

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE POLINIZACIÓN DE
APIS MELLIFERA L. (HYMENOPTERA: APIDAE) EN EL
CULTIVO DEL AGUACATE (*PERSEA AMERICANA* MILL VAR.
HASS) Y SU APORTE EN LA PRODUCCIÓN. SAN PABLO DE
LEÓN CORTÉS, SAN JOSÉ, COSTA RICA.**

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

Estudiante

Bach. Rosa María Jiménez Masís

Tutor

M.Sc. Luis Alejandro Sánchez Chaves

Asesores

M.Sc. Silvia Elena Berrocal Montero

M.Sc. Alexander Rodríguez Arrieta

Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica, 2016

**EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS DE POLINIZACIÓN DE
APIS MELLIFERA L. (HYMENOPTERA: APIDAE) EN EL
CULTIVO DEL AGUACATE (*PERSEA AMERICANA* MILL VAR.
HASS) Y SU APORTE EN LA PRODUCCIÓN. SAN PABLO DE
LEÓN CORTÉS, SAN JOSÉ, COSTA RICA.**

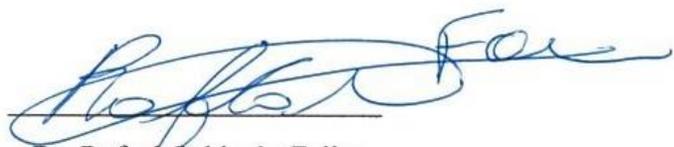
Estudiante

Bach. Rosa María Jiménez Masís

**Trabajo final de graduación de tesis sometida a consideración del
tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el
grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.**

**Trabajo final de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de
Licenciado en Ingeniería Agronómica.**

Tribunal Examinador



Dr. Rafael Calderón Fallas
Representante Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar



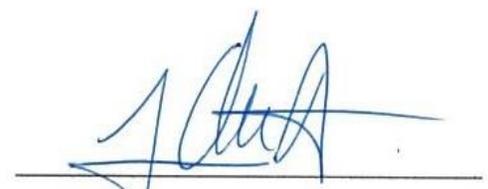
M.Sc. Allan González Herrera
Representante Escuela de Ciencias Agrarias



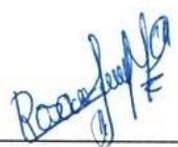
M.Sc. Luis Alejandro Sánchez Chaves
Director de Tesis



M.Sc. Silvia Elena Berrocal Montero
Asesor



M.Sc. Alexander Rodríguez Arrieta
Asesor



Bach. Rosa María Jiménez Masís
Estudiante

DEDICATORIA

A mis padres, por ser la guía que tanto necesito en este largo trayecto que es la vida. Por enseñarme el valor de luchar, de salir adelante y a nunca desistir a pesar de las dificultades, por regalarme su confianza, amor y paciencia. Para ustedes es este logro.

A esos ángeles que tengo en el cielo y que desde allá me cuidan. Vivirán siempre en mi corazón.

Yo soy quien te manda que tengas valor y firmeza. No tengas miedo ni te desanimas porque yo, tu Señor y Dios, estaré donde quiera que vayas (Josué 1:9).

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme concluir una etapa más en mi carrera profesional. La fe en ti fue lo que me mantuvo en pie hasta el final, gracias por tu profundo amor Padre, porque me sostuviste de la mano en momentos de flaqueza y nunca me abandonaste.

A la Cooperativa de Productores Agrícolas y de Servicios Múltiples de la Zona de Los Santos (APACOOOP), por facilitarme el huerto para poder realizar mis ensayos. Agradezco especialmente a Don Carlos, Liliana, Don Emilio y Basilio por la amabilidad, atención y ayuda brindada durante el tiempo que acudí a la zona.

A mi tutor, M.Sc. Luis Sánchez Chaves por su guía, sus sabios consejos y empeño puesto para que todo saliera de la mejor manera en este trabajo. A mi lectora, la M.Sc. Silvia Elena Berrocal Montero, excelente profesional y a quien considero una gran amiga, gracias por todas las observaciones y aportes hechos a esta investigación. A mi lector, el M.Sc. Alexander Rodríguez Arrieta, por su firmeza, seguimiento constante de mi trabajo, empeño, atenciones tomadas para con mi persona y por su valiosa ayuda en la identificación de dípteros. A los tres les estaré eternamente agradecida.

A don William Mora, de la Empresa Eco-miel, por facilitarme las colmenas de abejas y su colaboración en la instalación y retiro de las mismas. Sin su apoyo no hubiese podido llevar a cabo este trabajo.

Al Biólogo Ángel Solís y al M.Sc. Ronald Zúñiga, del INBIO por su colaboración en la identificación de coleópteros e himenópteros. Al M.Sc. Eduardo Herrera del CINAT por la identificación de meliponinos. A la M.Sc. Rosalía Rodríguez Porras, del Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional, por su ayuda en la identificación de hemípteros y al PhD. Eduardo Salas Alvarado por su colaboración en la interpretación de los datos y en el análisis estadístico.

A la familia Sequeira Monge, por acogerme en su hogar durante el tiempo de elaboración de este documento, los aprecio y doy gracias a Dios por bendecirme con su amistad y cariño, por poner ángeles en la tierra así como lo son ustedes. Les quiero muchísimo.

A Johan, por su compañía, sostén, por regalarme esas palabras de aliento que tanto necesitaba cuando sentía que no podía más. Gracias por todo el amor, paciencia, comprensión, dedicación y ayuda. Por colaborar en los muestreos y en la edición del documento, por trasnochar conmigo y por estar ahí en los momentos difíciles.

A mi familia, sin ellos no hubiera podido seguir adelante. A mis padres por la confianza depositada en mí, por la paciencia y consideración que me tuvieron. Les agradezco tanto la educación que me dieron y me mantengo orgullosa de mis raíces, las cuales prometo no olvidar.

A mi gran amigo, el PhD. Roger Muñoz, por sus valiosos consejos, por ser una persona especial y por regalarme tantas enseñanzas. Agradezco su sincera amistad, alabo su bondad y carisma. Siempre le recordaré y llevaré muy presente en mi corazón.

A todas esas personas que de una u otra manera fueron partícipes de este trabajo, les doy gracias infinitas, porque sin ustedes no habría logrado mi meta. A todos aquellos, quienes me tuvieron presentes en sus oraciones y que estuvieron a mi lado, que Dios les bendiga eternamente.

RESUMEN

Esta investigación se realizó en San Pablo de León Cortés, en la finca perteneciente a la cooperativa APACCOOP. Se evaluó el efecto de las visitas de *Apis mellifera* introducida mediante colmenas, en la producción del cultivo de aguacate variedad Hass. Se seleccionaron diez árboles al azar y en cada uno de ellos se marcaron dos ramas; una rama para valorar el comportamiento de la polinización abierta durante la floración en estación seca y la otra rama, utilizada posteriormente en estación lluviosa, para evaluar el número de visitas, preferencias de recursos florales recolectados por la abeja melífera en las flores de aguacate; así como el cuaje, número y peso de frutos. Las últimas tres variables mencionadas anteriormente, también fueron valoradas en el ensayo de polinización abierta, durante la estación seca. Asimismo, se eligieron seis árboles más y en cada uno de ellos una rama, las cuales se aislaron de todo tipo de polinizador con el fin de evaluar la autopolinización. Se realizó un muestreo de visitantes florales silvestres del cultivo que pudiesen tener un importante papel ecosistémico en los servicios de polinización natural. Los principales visitantes florales fueron los dípteros de las familias Sarcophagidae y Tachinidae; los himenópteros *Agelaia areata*, abejas meliponinas de varias especies y *Apis mellifera* y coleópteros de la familia Mordellidae. La abeja melífera destinó 97% y 3% de sus visitas a la recolecta de néctar y néctar+polen respectivamente. No se observaron abejas recolectando exclusivamente polen. El mayor número de visitas a las flores se presentó entre las 15:00-16:00 h, con un promedio de 0.41/individuos/rama/min. El cuaje inicial, en estación seca, para polinización abierta fue de 0.40%, mientras que en estación lluviosa, este fue de 1.47% cuando se introdujeron abejas melíferas y de 0.12% en las ramas testigo, es decir, el cuaje con abejas melíferas fue doce veces mayor que la autopolinización. El cuaje final en polinización abierta fue de 0.13% y los frutos alcanzaron un peso promedio de 15 g; para los testigos el cuaje final fue muy bajo, de 0.01% y no se obtuvieron valores de peso significativos; con la polinización por abejas melíferas, el cuaje final fue de 0.04% y se percibió un incremento en el peso de los frutos, los cuales alcanzaron 181 g/unidad en promedio, que implica un resultado promisorio del papel de *A. mellifera* en la producción del cultivo, si se compara con los testigos.

