughes, M. S. 1994. Evidence and significance of self-pollination of avocados in Florida. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119: 1200–1207.

Davenport, T. L. 1998. What if there is no pollinator? *University of California, Subtropical Fruit News*, 6: 15–17.

Davenport, T. L. 2003. Evidence for wind-mediated, self and cross pollination of Hass avocado trees growing in Mediterranean environments. *Proceedings World Avocado Congress*, V: 221–226.

De Ponti, T., Rijk, B., van Ittersum, M. K. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, 108: 1–9.

Decourtye, A., Mader, E., Desneux, N., 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie* 41: 264–277.

Deplane, K.S. y Mayer, D.F. 2000. *Crop pollination by bees*. CABI Publishing. Cambridge. 253 pp.

- Devoto, M., Bailey, S., Craze, P., Memmott, J. 2010. Understanding and planning ecological restoration of plant–pollinator networks. *Ecology Letters*, 15: 319–328.
- Dormann, C. F., Gruber, B., Fruend, J. 2008. Introducing the bipartite package: Analysing ecological networks. *R News*, 8: 8–11.
- Drinkwater, L. E., Letourneau, D. K., Workneh, F., van Bruggen, A. H. C., Shennan, C. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. *Ecological Applications*, 5: 1098-1112.
- Ebeling, A., Klein, A.M., Schumacher, J., Weisser, W.W., Tschardtke, T., 2008. How does plant richness affect pollinator richness and temporal stability of flower visits? *Oikos*, 117: 1808–1815.
- Ebeling, A., Klein, A. M., Tschardtke, T. 2011. Plant–flower visitor interaction webs: Temporal stability and pollinator specialization increases along an experimental plant diversity gradient. *Basic and Applied Ecology*, 12: 300–309.
- Echánove, H. F. 2008. Abriendo fronteras: el auge exportador del aguacate mexicano a Estados Unidos. *Anales de Geografía*, 1: 9-28.
- Ekroos, J., Piha, M., Tiainen, J. 2008. Role of organic and conventional field boundaries on boreal bumblebees and butterflies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124: 155-159.
- Evans, D. M., Pocock, M. J. O., Brooks, J., Memmott, J. 2011. Seeds in farmland food-webs: Resource importance, distribution and the impacts of farm management. *Biological Conservation*, 144: 2941–2950.
- FAOSTAT. 2012 Producción de alimentos y productos básicos agrícolas www.fao.org/es/ess/top/country.html?lang=es&country=138&year=2012
- Firbank, L. G., Petit, S., Smart, S., Blain, A., Fuller, R. J. 2008. Assessing the Impacts of Agricultural Intensification on Biodiversity: A British Perspective. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 363: 777-787.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Stephen R. Carpenter, S. R., Chapin, F. SCoe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., Snyder, P. K. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* 309: 570-574.
- Fontaine, C., Dajoz I., Meriguet, J., Loreau, M. 2006. Functional Diversity of Plant–Pollinator Interaction Webs Enhances the Persistence of Plant Communities. *PLoS Biol*, 4: 129–135.
- Fontaine, C., Thébault, E., Dajoz, I. 2009. Are insect pollinators more generalist than insect herbivores? *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 3027–3033.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), THE WOLD BANK. 2001. *Farming Systems and Poverty: Improving Farmers Livelihoods in a Changing World*. Hall, M. (Principal Edit), Dixon, J., Gulliver, A., Gibbon E. (Edits). Roma y Washington D. C. 412 pp.