ABSTRACT

This research was conducted in San Pablo de León Cortés in a farm belongs to the APACOOOP cooperative. A study was conducted on the effect of visits of introduced *Apis mellifera* beehives in a crop production plantation of the Hass avocado variety. Ten trees were randomly selected and on each one of them two branches were marked. One branch was to evaluate the behavior of open pollination on flowers during the dry season. The other branch was later used in the rainy season to evaluate the number of visits and the preferences of floral resources collected by honey bees; as well as the fruit set, quantity and weight of the harvested fruits. The last three variables previously mentioned were also evaluated during open pollination in the dry season. In addition, six more trees were chosen and on each one of them one branch was isolated from all types of pollinators in order to evaluate the self-pollination. Registering wild insect visitors conducted an evaluation about the value of ecosystem services in the natural pollination of the crop. The main floral visitors were Diptera with two families Sarcophagidae and Tachinidae, and the Hymenoptera wasp *Agelaia areata*, Meliponine bees of several species and *Apis mellifera*, also members of Coleoptera, Mordellidae family. Respect to the preferences of honey bees they collected 97% of nectar and 3% of nectar and pollen. No bees were observed exclusively collecting pollen. The greatest number of visits to the flowers occurred between 15:00-16:00 hrs, with an average of 0.41/ individuals/ branch /min. The initial fruit set, in dry season, during open pollination was 0.40%; meanwhile in rainy season, it was 1.47% when honey bees were introduced and 0.12% in control branches; therefore, fruit set with the honey bees were twelve times greater than the self-pollination. The final fruit set in open pollination was 0.13% and the fruits reached an average weight of 15 g; according to controls the final fruit set was very low with 0.01% and no significant weight values were obtained. The pollination by honey bees had a final fruit set of 0.04% resulting in an increase of the fruit weight, which they reached 181 g/ average unit. This implicates a promising result of the role of *Apis mellifera* in crop production of avocado in comparison to controls.

ÍNDICE

Contenido

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
General.....	4
Específicos.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Situación actual del aguacate en el mercado nacional.	5
2.2 Antecedentes de la especie.	6
2.2.1 Generalidades.....	6
2.2.2 Características del cultivar Hass.....	8
2.2.3 Problemas productivos de la especie.	8
2.2.4 Morfología floral.	10
2.2.5 Influencia de la temperatura en la apertura floral.....	13
2.3 La polinización.	14
2.3.1 Definición.....	14
2.3.2 Polinización en el cultivo de aguacate.....	14
2.3.3 Factores que afectan la polinización.....	15
2.3.4 Tipos de polinización.....	16
2.3.5 Agentes polinizantes.....	17
2.4 La abeja melífera.	18

2.4.1	Generalidades.....	18
2.4.2	Comportamiento recolector de <i>Apis mellifera</i>	18
2.4.3	Condiciones ambientales que intervienen en la disponibilidad de recursos florales y en la actividad de pecoreo.....	20
2.4.4	El uso de la abeja melífera en el cultivo de aguacate.....	21
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1	Descripción de la finca experimental.....	23
3.1.1	Ubicación y caracterización del sitio de estudio.....	23
3.1.2	Detalles del huerto experimental.....	24
3.1.3	Selección del material vegetal utilizado.....	24
3.1.4	Ubicación, distribución y tiempo de ingreso de las colmenas de <i>Apis mellifera</i>	26
3.2	Ensayos realizados.....	27
3.2.1	Conteo del número de flores.....	27
3.2.2	Calendario de floración para la zona.....	27
3.2.3	Recolecta e identificación de los visitantes florales silvestres del aguacate (<i>Persea americana</i> Mill var. Hass).....	28
3.2.4	Evaluación de la preferencia de recursos florales de <i>A. mellifera</i>	29
3.2.5	Evaluación del desempeño de <i>A. mellifera</i> como visitante floral del aguacate.....	30
3.2.6	Porcentaje de cuaje, cantidad, peso y calibre de frutos.....	30
3.3	Estadística.....	31
3.3.1	Diseño experimental y análisis descriptivo.....	31
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1	Principales visitantes florales silvestres del aguacate.....	32
4.1.1	Hymenoptera.....	34
4.1.2	Diptera.....	36

4.1.3	Coleoptera.....	38
4.1.4	Hemiptera.	39
4.2	Recursos recolectados por <i>Apis mellifera</i> durante su visita a las flores del aguacate.....	40
4.2.1	Pecoreo de néctar y néctar+polen.....	40
4.2.2	Posibles factores incidentales en la recolecta de los recursos florales.	43
4.2.3	Aportes a la polinización de aguacate según la preferencia de recursos florales... ..	47
4.2.4	Factores climáticos asociados al momento de pecoreo de recursos.....	48
4.3	Actividad de la abeja melífera en las ramas en floración.	50
4.3.1	Visitas totales en los días de muestreo.....	50
4.3.2	Número promedio de abejas/rama/min.....	52
4.3.3	Influencia de las condiciones ambientales sobre el número de abejas.	56
4.3.4	Otros aspectos que pudieron intervenir en el desempeño de <i>A. mellifera</i>	64
4.4	Efecto de las visitas de <i>Apis mellifera</i> sobre la producción en el cultivo de aguacate.....	66
4.4.1	Porcentaje de cuaje.....	66
4.4.2	Porcentaje de cuaje final, frutos cosechados y frutos caídos.....	75
4.4.3	Peso de frutos cosechados.	78
5	CONCLUSIONES.....	83
6	RECOMENDACIONES.....	84
7	LITERATURA CITADA	85
8	ANEXOS	99

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.

Lista de insectos recolectados durante el período de floración del aguacate variedad Hass, en los meses de febrero y agosto de 2014. Huerto experimental de APACOOOP, San Pablo de León Cortés. 33

Cuadro 2.

Síntesis de la información generada a partir del cálculo de abejas/min bajo diversos supuestos, basado en datos de campo. 53

Cuadro 3.

Porcentaje de cuaje inicial, del aguacate variedad Hass, para cada ensayo de polinización. 68

Cuadro 4.

Porcentaje de cuaje final, del aguacate variedad Hass, para cada ensayo de polinización. . 75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.

Morfología de una flor femenina (A) y masculina (B), en el cultivo de aguacate variedad Hass. Fotografías tomadas en el huerto experimental de APACOOOP, San Pablo, León Cortés. Septiembre, 2014. 10

Figura 2.

A) Estado femenino. El estigma se encuentra receptivo y con anteras no dehiscentes. B) Estado masculino. El estigma no se encuentra receptivo, pero los estambres tienen las anteras dehiscentes. (Ilustración realizada por Mc. Gregor, 1976 y tomada de Apablaza, 1981). 12

Figura 3.

Ubicación de la zona de estudio. (Tomado de Google Earth, 2015). 23

Figura 4.

Ramas seleccionadas para los distintos ensayos. A) Polinización abierta. B) Polinización con *Apis mellifera*. C) Testigos. 25

Figura 5.

Ubicación de los árboles seleccionados y de las colmenas en el huerto experimental. 26

Figura 6.

Métodos de captura de visitantes florales del aguacate. 28

Figura 7.

Número total de abejas melíferas registradas en las ramas seleccionadas, según recurso floral recolectado y hora de muestreo. 41

Figura 8.

Número promedio de abejas/rama/min, de acuerdo al tipo de recurso floral pecoreado y según horarios de muestreo. 42

Figura 9.

Pecoreo de la abeja melífera sobre una flor semi-cerrada de aguacate. 43

Figura 10.

A) *Hypochoeris radicata*. B) *Bidens pilosa*. En ambas imágenes obsérvese la carga de polen en las patas traseras de la abeja, señalada con la flecha de color rojo. 46

Figura 11.

Datos promedios de temperatura, humedad, radiación solar y precipitación para la semana del 14-20 septiembre del 2014. Estación meteorológica APACOOOP. 49

Figura 12.

Recuento del total de visitas realizadas por la abeja melífera en las ramas seleccionadas, posterior al ingreso de las colmenas y según horario de muestreo..... 50

Figura 13.

Promedio de visitas en términos del número de abejas/rama/min, para los distintos períodos de observación. 52

Figura 14.

Cantidad de abejas melíferas que se registraron visitando las flores, durante las cuatro fechas de muestreo y clasificadas de acuerdo a los períodos de observación. 57

Figura 15.

Comportamiento de la temperatura, viento y radiación solar, durante el día 15 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP. 58

Figura 16.

Comportamiento de la temperatura, viento, radiación solar y precipitación, durante el día 16 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP..... 58

Figura 17.

Comportamiento de la temperatura, viento, radiación solar y precipitación, durante el día 21 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP..... 59

Figura 18.

Comportamiento de la temperatura, viento y radiación solar, durante el día 27 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP. 59

Figura 19.

Apis mellifera en estado de inactividad por las bajas temperaturas características de San Pablo de León Cortés..... 62

Figura 20.

Área alrededor de las colmenas cubierta por la maleza *B. pilosa* en estado de floración. ... 65

Figura 21.

Porcentaje de cuaje promedio/rama, obtenido en los distintos ensayos realizados durante la floración en la estación lluviosa y el comportamiento del cuaje durante la estación seca. San Pablo, León Cortés. 67

Figura 22.

Presencia simultánea de flor femenina (izquierda) y masculina (derecha), en una panícula de aguacate. 70

Figura 23.

Comportamiento de la caída de fruta en ramas seleccionadas, al mes post floración y hasta su cosecha. A) Polinización abierta (Marzo-Diciembre, 2014) B) Autopolinización (Septiembre, 2014-Agosto, 2015) C) Polinización con *Apis mellifera* (Octubre, 2014-Agosto, 2015). 76

Figura 24.

Peso promedio/fruto (en gramos) para el ensayo de polinización con la abeja melífera y comportamiento del peso de frutos autopolinizados y provenientes de polinización abierta. 79

Figura 25.

A) Frutos de polinización abierta, B) Fruto de autopolinización y C) Fruto del ensayo de polinización con la abeja melífera. 80

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1.

Ubicación de los árboles seleccionados para el ensayo según los puntos tomados con GPS.
..... 99

ANEXO 2.

Registro del conteo de número de flores, frutos cuajados y porcentaje de cuaje para cada una de las ramas seleccionadas en los distintos tratamientos..... 100

ANEXO 3.

Calendario de floración del aguacate variedad Hass, para la zona de San Pablo de León Cortés. Período Julio 2013-Febrero 2016..... 101

ANEXO 4.

Registro de la actividad de *A. mellifera* en la recolección de recursos florales del aguacate.
..... 102

ANEXO 5.

Control de visitas de *A. mellifera* a las flores del aguacate en las ramas seleccionadas, para los períodos de muestreo establecidos..... 103

ANEXO 6.

Control de caída de frutos en ramas marcadas para ensayo de polinización abierta. Marzo-Diciembre, 2014. 104

ANEXO 7.

Control de caída de frutos en ramas marcadas para ensayo de polinización con *Apis mellifera*. Octubre, 2014- Agosto, 2015. 104

ANEXO 8.

Control caída de frutos en ramas marcadas para los testigos. Septiembre, 2014 - Agosto, 2015. 105

ANEXO 9.

Porcentajes de cuaje final/rama promedio obtenido en los distintos ensayos..... 105

ANEXO 10.

Peso de los frutos cosechados..... 106

ANEXO 11.

Himenóptero *Agelaia areata* capturado durante los muestreos de visitantes florales del aguacate en APACOOOP..... 107

ANEXO 12.

Meliponinos colectados en el cultivo de aguacate..... 107

ANEXO 13.

Ejemplares de dípteros perteneciente a la familia Sarcophagidae y Tachinidae, recolectados en la finca experimental de APACOOOP. 108

ANEXO 14.

Coleóptero de la familia Mordellidae recolectado en APACOOOP. 108

ANEXO 15.

Cálculo del número aproximado de abejas/árbol/minuto, obtenido bajo diversas suposiciones tomando como referencia los datos de campo..... 109

ANEXO 16.

Datos promedio de temperatura, humedad y viento, durante los ensayos de autopolinización en el mes de agosto, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP..... 110

ANEXO 17.

Datos promedio de temperatura, humedad y viento, durante los ensayos de polinización con abejas melíferas en el mes de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP. 110

ANEXO 18.

Datos promedio de temperatura, humedad y viento, durante la estación seca (febrero, 2014) para el ensayo de polinización abierta. Estación meteorológica de APACOOOP..... 111

1 INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill) es originario de las partes altas del centro y del este de México, así como también de zonas altas de Guatemala. Este árbol pertenece a la familia Lauraceae, por lo general se hace mención a tres tipos de razas: mexicana, guatemalteca y antillana y su consumo data de 10 000 años A.C. (Sánchez *et al.* 2001; Elizondo 2010).

Esta especie presenta un comportamiento floral muy particular relacionado con su biología reproductiva conocida como dicogamia protogínea, e implica la presencia de estructuras femeninas y masculinas dentro de la misma flor, que maduran en distinto momento, es decir el pistilo madura antes que los estambres (Yarita 2008). Los cultivares de aguacate se han clasificado en dos grupos de acuerdo a su ciclo floral; los del tipo A (cultivares Hass) se caracterizan porque se manifiestan como femeninos en la mañana y los del tipo B (cultivares Zutano, Edranol, Ettinger) cuya estructura femenina se presenta activa en la tarde (Cabezas *et al.* 2002; Yarita 2008; Pesante 2011).

El proceso de polinización conduce a la fertilización y por ende determina el éxito en la formación de fruta, en gran cantidad de cultivos (Vithanage 1990). En el caso del aguacate existen dos aspectos que pueden limitar seriamente la formación de fruta: el fenómeno de dicogamia protogínea que influye en el tipo de polinización requerida por esta especie y la presencia de patrones de floración A y B (Bergh 1969; Vithanage 1990).

Según investigaciones realizadas por Ish-Am *et al.* (1999), el aguacate aún en su centro de origen necesita de la polinización entomófila y las abejas silvestres funcionan como eficientes polinizadores. Por otro lado, varios autores enfatizan en que las abejas melíferas son el principal agente polinizante del aguacate, desechando la posibilidad que sea efectuada por el viento o gravedad (Vithanage 1990; Avilán y Rodríguez 1995; Ish-Am y Eisikowitch 1998; Castañeda 2000).

La abeja *Apis mellifera* juega un papel importante en la polinización de cultivos agrícolas, especialmente en especies frutales, los cuales tienen una gran dependencia de la actividad de abejas, para obtener frutos de buena calidad y altos rendimientos (Rallo, citado por Castillo 2002). En *Persea americana*, se ha visto que se requiere de la visita de un

polinizador para obtener buenos rendimientos, e incluso se ha encontrado que el número de cuajes aumenta cuando cinco a diez abejas melíferas visitan cada flor (Wysoki *et al.* 2002).

A nivel mundial, México es el principal productor de aguacate, seguido por Chile y Perú (Mena 2015). En el 2014, México produjo más de un millón de toneladas de esta fruta, lo que representa el 50% de la producción mundial que osciló en 2,1 millones de toneladas (González 2015). Según datos al año 2015, Costa Rica cuenta con un total de 2 970 hectáreas sembradas con este cultivo, a través de las cuales se obtienen alrededor de 12 474 toneladas métricas anuales de aguacate Hass y criollo, estimando un promedio nacional de 4.2 t/ha (Mena 2015). Resalta la participación de toda la región conocida como Zona de los Santos, con un 67% del área total (MEIC 2015) y en ella los cantones de León Cortés, Dota y Tarrazú con un 50%, 18% y 10% respectivamente (Mena 2015). Pero esta producción abastece solamente el 10% de la demanda nacional, por lo que el restante 90% proviene del extranjero, así lo evidencian las importaciones del período abril 2014-marzo 2015, que fueron en promedio de unas 12 000 toneladas de aguacate, lo que se traduce en 21 millones de dólares, la mayoría proveniente de México, seguido de Nicaragua y con algunas aportaciones de Guatemala, Colombia y Perú (MEIC 2015). Esta situación deja en evidencia que los rendimientos del cultivo en nuestro país, no son suficientes para cubrir la demanda interna del producto, por lo que sería conveniente buscar alternativas que mejoren no sólo los rendimientos, sino también la calidad del fruto.

En el cultivo de aguacate se hace uso de gran cantidad de agroquímicos para el control de plagas y las poblaciones de polinizadores naturales pueden verse afectadas, disminuyendo su actividad y beneficios al cultivo (Villamil 2014). Debido a esto, el uso de colmenas de abejas *A. mellifera* podría presentarse como una opción siempre y cuando no se les exponga a los agroquímicos. Estas abejas se pueden adquirir en el mercado local, son accesibles de manejar y se adaptan a las condiciones de los cultivos con ciertos cuidados, por cuanto desde hace aproximadamente 25 años se han empleado para la polinización comercial en cultivos de exportación como frutas, especialmente melón y sandía (Arce *et al.* 2001) y en la producción de ornamentales (Sánchez *et al.* 2002), como es el caso de plantas del género

Coleus sp. (Sánchez 2016¹). El uso de colmenas va en aumento día con día, por los buenos resultados que se han obtenido (Villota 1999).