- Fruend, J., Linsenmair, K. E., Bluethgen, N. 2010. Pollinator diversity and specialization in relation to flower diversity. *Oikos*, 119: 1581–1590.
- Gabriel, D. y Tschardtke, T. 2007. Insect pollinated plants benefit from organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 43–48.
- Galindo, M. E., Ogata, N., Arzate, A. 2008. Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55: 441-450.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C., Carvalheiro, L. G., Harder, L. D., Afik, O., Ignasi Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Freitas, B. M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipólito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S. K., Kennedy, C. M., Krewenka, K. M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M. M., Motzke, I., Munyuli, T., Brian A. Nault, B. A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S. G., Rader, R., Ricketts, T. H., Maj Rundlöf, M., Colleen L. Seymour, C. L., Schüepp, C., Szentgyörgyi, H., Taki, H., Tschardtke, T., Vergara, C. H., Vianal, B. F., Wanger, T. C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A. M. 2013. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance, *Science*, 339: 1608-1611.
- Gazit, S. 1976. Pollination and fruit set of avocado. *Proceedings of the First International Tropical Fruit Short Course: The Avocado*: 88-92.
- Gazit, S., Degani, C. 2002. Reproductive Biology. In: Whaley, A. W., Schaffer, B., Wolstenholme, (Eds) *Avocado: Botany, production and uses*. Avocado: Botany, production and uses. CABI Publishing. First Edition. Wallingford, United Kingdom.
- Ghazoul, J. 2005. Response to Steffan-Dewenter et al.: Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 652-653.
- Gibson, R. H., Nelson, I. L., Hopkins, G. W., Memmott, J. 2006. Pollinator webs, plant communities and the conservation of rare plants: arable weeds as a case study. *Journal of applied ecology*, 43: 246-257.
- Gibson, R. H., Pearce, S., Morris, R. J., Symondson, W. O. C., J. Memmott. 2007. Plant diversity and land use under organic and conventional agriculture: a whole-farm approach. *Journal of Applied Ecology*, 44: 792-803.
- Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M. N., Swif, M. J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6: 3-16.
- Gosme, M., Villemandy, M., Bazot, M., Jeuffroy, M. H. 2012. Local and neighbourhood effects of organic and conventional wheat management on aphids, weeds, and foliar diseases. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 161: Pages 121-129.
- Gotlieb, A., Hollender, Y., Mandelik, Y. 2011. Gardening in the desert changes bee communities and pollination network characteristics. *Basic and Applied Ecology*, 12: 310-320.

- Goulson, D. 2003. Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34:1–26.
- Greenleaf, S. S., Kremen, C. 2006. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103:13890–13895.
- Gross, C. L. 2001. The effect of introduced honeybees on native bee visitation and fruit-set in *Dillwynia juniperina* (Fabaceae) in a fragmented ecosystem. *Biological Conservation*, 102: 89–95.
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., Luna, J. M. 2003. Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4: 107–116.
- Gustafson, C. D. y Bergh, B, O. 1966. History and review of studies on cross pollination of avocados. *California avocado Society Yearbook*, 50: 39-49.
- Gutiérrez, M., Lara, B. N., Guillén, H., Chávez, A. T. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*, 35: 647-653.
- Hald, A.B., 1999. Weed vegetation (wild flora) of long established organic versus conventional cereal fields in Denmark. *Annals of Applied Biology*, 134: 307–314.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 41: 9pp.
- Hansen, J. W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural System*, 50: 117-143.
- Heard, T. A. 1999. The role of stingless bees in crop pollination. *Annual Review of Entomology*, 44: 183-206.
- Hegland, S. J., Dunne, J., Nielsend, A., Memmott, J. 2010. How to monitor ecological communities cost-efficiently: The example of plant–pollinator networks. *Biological Conservation*, 143: 2092–2101.
- Herrera, C. M. 1995. Microclimate and individual variation in pollinators: flowering plants are more than their flowers. *Ecology*, 7: 1516-1524.
- Hill, M. O. 1973. Diversity and Evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54: 427-432.
- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J. M., Steffan-Dewenter, I. 2008. *Proceedings the Royal of Society*, 275: 2283-2291.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122: 113–130.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Tschardtke, T. 2008. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos*, 117: 354-361.
- Hudewenz, A., Klein, A. M., Scherber, C., Stanke, L., Tschardtke, T., Vogel, A., Weigelt, A., Weisser, W. W., Ebeling, A. 2012. Herbivore and pollinator responses to grassland management intensity along experimental changes in plant species richness. *Biological Conservation*, 150: 42–52.