Por todo lo anterior, en este trabajo se estudió el efecto que promueve la visitación de *A. mellifera*, sobre la producción en el cultivo de aguacate variedad Hass, ubicado en la principal zona productora en Costa Rica, como lo es el distrito de León Cortés (Zona de los Santos). Mediante esta investigación se evaluaron aspectos como el cuaje, la cantidad y peso de los frutos, para determinar el aporte realizado por la abeja melífera mediante la introducción de colmenas en la finca productora.

¹ Sánchez, LA. 17 jul. 2016. Uso de *Apis mellifera* en la producción de plantas ornamentales (correo electrónico). Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional.

OBJETIVOS

General.

Determinar el efecto de la visitación floral de *Apis mellifera*, sobre la producción en el cultivo de aguacate, mediante la evaluación de aspectos de cuaje, cantidad y peso de los frutos, al introducir colmenas en el huerto experimental.

Específicos.

1. Asociar la fenología de floración del aguacate con los principales insectos visitantes florales silvestres y que estos puedan asociarse con la polinización del cultivo.
2. Determinar el tipo de comportamiento que exhibe la abeja melífera en las flores del aguacate de acuerdo a la preferencia de recursos según sea este néctar o polen.
3. Evaluar el desempeño de la abeja melífera como agente visitador en condiciones naturales durante la floración del aguacate, considerando el número de individuos que visitan las flores del cultivo.
4. Cuantificar el aporte que brinda la abeja melífera en el porcentaje de cuaje, cantidad y peso de frutos del aguacate, según la exposición de las flores a la visitación de estos insectos.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual del aguacate en el mercado nacional.

Desde mayo de 2015, en Costa Rica se aplicó la restricción a la importación de aguacate Hass proveniente de Australia, España, Ghana, Guatemala, Israel, México, Sudáfrica, Venezuela y el Estado de Florida (en Estados Unidos de América), debido al riesgo fitosanitario por la presencia del Sunblotch o mancha de sol, que ocasiona una disminución en la producción y frutos de escaso valor comercial, además de un severo daño en hojas y frutos, que le resta vigor a los árboles y por ende afecta la calidad (MEIC 2015; Mena 2015). De las 16 000 toneladas anuales de Hass que se consumen en el país, 12 000 provienen de México, el cual se ha visto afectado por la restricción impuesta (MEIC 2015; Mena 2015). Para abastecer la demanda de este producto, el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE) procedió a tramitar permisos de importación de aguacate desde Perú, Nicaragua, Chile y Panamá (Barquero 2015).

Este cierre ha ocasionado efectos negativos a los consumidores, puesto que se ha registrado un alza en el precio de hasta 90% con respecto a lo que se pagaba en el año 2015 y los costos de importación también han aumentado en un 41% durante el primer trimestre del 2016 con respecto al mismo período de 2015. A esto se suma el contrabando de aguacate mexicano que originalmente tendría que ser vendido en Panamá, pero se está introduciendo al país de manera ilegal (Madriral 2016; Mena 2016).

Para poder cubrir la demanda de Hass, se estima que deberían ser cultivados alrededor de dos millones de árboles, lo que le tomaría al país aproximadamente cerca de 20 a 30 años. Aunque esta variedad ya se encuentra en la Zona de los Santos, la producción no es suficiente para suplir la demanda nacional y a pesar que también se siembran variedades criollas, éstos presentan características de calidad y producción diferentes a las del Hass y que hacen difícil que funcione como un sustituto (Arias 2015).

2.2 Antecedentes de la especie.

2.2.1 Generalidades.

El aguacate (*Persea americana* Mill.), es un árbol perteneciente a la familia Lauraceae, originario de Mesoamérica e incluye hábitats desde el nivel del mar hasta más de 3 000 msnm, por lo que cubre una gran variedad de climas y tipos de suelo, dando como resultado el surgimiento de una diversidad genética y adaptabilidad. Se ha introducido en varias partes del mundo, como África del Sur, Israel, Chile, Australia y Estados Unidos, en donde se han realizado mejoras genéticas (Cerdas *et al.* 2006).

Esta especie presenta mucha variación fenológica, ya que cuenta con características diversas como árboles de gran tamaño, presencia de crecimiento vegetativo al mismo tiempo en que se presenta la floración, altos niveles de floración (irregular y prolongada), bajos porcentajes de cuaje y semilla muy grande (Granados 2013). Por ser nativo de América Central, lugar donde existen zonas selváticas, las diferentes especies han debido competir por luz y espacio, alcanzando fácilmente los 12 metros de altura, por lo que se dice que está genéticamente determinada para crecer continuamente (Lemus *et al.* 2010).

Las distintas variedades que actualmente se conocen, han sido producidas a partir de hibridaciones de distintos materiales trasladados desde su centro de origen, las cuales pueden agruparse de acuerdo a su altura, época de floración y recolección, peso, forma, tamaño, corteza y contenido de aceite del fruto, color y olor del follaje, forma de los pedúnculos, resistencia al frío y grupo floral (A y B) (Alfonso 2008; Lemus *et al.* 2010). De acuerdo a las características anteriormente citadas, los distintos tipos de aguacate pueden agruparse en tres razas principales: mexicana, guatemalteca y antillana. A continuación se presenta la descripción de cada una de ellas según Alfonso (2008) y MINAGRI (2015):

- a) ***Persea americana* var. *drymifolia*, aguacate mexicano.** Oriunda de los valles y altiplanos de México Central, con clima subtropical a templado y alturas de 1 500 hasta más de 2 000 msnm. Sus hojas son más pequeñas que las otras dos razas y poseen glándulas, cuyo contenido es una esencia con olor parecido al anís. Los frutos son relativamente pequeños, aunque algunas variedades alcanzan un peso promedio

de 350 g. Cuando éstos maduran, adquieren un color violáceo que posteriormente se convierte en morado oscuro. La cáscara es delgada, suave y quebradiza. La pulpa tiene un contenido de grasa entre 10 a 25%, que en su madurez tiene un sabor de nuez.

- b) ***Persea nubigena* var. *guatemalensis*, aguacate guatemalteco.** Es originaria del Centro-Occidente de Guatemala, con alturas entre 1 000 y 2 000 msnm. Los frutos tienen cáscara gruesa, dura y rugosa, resistente al transporte. Cuando maduran presentan distintos tamaños según las variedades, siendo unos muy pequeños y otros relativamente grandes. Su color verde se va perdiendo y aparecen unos pequeños puntos de aspecto corchoso conforme avanza la maduración. La pulpa es un poco fibrosa con alto contenido de grasa (18-20%), que en la madurez alcanza un sabor similar a la mantequilla. La semilla es de gran tamaño e incluso suele llenar toda la cavidad que la contiene.
- c) ***Persea americana* Mill. var. *americana*, aguacate antillano.** Procedente de la costa del Pacífico de Chiapas (México), Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, ubicada en alturas menores a 1 000 msnm. Los frutos maduros pueden alcanzar un peso que sobrepasa los 400 g. La cáscara es suave al tacto, flexible y de grosor mediano. A medida que avanza la maduración, el fruto cambia de color verde brillante a verde opaco.

Las razas mexicana y guatemalteca se originaron en México y Guatemala y la antillana en el sur de México y en Centroamérica, también algunos científicos proponen una cuarta raza, la costaricensis. La domesticación del aguacate se realizó en Mesoamérica y posiblemente por el intercambio entre civilizaciones nativas se distribuyó y adaptó a Centroamérica, llegando luego a países como Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (MINAGRI 2015).

2.2.2 Características del cultivar Hass.

La variedad Hass es un híbrido de la raza guatemalteca y mexicana, es decir, posee 95% de las características de la primera y solamente un 5% de la segunda. Fue obtenida mediante la semilla de una planta guatemalteca en California, Estados Unidos y la patentó Rudolph Hass en 1935 (Lemus *et al.* 2010).

Su fruto es autofértil, pero se obtienen mejores resultados polinizándolo con las variedades Fuerte y Ettinger. Estos poseen forma variable que puede ser entre piriforme y ovoide, llegan a alcanzar un peso entre los 150 a 300 g y logran permanecer largo tiempo en el árbol sin sufrir alteraciones; además tienen piel gruesa, la cual se oscurece en la madurez y toma un color violáceo. La pulpa posee un sabor exquisito, es cremosa, carece de fibras y posee un alto porcentaje de aceite. El árbol es grande y presenta un crecimiento inicial de lento a moderadamente agresivo, el cual está influido por la radiación solar, la copa es achaparrada y muy productiva en los tercios medio e inferior, principalmente bajo adecuadas condiciones ecológicas (Amórtegui 2001; Alfonso 2008; Cardemil *et al.* 2008).

2.2.3 Problemas productivos de la especie.

El aguacate presenta problemas de productividad, asociados principalmente a una insuficiente formación de flores, a fallas en la polinización y el cuaje. Muchas veces estos problemas tienen origen genético, pero a veces dependen de condiciones climáticas desfavorables para la apertura floral y para la actividad de los insectos polinizadores, baja eficiencia en el traslado de polen desde la variedad polinizante y la presencia de flores más atractivas que el aguacate en huertos vecinos (Razeto 1987; Lovatt 1997).

Razeto (2000), enumera una serie de características presentes en este árbol, que permiten visualizar más claramente la naturaleza del problema productivo. La primera es que el aguacate es un árbol de gran tamaño y de copa abierta, que no permite la plantación en alta densidad y cuando son adultos suelen presentar el interior muy sombreado, por lo tanto termina produciendo fruta de menor tamaño y solo lo hace en la parte exterior de la copa. Otra característica es la baja eficiencia de la floración, puesto que la proporción de flores que se transforman en frutos que llegan a cosecha es muy baja, es decir, que por cada 1 000 flores

solamente una se convierte en fruto. El excesivo número de flores se deriva de la dificultad que presentan éstas para cuajar y convertirse en frutos. A lo anterior, se suma la caída de frutos recién cuajados, donde una alta proporción de ellos caen en las primeras semanas después de la floración y corresponden a frutos cuyos óvulos no lograron ser fecundados. También posee una fructificación de alto costo energético, que implica la acumulación de aceite durante el proceso de maduración en el árbol, contrario de lo que ocurre en la mayoría de los árboles, que acumulan azúcares y almidón, trayendo consigo un mayor gasto de energía correspondiente a los asimilados de la fotosíntesis foliar. Por último y no menos importante, Razeto (2000), menciona que esta especie tiene una tendencia al añerismo, es decir, va alternando un año de alta producción con uno de baja producción. En el caso de Hass, este fenómeno se presenta por árboles individuales, donde aproximadamente el 50% del huerto produce mucho un año y al siguiente poco o nada, mientras que el restante 50% del huerto lleva ritmo opuesto.

A pesar que esta especie produce muchas flores (alrededor de 1.6 millones), solamente el 0.001% de ellas llega a cuajar en fruto (Sedgley, citado por Araya 1996). Cossio *et al.* (2007), encontraron una gran variabilidad en el número de flores en árboles de la raza guatemalteca, que oscila entre 1.1 a 2.3 millones y de estas únicamente el 0.015% lograron llegar a cosecha.

Según Razeto (2000), los bajos rendimientos del aguacate en Chile se deben principalmente al añerismo y a la falta de producción. De acuerdo con Paz-Vega, citado por Adriazola (2007), la alternancia se debe a un déficit de carbohidratos debido al gran uso que se hace de estos durante la floración, el crecimiento y la producción de fruta. La carga frutal sería la principal causante de la disminución en la reserva de carbohidratos, trayendo consigo una baja floración y un gran desarrollo vegetativo. Lo contrario ocurre en los años de baja producción, durante los cuales los árboles acumularían más carbohidratos, resultando en una intensa floración en la temporada.

Las variaciones en el porcentaje de cuaje resulta de la producción excesiva en años “ON” y muy pocos en años “OFF” (alternancia o añerismo), que puede convertirse en un problema para los proveedores de aguacate, puesto que la cantidad no es estable, por lo que

se ha buscado mejorar la polinización en años de escaso número de frutos, para que la productividad pueda ser contrarrestada en cierta medida (Evans y Goodwin 2011).

En cuanto a la falta de producción, se ha visto una disminución de esta con las bajas temperaturas durante la floración, además el bajo porcentaje de cuaje y la caída de frutos jóvenes se puede deber a la competencia por asimilados con los brotes vegetativos (Sedgley, citado por Araya 1996). La disponibilidad de carbohidratos representa un factor clave en la caída de frutos, de hecho, existe una relación entre este y el rendimiento del cultivo. En busca de obtener una mayor cantidad de frutos de mejor calidad y tamaño, se ha optado por la implementación de técnicas que buscan incrementar los niveles de carbohidratos (Lovatt 1997).

2.2.4 Morfología floral.

El aguacate florece en panículas, sus flores son bastante pequeñas (miden cerca de 0.5 a 1.5 cm), son de naturaleza hermafroditas o bisexuales (Figura 1), es decir, presentan estambres y pistilos al mismo tiempo (Razeto 1987); tienen simetría radial y son producidas en grandes cantidades, por lo que la floración es constante por semanas e incluso meses (Jardón *et al.* 2011).

Figura 1. Morfología de una flor femenina (A) y masculina (B), en el cultivo de aguacate variedad Hass. Fotografías tomadas en el huerto experimental de APACOOOP, San Pablo, León Cortés. Septiembre, 2014.

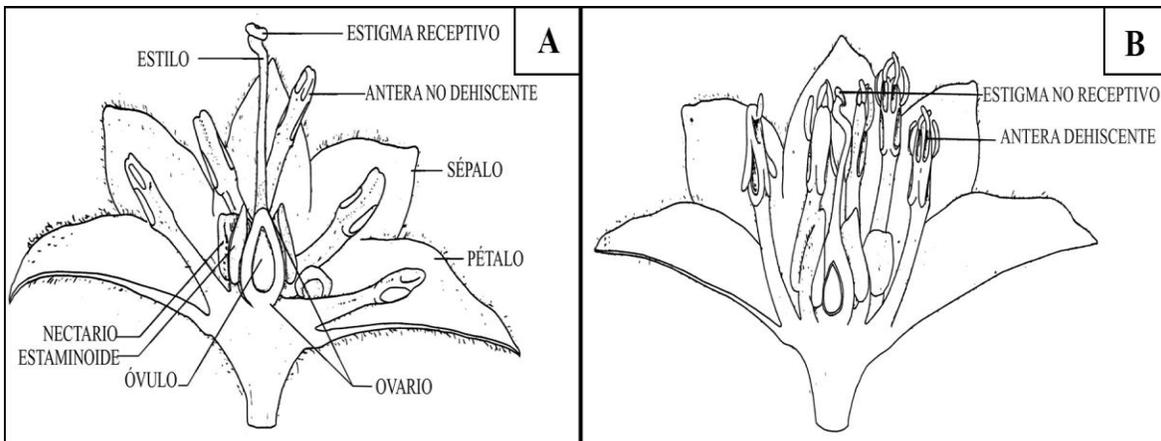


De acuerdo a la descripción de Schroeder, citado por Apablaza (1981), las flores están compuestas por tres sépalos y tres pétalos que forman el perianto; el pistilo es simple, bulboso y tiene un solo carpelo con un ovario; el cual es suave, el estilo es alargado terminando en un estigma no muy amplio. Además, posee nueve estambres funcionales insertados en dos verticilos; el verticilo interior consta de tres estambres y cada uno de ellos con cuatro sacos polínicos y cuatro valvas a través de las cuales se libera el polen; alternándose entre los estambres se encuentran los estaminoideos, que son estambres estériles, abortados y que producen néctar. Opuesto a cada estambre y estaminoide del verticilo interior, se ubican los estambres del verticilo exterior, al costado se localiza un nectario de color naranja el cual es más pequeño que el estaminoide.

Las flores de aguacate poseen un comportamiento floral muy particular, conocido como dicogamia protoginea y el cual es importante conocer para entender mejor el proceso de producción. La dicogamia implica la presencia de órganos femeninos y masculinos dentro de una misma flor que maduran a destiempo, es decir, primero madura la parte femenina (los pistilos) y posteriormente la parte masculina (las anteras comienzan a producir polen), lo que implica que todas las flores en el árbol son femeninas y masculinas en distintos momentos (Nirody 1922; Peterson 1955; Bergh 1969; Razeto 2000; Valdés 2002; Cabezas *et al.* 2002; Yarita 2008, 2014).

La flor experimenta una doble apertura o diantesis: la primera vez se abre a media mañana como flor funcionalmente femenina, lo que se conoce como estado 1 ; luego se cierra al mediodía y permanecen cerradas por 24 horas; para abrir al mediodía siguiente como flor funcionalmente masculina, es decir en estado 2 (Figura 2). Cuando las flores se encuentran en estado femenino, el pistilo se encuentra erecto y el estigma se exhibe de color blanquecino, mientras tanto los estambres reposan sobre los tépalos y cuando son masculinas, el pistilo se muestra marrón y tres de las anteras se ubican próximas a este, mientras que las otras seis aparecen inclinadas (Alcaraz 2009).

Figura 2. A) Estado femenino. El estigma se encuentra receptivo y con anteras no dehiscentes. B) Estado masculino. El estigma no se encuentra receptivo, pero los estambres tienen las anteras dehiscentes. (Ilustración realizada por Mc. Gregor, 1976 y tomada de Apablaza, 1981).