- Inouye, D. W. 1980. The Terminology of Floral Larceny. *Ecology*, 61: 1251-1253.
- Isaacs, R., Tuell, J., Fiedler A., Gardiner, M., Landis, D. 2009. Maximizing arthropod-mediated ecosystem services in agricultural landscapes: the role of native plants. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 196–203.
- Ish-Am, G. 1995. Quantitative approach to avocado pollination. *Proceedings of the World Avocado Congress III*: 46-51.
- Ish-Am, G., Barrientos, F., Castañeda, A., Gazit, S. 1999. Avocado (*Persea americana* Mill.) pollinators in its region of origin. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5: 137-143.
- Ish-Am, G. 2004. Avocado pollination basics, a short review. 2° Seminario Internacional de Paltos. Chile.
- Ish-Am, G. y Eisikowitch, D. 1991. New insight into avocado flowering in relation to its pollination. *California Avocado Society Yearbook*, 75: 125–137.
- Ish-Am, G., Eisikowitch D. 1993. The behaviour of honey bees (*Apis mellifera*) visiting avocado (*Persea americana*) flowers and their contribution to its pollination. *Journal of Apicultural Research*, 32:175-186.
- Ish-am, G., y Eisikowitch, D. 1998. Low attractiveness of avocado (*Persea americana* Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 73: 195-204.
- Jackson W., Piper, J. 1989. The necessary marriage between ecology and agriculture. *Ecology*, 70: 1091-1993.
- Jha, S., Vandermeer, J. H. 2010. Impacts of coffee agroforestry management on tropical bee communities. *Biological Conservation*, 143:1423–1431.
- Jiménez, A. y Hortal, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 151–16.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113: 363-375.
- Kaiser, C. N., Memmott, J., Muller, C. B. 2009. Community structure of pollination webs of Mauritian heathland habitats. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 11: 241–254.
- Kearns, C. A., Inouye, D. W. 1993. *Techniques for pollination biologists*. University Press of Colorado, 583 pp.
- Kehinde, T. y Samways, M. J. 2012. Endemic pollinator response to organic vs. conventional farming and landscape context in the Cape Floristic Region biodiversity hotspot. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 146: 162–167.
- Kennedy, C., Lonsdorf, E., Neel, M. Williams, N., Ricketts, T., Winfree, R., Bommarco, R., Brittain, C., Burley, A., Cariveau, D., Carvalho, L., Chacoff, N., Cunningham, S., Danforth, B., Dudenhöffer, J., Elle, E., Gaines, H., Gratton, C., Garibaldi, L., Holzschuh, S., Isaacs, R., Javorek, S., Jha, S., Klein, A., Krewenka, K.,

- Mandelik, Y., Mayfield, M., Morandin, L., Neame, L., Otieno, M., Park, M., Potts, S., Rundlöf, M., Saez, A., Steffan-Dewenter, I., Taki, H., Wilson, J., Viana, B., Westphal, C., Greenleaf, S., Kremen, C. 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology Letters*, 16: 584-599.
- Kevan, P. G. 1977. Blueberry crops in Nova Scotia and New Brunswick: pesticides and crop reductions. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 25: 64.
- Kevan, P. G. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 373-393.
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Tscharntke, T. 2007. Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops. *Biological Sciences*, 1608: 303-313.
- Köbrich, C., Rehman, T., Khan, M. 2003. Typification of farming system for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multivariate analyses in Chile and Pakistan. *Agricultural Systems*, 76: 141-157.
- Koleff, P., Gaston, K. J., Lennon, J. J. 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72: 367-382.
- Kremen, C., N. M. Williams, and R. W. Thorp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, 99: 16812-16816.
- Kremen, C., Williams, N. M., Bugg, R. L., Fay, J. P., Thorp, R. W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*, 7: 1109-1119.
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S., Roulston, T., Dewenter, I. S., Vazquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E., Greenleaf, S. S., Keitt, T., Klein, A., Regetz, J., Ricketts, T. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10: 299-314.
- Kuldna, P., Peterson, K., Poltimea, H., Luig, J. 2009. An application of DPSIR framework to identify issues of pollinator loss. *Ecological Economics*, 69: 32-42.
- Lahav, E., Zamet, D. 1999. Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5: 95-100.
- E. Lahav, E., Lavi, U. 2002. Genetics and Classical Breeding. In: Whaley, A. W., Schaffer, B., Wolstenholme, (Eds) *Avocado: Botany, production and uses*. Avocado: Botany, production and uses. CABI Publishing. First Edition. Wallingford, United Kingdom.
- Lampkin, N., Foster, C., Padel, S., Midmore, P. 1999. The Policy and Regulatory Environment for Organic Farming in Europe. *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*. Commission of the European Communities Hohenheim. 147 pp.

- Lançon, J., Wery, J., Rapidel, B., Angokaye, M., Gérardeaux, E., Gaborel, C., Ballo, D., B., Fadegnon. 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for sustainable development*, 27: 101-110.
- Le Feon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F., Burel, F. 2010. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large-scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137: 143-150.
- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, B., Barrera, G. C., Celedon, J. M. 2005. El cultivo de la palta. Segunda Edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. Chile. 79 pp.
- Lentini, P. E., Martin, T. G., Gibbons, P., Fischer, J., Cunningham, S. A. 2012. Supporting wild pollinators in a temperate agricultural landscape: Maintaining mosaics of natural features and production. *Biological Conservation*, 149: 84–92.
- Lesley, J.W. y Bringham, R.S. 1951. Environmental conditions affecting pollination of avocados. *California Avocado Society Yearbook*, 39:169–173.
- Liow, L. H., Sodhi, N. S., Elmqvist, T. 2001. Bee diversity along a disturbance gradient in tropical lowland forests of south-east Asia. *Journal of Applied Ecology*, 38: 180–192.
- López, H. 2009. Análisis de comunidades vegetales con un enfoque multivariado no paramétrico paso a paso. p. 217-247. En: P. Moreno-Casasola y B. Warner (Eds.), *Breviario para Describir, Observar y Manejar Humedales. RAMSAR-INECOL-CONANP-US Fish and Wildlife Service-US State Department*. Xalapa, Veracruz.
- Lovatt, C. J. 1990. Factors Affecting Fruit Set/Early Fruit Drop in Avocado California *Avocado Society Yearbook*, 74: 193-199.
- Macfadyen, S., Gibson, R., Polaszek, A., Morris, R. J., Craze, P. G., Planque, R., William O.C. Symondson, W. O. C., Memmott, J. 2009. Do differences in food web structure between organic and conventional farms affect the ecosystem service of pest control? *Ecology Letters*, 12: 229–238.
- Mantel, N. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27: 209-220.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277: 504-509.
- Memmot, J. 1999. The structure of plant-pollinator food web. *Ecology letters*, 5: 276-280.
- Memmott, J. 2009. Food Webs: A Ladder for Picking Strawberries or a Practical Tool for Practical Problems? *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 364: 1693-1699.
- Miliczky, E. R., Horton, D. R. 2005. Densities of beneficial arthropods within pear and apple orchards affected by distance from adjacent native habitat and association of natural enemies with extra-orchard host plants. *Biological Control*, 33: 249–259.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, MEA. 2005. Responses to Ecosystem Change and to Their Impacts on Human Well-Being. En: Ecosystems and human well-being. Island Press 86 pp.

Morales, J. G. 2003. Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas: una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico. Primera Edición. México. 52 pp.

Morandin, L. A., Winston, M. L. 2005. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecological Applications*, 15: 871–881.

Moreno, C. E., Halfpeter, G. 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, 38: 487-490.

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., Pavón, N. P. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 1249-1261.

Neumann, P., Carreck, N. L. 2010. Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research*, 49: 1-6.

Nirody, B. A. 1922. Investigations in avocado breeding. California Avocado Society, Yearbook, 1921-22: 65-78.

Núñez, C., Escobedo, D. 2011. Uso correcto del análisis clúster en la caracterización del germoplasma vegetal. *Agronomía mesoamericana*, 22: 415-427.

Organización mundial de la salud, (WHO). 2009. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification. http://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf

Otieno, M., Woodcock, B. A., Wilby, A., Vogiatzakis, I. N., Mauchline, A. L., Gikungu, M. W., Potts, S. G. 2011. Local management and landscape drivers of pollination and biological control services in a Kenyan agro-ecosystem. *Biological Conservation*, 144: 2424-2431.

Pacini, C., Wossink, A. Giesen, G., Vazzana, C., Huirne, R. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems a farm and field scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95: 273–288.

Paoletti, M. G. 1995. Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management. *Landscape and Urban Planning*, 31: 117-128.

Papademetriou, M. K. 1976. Some aspects of the flower behavior, pollination and fruit set of avocado (*Persea Americana* Mill.) in Trinidad. California Avocado Society Yearbook, 60: 106-152.

Patras, A., Brunton, N. P., Downey, G., Rawson, A., Warriner, K., Gernigon, G. 2011. Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24: 250–256.