Cada flor pasa por dos períodos distintos y separados de apertura o antesis, entre los que existe un intervalo de 24 horas, durando el ciclo completo de diantesis cerca de 36 horas, desde la primera apertura hasta el término de la segunda apertura (Yarita 2008). A partir del ritmo de floración presente en el aguacate, se han creado dos tipos de cultivares: el grupo A (en el que se encuentra Hass), que abre como flor femenina desde la mañana hasta el mediodía y las flores masculinas abren en la tarde del día siguiente. El grupo B presenta un ciclo floral complementario, es decir, la antesis ocurre al revés produciéndose la primera apertura (estado femenino) en la tarde y la segunda apertura (masculino) en la mañana siguiente (Apablaza 1981; Cabezas *et al.* 2002; Peña 2003).

Según Yarita (2008), la dicogamia tiende a favorecer la polinización cruzada entre cultivares complementarios, por lo que es poco probable la autofecundación, e incluso se ha llegado a considerar que los frutos producto de autofecundación son abortados. El fenómeno de dicogamia es dependiente de la temperatura y la sensibilidad a esta varía de acuerdo a los cultivares. En días nublados o fríos y noches neblinosas o con lluvia, en los cultivares tipo A se presenta un comportamiento inverso, lo que significa que el polen se libera durante la mañana y la fase femenina ocurre en la tarde. En el caso de los cultivares tipo B, bajo las condiciones mencionadas anteriormente, no ocurre el estado femenino y la flor no abre completamente (Bergh 1969).

2.2.5 Influencia de la temperatura en la apertura floral.

El ciclo floral se ve afectado por condiciones climáticas y cualquier cambio afecta la continuidad, regularidad y secuencia del ciclo floral (Bergh 1969). Nirody (1922), realizó estudios sobre el comportamiento de las flores de aguacate y observó que las temperaturas entre los 14 y 15°C, así como días nublados, retrasaban la apertura de las flores de unos minutos e inclusive hasta una hora. Este mismo autor indica que es necesario que la temperatura sea lo más próxima posible a los 25°C durante el día y no menos de 16°C durante la noche.

Yarita (2014), en Perú, estudió el efecto de las temperaturas bajas en la alteración de los estados florales y encontró un cambio en ellos cuando se hallaba por debajo de los 10°C al inicio de la floración. En el cultivar Hass las flores femeninas iniciaban su apertura alrededor de las 11:00 am y permanecían abiertas hasta las 5:00 pm, mientras que en el caso de las masculinas, Yarita reporta la apertura a las 3:00 pm y el cierre a las 10:00 am del día siguiente, es decir, el tiempo de traslape fue de dos horas (el mismo que en condiciones de temperatura normal).

De acuerdo a los estudios llevados a cabo por Sedgley y Annells (1981), en Australia, las flores de Hass con temperaturas máximas y mínimas de 33°C y 28°C como también con 24°C y 20°C, respectivamente, realizaron el ciclo de apertura característico de un cultivar del grupo A, cuya duración es de 36 horas. Cuando la temperatura máxima y mínima era de 17 y 12°C, el comportamiento variaba mucho, puesto que las flores abrían en la tarde al estado femenino, cerraban a las 21:00 h y reabrían al estado masculino dos días después en la tarde, permaneciendo abiertas toda la noche y comenzando a cerrarse cerca de las 11:00 h del día siguiente, realizando el ciclo en 72 horas.

Según Salazar-García *et al.*, citados por Fried (1999), en cultivares tipo B la temperatura óptima es de 25°C y 10°C como máxima y mínima diaria respectivamente. Los del grupo A son menos sensibles a las variaciones de temperatura y se adaptan a una máxima diaria de 20°C.

2.3 La polinización.

2.3.1 Definición.

Es la transferencia de los granos de polen desde las anteras de la flor hasta su estigma o al estigma de otra flor. Este traspaso es totalmente necesario, puesto que los granos de polen son inmóviles y de dicho proceso depende la producción de frutos y semillas (Arce *et al.* 2001).

La polinización es el primer paso para la producción de frutos y para que ésta sea efectiva, el estigma debe encontrarse receptivo para que el polen pueda germinar. Se formará un tubo polínico que entregará el espermatozoide al óvulo y producto de esa fusión de gametos ocurre la fertilización, cuyo producto final es la formación de un embrión (plántula joven de aguacate) dentro del óvulo y éste a su vez se desarrolla en la semilla dentro del ovario, para finalmente convertirse en la fruta de aguacate (Lovatt 1997).

La polinización efectiva ocurre cuando un número suficiente de granos de polen es depositado en la superficie del estigma y para que esto suceda, se requiere un mínimo de 6-20 granos de polen por estigma, para asegurar la polinización (Arpaia y Hofshi 2004). Si muchos granos llegan al estigma, no se producirán problemas en el crecimiento del tubo polínico y por ende en la producción de fruta, pero si el polen depositado es escaso, la polinización será inadecuada, que a su vez repercutirá en la producción del cultivo (Papademetriou, citado por Tapia 1993).

2.3.2 Polinización en el cultivo de aguacate.

La polinización ineficiente se ha considerado uno de los principales factores causantes de bajas producciones en el cultivo del aguacate en la mayoría de los países productores (Wysoki *et al.* 2002). El estudio del proceso de polinización ha permitido desarrollar varias prácticas culturales, que buscan aumentar la polinización, fertilización y los rendimientos. Algunos de los métodos usados para alcanzar dicho propósito han sido el uso de aerosoles de boro cronometrado, una adecuada fertilización nitrogenada, el uso de variedades donadoras de polen para mejorar la polinización cruzada, la colocación de

colmenas de abejas en los huertos y el aumento de la actividad de estos insectos con el uso de feromonas, pero a pesar del éxito de estos esfuerzos, los resultados han sido variables debido a factores ambientales (Lovatt 1997).

Los problemas de polinización en *P. americana*, son ocasionados en gran parte por la particular biología reproductiva de este frutal, por lo que en muchos países se ha optado por el uso de cultivares A y B intercalados en el mismo huerto, con el fin de favorecer la polinización cruzada (Degani *et al.* 1986). En el caso de América Central, la necesidad de polinización no parece ser un factor que limite los rendimientos, pero en regiones como Israel, California y Sudáfrica, que se caracterizan por tener un clima mediterráneo, sí representa un problema principalmente por los bajos porcentajes de polinización cruzada, además de la falta de donadores de polen y la baja eficiencia de los insectos polinizadores (Yarita 2014).

En estudios realizados por Davenport, citado por Alcaraz (2009) y Yarita (2014), se descubrió que los cultivares de zonas subtropicales húmedas, mantienen una fertilidad considerable durante la apertura masculina, puesto que se encontró una mayor cantidad de granos de polen, lo que hace pensar que la mayor producción en esas condiciones podría deberse a autofecundación mediada a través del viento. A su vez este estudio sugiere que las flores en estado masculino continúan siendo receptivas y que el éxito de la autopolinización está relacionado con la habilidad del estigma de mantener su color blanco durante la apertura masculina, pero en condiciones más secas esta situación cambia y en ese caso sería la polinización cruzada la que tendría mayor importancia.

2.3.3 Factores que afectan la polinización.

De acuerdo a Lovatt (1997), la temperatura tiene un papel primordial en la viabilidad del óvulo, en la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, lo que finalmente repercute en el cuaje del aguacate. Tanto altas como bajas temperaturas, afectan el desarrollo del polen, por ejemplo, en frutales tropicales por debajo de los 15°C y sobre los 33°C, su viabilidad disminuye y si las temperaturas nocturnas son inferiores a los 10°C, se reduce la germinación de este. En aguacate, entre los 12-17°C solo un bajo porcentaje de flores abren al estado femenino con estigmas receptivos. Si a las bajas temperaturas se le suma la

presencia de neblina y llovizna, se reduce la actividad de las abejas, las cuales participan en la polinización y por lo tanto este proceso se verá afectado.

2.3.4 Tipos de polinización.

Según Ish-Am (2004), en el cultivo de aguacate ocurren tres tipos de polinización, los cuales se describen a continuación.

- a) **Autopolinización:** se presenta cuando el polen de la flor llega al estigma en la misma flor. Este tipo de polinización no necesita de un agente polinizador y puede ser realizada por el viento o la gravedad. En aguacate, la autopolinización solamente ocurre cuando se encuentra en su estado masculino, siendo un proceso muy común y eficiente.

- b) **Cerrada:** el polen que llega al estigma procede de las anteras de otra flor del mismo cultivar, sea del mismo árbol o de árboles cercanos y generalmente ocurre en el período de traslape, post dehiscencia; aunque se ha sugerido que puede ocurrir sin un traslape efectivo, mediante la acción de polinizadores que trasladen el polen viable en sus cuerpos. En condiciones de clima frío, puede ocurrir autotraslape (cuando la floración de la tarde se atrasa hasta la mañana siguiente, coincidiendo con la floración normal del sexo opuesto). La polinización cerrada puede ser muy eficiente pero depende de factores como el porcentaje de flores femeninas durante el período de autotraslape y la duración de ese período y la actividad de los agentes polinizantes.

- c) **Cruzada:** se da entre flores en estado masculino de cultivares tipo B y flores femeninas de cultivares tipo A durante la mañana y viceversa en la tarde. La polinización cruzada y su eficiencia dependen de la distancia entre los árboles donadores de polen y los árboles a polinizar, del período de traslape y de la movilidad y actividad de un agente polinizador.

2.3.5 Agentes polinizantes.

Los polinizadores visitan las flores en busca de recursos variados, como el polen, néctar o ambos. La polinización puede ser realizada por agentes abióticos como la gravedad, el agua y viento y por lo general, las flores polinizadas por este tipo de agentes, son pequeñas y poco llamativas. La polinización también puede ser llevada a cabo por agentes bióticos como los animales y las flores polinizadas por éstos, tienden a poseer señales de atracción, las cuales consisten en una variedad de colores, aromas y formas de la flor (Arce *et al.* 2001).

La polinización anemófila consiste en el transporte del polen mediante el viento. Este tipo de polinización es poco segura y las plantas deben producir gran cantidad de polen, con el fin de aumentar las posibilidades de que algún grano llegue hasta el estigma de otra flor distinta (Arce *et al.* 2001). La polinización por animales se conoce como zoófila y las plantas que tienen este tipo de polinización, se caracterizan por poseer flores con mecanismos para atraer los animales, así como también proporcionan recompensas variadas; entre ellas polen, resinas, néctar, tejidos florales, fragancias, aceites y gomas (Arce *et al.* 2001).

La polinización entomófila se lleva a cabo por los insectos y son los polinizadores más eficientes, porque son extremadamente móviles, pequeños y abundantes. Este grupo incluye a los escarabajos, las moscas, mariposas, polillas y las abejas (Sammataro y Avitabile 2005). La polinización por abejas se llama melitofilia y éstas son probablemente los polinizadores más eficientes e importantes del ecosistema, ya que existe gran cantidad de especies, además de una amplia diversidad de tamaños, rangos de vuelo, constancia floral y estrategias de pecoreo (Arce *et al.* 2001). Entre los agentes polinizadores melitofílicos más eficientes se encuentra la abeja productora de miel *Apis mellifera*, principalmente porque poseen un elevado número de individuos por colmena (alrededor de 50 000), de los cuales el 50% se dedica a la búsqueda de alimento. La polinización tiene efectos positivos sobre la cantidad, la calidad, el peso, la conformación física y el contenido de azúcar en los frutos. La abeja melífera ha sido utilizada en programas de polinización dirigida en muchos países, los cuales han calculado el valor productivo y han determinado que se incrementa entre 20 a 60 veces, con respecto a la producción de polen y miel (Vázquez *et al.* 2011).

2.4 La abeja melífera.

2.4.1 Generalidades.

Es un insecto social, el cual pertenece al orden Hymenoptera, superfamilia Apoidea, familia Apidae y subfamilia Apinae (Villota 1999). Estos insectos se encuentran distribuidos en todo el mundo, sin embargo las especies del género *Apis* evolucionaron en el sudeste Asiático, para luego dispersarse hasta Europa y África. La subespecie *Apis mellifera ligustica* se introdujo en América durante la época de la colonia y en el año 1956, algunas reinas de la subespecie *Apis mellifera scutellata* se introdujeron en Brasil; ambas subespecies se cruzaron genéticamente, dando origen al híbrido que hoy en día es conocido como “abejas africanizadas”, de miel o de castilla. Esta especie construye panales en forma vertical y alcanzan poblaciones hasta de 60 000 individuos adultos por colonia. Estos insectos tienen la capacidad de producir 30 kilos de miel por año por colmena. Su comportamiento es defensivo y poseen aguijones que utilizan contra los depredadores (Arce *et al.* 2001). Estas abejas tienen el cuerpo cubierto de pelos y llevan una carga electrostática que les permite atraer partículas pequeñas de polen, el cual luego transfieren a las corbículas o a las escopas en sus patas (IICA 2009).

2.4.2 Comportamiento recolector de *Apis mellifera*.

El pecoreo es la recolección de recursos florales, como lo es el néctar, polen, propóleo y agua y la recolecta de esos elementos depende de las necesidades de la colmena en cada momento de su desarrollo (IICA 2009). Las abejas consumen néctar, del cual obtienen azúcares y agua, además les proporciona energía. También se alimentan de polen, el cual es rico en proteínas y es indispensable para su crecimiento y desarrollo. Ambos recursos los obtienen de las flores, también requieren vitaminas, minerales y una mayor cantidad de agua de la que obtienen del néctar, la cual es recolectada de las fuentes disponibles (Rallo 1987).

Los componentes más importantes en la identificación y selección floral son el olor, color y valor nutritivo del néctar y el polen, así como su cantidad y disponibilidad. Cuando las abejas se aproximan a las plantas, reciben estímulos que le indican que dicha planta tiene

una recompensa y por medio de las antenas, las abejas perciben los aromas desde largas distancias. En el caso de las pecoreadoras, cuando buscan una fuente de alimento por primera vez, se guían por el olor y una vez que se establece el patrón de pecoreo en la fuente de alimento ubicada, utilizan la memoria de localización y las referencias del terreno para llegar hasta ellas (Reyes y Cano 2000). En promedio una abeja visita unas 40 flores en cada viaje y realiza aproximadamente 15 viajes al día, esto da un equivalente de unas 15 millones de flores visitadas por una colonia en un día (Vázquez *et al.* 2011).

Cuando las abejas salen en busca de alimento, dejan “marcas” hechas con feromonas que permiten indicarle al resto de sus compañeras si la flor ha sido visitada o no, con esta estrategia se ahorran mucho tiempo de exploración (IICA 2009). Mientras las pecoreadoras liban el néctar de las flores, su cuerpo se impregna del olor de ésta y al regresar a la colmena dicho aroma permanece en ellas, así de esta manera comunican el tipo de flor visitada. El aroma perdura en el cuerpo de la abeja, gracias a la capacidad que tienen de absorber y conservar sustancias olorosas, es decir, no solo comunican el olor del néctar sino también el de la flor. Conforme mayor sea la distancia recorrida por las pecoreadoras, mayor será la pérdida del perfume floral (Rallo 1987). Además, internamente dentro de la colmena, las abejas exploradoras tienen la capacidad de comunicar la calidad, cantidad y ubicación de recompensa floral a sus congéneres, esto lo hacen mediante danzas muy precisas que ya fueron demostradas en los experimentos clásicos de Karl von Frisch (Espina y Ordetex 1981).

El polen es recolectado por abejas jóvenes, porque estas poseen pelos en buen estado y cuando visitan las flores entran en contacto con las anteras, llenando su cuerpo de este recurso. Esta fuente alimenticia tiene su olor característico, que es distinto al de los pétalos de la flor y diferente al de otras especies (Rallo 1987; IICA 2009). Para conseguir un kilogramo de polen, una abeja debe realizar aproximadamente cerca de 60 000 viajes, en cada uno de los cuales logra transportar en promedio 15 miligramos (Rallo 1987).

La concentración del azúcar en el néctar juega un papel importante en la determinación de la actividad pecoreadora, prefiriendo recolectar en aquellas especies cuyo contenido de azúcar es mayor al 20%, debido a que de esa manera la colmena tendrá que hacer un menor esfuerzo en evaporar el agua sobrante de la miel y por su valor energético en cuanto a carbohidratos disponibles. También es importante la cantidad de néctar que ofrece

la flor, ya que las abejas se deciden por aquellas que tienen mayor abundancia en igualdad de concentración (Rallo 1987).

Wykes, citado por Afik *et al.* (2006), mostró experimentalmente que las abejas prefieren una relación azúcar de 1:1:1 (sacarosa-fructosa-glucosa) sobre una solución de sacarosa pura. El néctar de las flores de aguacate contiene casi exclusivamente sacarosa y una baja concentración de perseitol y de hecho, esa alta proporción de sacarosa en el néctar de esta especie se ha sugerido como la causa del escaso atractivo de las flores de aguacate a las abejas de miel (Ish-Am 1994).

2.4.3 Condiciones ambientales que intervienen en la disponibilidad de recursos florales y en la actividad de pecoreo.

La producción de néctar de cada planta está ligada a factores genéticos, climáticos y edáficos. Si la humedad atmosférica es muy alta, el néctar es de baja calidad porque disminuye la concentración de azúcares y si la humedad es baja, se produce un desecamiento que dificulta a las abejas el libado de este líquido. La temperatura ambiental óptima oscila entre los 12 y 15°C, puesto que si son mayores al rango citado, aumenta la evapotranspiración de las plantas y cuando esta supera la capacidad de agua absorbida por las raíces, los nectáreos se cierran. Si las temperaturas son demasiado bajas, las plantas disminuyen su actividad fisiológica. La secreción nectarífera es mayor en días soleados que nublados, porque implica un mayor nivel de fotosíntesis que favorece la producción de azúcares. En condiciones ventosas, los nectáreos se secan rápidamente (Rallo 1987; IICA 2009).