Pérez-Balam, J., Quezada-Euán, J. J. G., Alfaro-Bates, R., Medina, S., McKendrick, L., Soro, A., Paxton, A. 2012. The contribution of honey bees, flies and wasps to avocado (*Persea americana*) pollination in southern Mexico. *Journal of Pollination Ecology*, 8: 42-47.

Peterson, P. A. 1955. Dual Cycle of Avocado Flowers. Study of the continuous dual opening cycle of the avocado flower shows need of large flying insects for pollination. *California Agriculture*, 9: 6-13.

Peterson, P. A. 1956. Flowering Types in the Avocado with Relation to Fruit Production. *California Avocado Society Yearbook*, 40: 174-179.

Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, A., Brubaker, W., Dumas, A.R., Meaney, J.S., O'Neil, J. A. S., Onsi, D. E., Corzilius, D. B. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *Bioscience*, 432: 354-362.

Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. 2005. Environmental, Energetic and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *Bioscience*, 55: 573-582.

PLAN RECTOR SISTEMA NACIONAL DE AGUACATE (PARA). 2005. Documento validado por el comité sistema productivo aguacate en sesión del 20 de junio de 2005. Uruapan, Michoacán. México.

Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., Willmer, P. 2003. Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84: 2628-2642.

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W. E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25: 345-353.

R Development Core Team. 2005. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Rader, R., Howlett, B. G., Cunningham, S. A., Westcott, D. A., Newstrom-Lloyd, L. E., Walker, M. K., Teulon, D. A. J., Edwards, W. 2009. Alternative pollinator taxa are equally efficient but not as effective as the honeybee in a mass flowering crop. *Journal of Applied Ecology*, 46: 1080-1087.

Robinson, T. R. 1933. Pollination and other production of avocados factors influencing. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 46: 109-114.

Roubik, D. W. 1978. Competitive interactions between neotropical pollinators and Africanized honey bees. *Science*, 201: 1030-1032.

Roubik, D. W. 1981. Comparative foraging behaviour of *Apis mellifera* and *Trigona corvina* (Hymenoptera: Apidae) on *Baltimorarecta* (Compositae). *Revista de Biología Tropical (San Jose)*, 29: 177-184.

Roubik, D. W. 1995. Pollination of cultivated plants in the tropics. Food and agriculture organization of the United Nations, FAO. 195 p.

- Roubik, D. W., Moreno, J. E. 2003. Pollen and Spores of Barro Colorado Island. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. En: <http://www.stri.si.edu/sites/roubik/index.php>
- Rundlo, M., Nilsson, H., Smith, H. G. 2008. Interacting effects of farming practice and landscape context on bumble bees. *Biological conservation*, 141: 417–426.
- Sáenz, C., Guzmán, R.R., Rehfeldt, G. E. 2006. Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, México. Implication for seed zoning conservation tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management*, 229: 340–350.
- SAGARPA. 2008. Plan Rector Sistema Nacional Aguacate. Estadísticas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.sagarpa.gob.mx
- SAGARPA. 2010. Plan Rector Sistema Nacional Aguacate. Estadísticas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.sagarpa.gob.mx
- Scholefield, P. B. 1982. A scanning electron microscope study of flowers of avocado, litchi, macadamia and mango. *Scientia Horticulturae*, 16: 263-272.
- Schroeder, C. A. 1951. Flower bud development in the avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 36: 159-163.
- Scora, R. W., Wolstenholme, B. N., Lavi, U. 2002. Taxonomy and Botany. In: Whiley, A. W., Schaffer, B., Wolstenholme, (Eds) *Avocado: Botany, production and uses*. Avocado: Botany, production and uses. CABI Publishing. First Edition. Wallingford, United Kingdom.
- Sedgley, M. 1987. Flowering pollination and fruit set of avocado. *South African Association Yearbook*, 10. 42-43.
- Smith, E. P. y Van Belle, G. 1984. Nonparametric estimation of species richness. *Biometrics*, 40: 119-129.
- Smouse, P. E., Long, J. C., Sokal, R. S. 1986. Multiple Regression and Correlation Extensions of the Mantel Test of Matrix Correspondence. *Systematic Zoology*, 35: 627-632.
- Spiertz, H. 2010. Food production, crops and sustainability: restoring confidence in science and technology. *Environmental Sustainability*, 2: 439–443.
- Stang, M., Peter G. L. Klinkhamer, P. G. L., van der Meijden, E. 2006. Size constraints and flower abundance determine the number of interactions in a plant/flower visitor web. *Oikos*, 112: 111-121.
- Stanhill, G. 1990. The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 30: 1-26.
- STATSOFT 2010. *STATISTICA (Data analysis software system and computer program manual)*. Versión 10. StatSoft, Inc., Tulsa, OK.

- Steffan-Dewenter, I. S., Potts, S. G., Packer, L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 651-652.
- Storey, W. B., Bergh, B., Zentmyer, G. A. 1986. The Origin, Indigenous Range, and Dissemination of the Avocado. *California Avocado Society, Yearbook 70*: 127-133.
- Stout, A. B. 1923. A study in cross pollination of avocados in southern California. *California Avocado Society, Yearbook, 1922-23*: 29-45.
- Stout, A. B. 1933. The pollination of avocados. University of Florida. Agricultural Experiment Station. Bulletin 257. 44 pp.
- Stout, A. B., Savage, E. M. 1925. The Flower Behavior of Avocados with Special Reference to Interplanting. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 38: 80-91.
- Swift, M.J., Anderson, J.M. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agroecosystems. In: Schultze, E., Mooney, H.A. (Eds.), *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer, New York, pp. 57–83.
- Thomson, D. 2004. Competitive interactions between the invasive European honey bee and native bumble bees. *Ecology*, 85: 458-470.
- Tilman, D. 1998. The greening of the green revolution. *Nature*, 396: 211-212.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polaski, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671-677.
- Tscharntke, T., Vidal, S. 2005. Farming systems and landscape context: effects on biodiversity and biocontrol Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakultät für Agrarwissenschaften de Georg-August-Universität Göttingen vorgelegt von Indra Roschewitz geboren in Stadtoldendorf, Göttingen 152 pp.
- Tuell, J. K., Isaacs, R. 2010. Weather during bloom affects pollination and yield of highbush blueberry. *Journal of Economic Entomology*, 103: 557-562.
- Tylianakis, J. M., Laliberte, E., Nielsen, A., Bascompte, J. 2010. Conservation of species interaction networks. *Biological Conservation*, 143: 2270–2279.
- Van Diepeningen, A. D., de Vos, O. J., Korthals, G. W., van Bruggen, A. H. C. 2006. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, 31: 120–135.
- Vicens, N., Bosch, J. 2000. Weather-dependent pollinator activity in an apple orchard, with special reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae and Apidae). *Environmental Entomology*, 29: 413-420.
- Vithanage, V. 1990. The role of the european honeybee (*Apis mellifera* L.) in avocado pollination. *Journal of Horticultural Science*, 65: 81-86.
- Waser, N. M., Chittka, L., Price, M. V., Williams, N. M., Ollerton, J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, 77: 1043–1060.

- Weiner, C. N., Werner, M., Linsenmair, K. E., Bluethgen, N. 2011. Land use intensity in grasslands: Changes in biodiversity, species composition and specialisation in flower-visitor networks. *Basic and Applied Ecology*, 12: 292-299.
- Westerkamp, C. 1991. Honeybees are poor pollinators - why? *Plant Systematics and Evolution*, 177: 71-75.
- Williams, I. 2002. Insect Pollination and Crop Production: A European Perspective. En: Kevan P & Imperatriz Fonseca VL, Editores. *Pollinating Bees. The Conservation Link Between Agriculture and Nature* Ministry of Environment. Brasília. p. 59-65.
- Wilson, C., Tisdell, C. 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics*, 39: 449-462.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D. P., Lebuhn, G., Aizen, M. 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90; 2068-2076.
- Wolstenholme, B. N. 2002. Ecology: climate and the edaphic environment In: Whiley, A. W., Schaffer, B., Wolstenholme, (Eds) *Avocado: Botany, production and uses*. Avocado: Botany, production and uses. CABI Publishing. First Edition. Wallingford, United Kingdom.
- Wratten, S. D., Gillespie, M., Decourtye, A., Eric Mader, E., Desneux, N. 2012. Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 159: 112- 122.
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., Swinto, S. M. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64: 253-260.