El vuelo de estos insectos se ve influenciado principalmente por la temperatura y la radiación solar. Las abejas no realizan vuelos si la temperatura es menor a 9°C, a partir de los 14°C y hasta los 22°C la actividad tiende a aumentar. Aun cuando la temperatura sea la adecuada, las abejas tampoco volarán muy lejos si hay escasez de luz (días nublados), pues su visión es en el rango visible y hasta el espectro ultravioleta; y por lo tanto, tenderán a permanecer cerca de la colmena (Reyes y Cano 2000).

Se ha evidenciado una disminución de la actividad pecoreadora al ser el mediodía, lo que dificulta la capacidad de comunicar fuentes de alimento cuando el sol se haya

directamente encima de la colmena. También bajo condiciones de alta humedad ambiental y con fuertes vientos entre (14 a 32 km/h), la actividad pecoreadora se ve disminuida o cesa por completo (Reyes y Cano 2000).

2.4.4 El uso de la abeja melífera en el cultivo de aguacate.

Uno de los primeros experimentos realizados para determinar el papel de las abejas en la polinización, fue llevado a cabo por Clark (1923), quien encerró la mitad de un árbol de la variedad Dickinson evitando las visitas de abejas y la otra mitad la expuso a polinización abierta. Este árbol cuajó 6 frutos en el área que se encontraba descubierta y solamente tres frutas en la porción encerrada dentro de la red, pero esos frutos cayeron poco tiempo después.

Los muestreos de polinizadores del aguacate realizados en los estados de México y Michoacán, indican que la abeja jicote *Melipona beecheii* (Meliponinae) y la avispa de la miel mexicana (*Brachygastra mellifica*) pueden haber sido los polinizadores originales del aguacate (Wysocki *et al.* 2002), por lo que se sabe que la flor del aguacate está adaptada a la polinización por abejas tropicales, las cuales tienen un tamaño de 4 a 8 mm, así como también, está adaptada a la polinización por abejas y moscas (Peña 2003). La llegada de *Apis mellifera* a América Central, sumado a la agricultura moderna y la aplicación de insecticidas, han cambiado las condiciones del ecosistema, convirtiendo a *A. mellifera* en el principal polinizador, ya que muchos polinizadores nativos han sido exterminados o desplazados (Wysocki *et al.* 2002).

Ish-Am y Lahav (2011), efectuaron un ensayo en Israel con cinco variedades de aguacate (Hass, Reed, Fuerte, Ettinger y Nabal), para comparar la polinización de la abeja melífera con respecto a la polinización efectuada por el viento. Estos investigadores encontraron una correlación positiva entre el porcentaje de polinización y la densidad de abejas en las flores, mientras que lo mismo no fue observado con respecto a la velocidad del viento. En los días de baja actividad, el porcentaje de polinización estuvo en el ámbito entre el 6 y 15% y en laboratorio (simulando las condiciones de campo), el viento no tuvo ninguna influencia sobre la dispersión del polen en las flores del aguacate. Los resultados obtenidos por Ish- Am y Lahav, les permitieron concluir que el aguacate es dependiente de la

polinización por insectos y especialmente por la abeja melífera, por lo que recomiendan su uso como agente polinizador.

Investigaciones realizadas en aguacate variedad Hass, en California (Estados Unidos) y en Galilea (Israel), confirman que la abeja melífera es el principal insecto polinizador en el cultivo de aguacate en esas regiones, ya que pueden ser fácilmente manejadas y son indispensables para alcanzar un adecuado cuaje (Lovatt 1997; Ish-Am y Eisikowitch 1998). Vithanage (1990), menciona que el aguacate es ampliamente visitado por una gran cantidad de insectos, entre los cuales, la abeja melífera juega el papel principal, ya que visita las flores para alimentarse de su néctar.

En el año 2002, Wysoki y colaboradores, manifestaron formalmente que el cultivo de aguacate requiere de la visita de un polinizador para alcanzar buenos rendimientos, pero en muchas ocasiones las flores a pesar de ser polinizadas no son fertilizadas. Continuando con este criterio, De la Cuadra (2007), encontró una gran diversidad de especies de insectos asociados a la floración del aguacate Hass en Chile e identificó que los principales órdenes asociados fueron los himenópteros, dípteros y coleópteros, siendo más abundante la abeja *Apis mellifera* y su actividad se centró en la recolecta del néctar. Esto claramente apoyó el criterio de Ish-Am y Eisikowitch (1993), quienes habían concluido que la abeja es el principal polinizador del aguacate, siempre y cuando haya ausencia de flores más atractivas que las de éste en los alrededores, por lo que sugieren que la polinización se realiza durante el traslape de los estados femeninos y masculinos, período durante el cual las abejas recolectan recursos florales como el polen y néctar, moviéndose entre flores estaminadas y pistiladas.

Lovatt (1997), señala a la abeja melífera como potencial polinizador de aguacate variedad Hass, puesto que posee grandes atributos como los siguientes: realizan muchas visitas florales por día, distribuyen gran cantidad de polen, pueden soportar altas temperaturas, resisten la reducción e intensidad de la luz, su biología es muy conocida, viven en grandes colonias, pueden ser desplazadas en masa, visitan y polinizan un gran número de plantas cultivadas, se conoce muy bien la técnica de crianza, división y son accesibles de manejar. En esta misma línea, Vázquez *et al.* (2011), cita algunas desventajas como lo es el hecho que la abeja melífera busca fuentes de néctar de mayor cantidad y concentración de azúcares que algunos cultivos como el aguacate no ofrecen, además selecciona determinados

tipos de polen y existe el inconveniente que algunas especies cultivadas son visitadas solamente por su néctar, por lo que no se asegura el transporte del grano de polen en forma y tiempo.

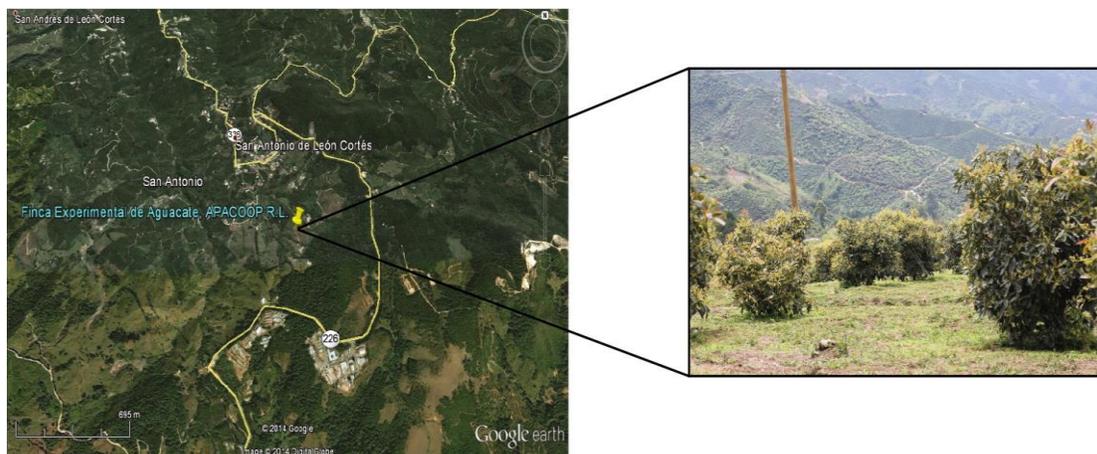
3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la finca experimental.

3.1.1 Ubicación y caracterización del sitio de estudio.

El cantón de León Cortés cuenta con una extensión de 120.8 Km², y se encuentra a 1 430 msnm. Las temperaturas promedio oscilan entre los 18.6°C y 23.3°C, el viento alcanza en promedio una velocidad de 6.2 km/h. La precipitación anual es de 2 180.1 mm aproximadamente y la humedad relativa promedio de 86.7% (Sáenz y Lamy 2002). Los ensayos se realizaron en la Finca Experimental de Cultivo de Aguacate, la cual es propiedad de la Cooperativa de Productores Agrícolas y de Servicios Múltiples de la Zona de Los Santos (APACOOOP R.L). Esta finca se localiza en el cantón de León Cortés, distrito Santa Cruz, latitud 9°42'44"N y longitud 84°03'24"O, altitud de 1 650 msnm (Figura 3).

Figura 3. Ubicación de la zona de estudio. (Tomado de Google Earth, 2015).



3.1.2 Detalles del huerto experimental.

El área utilizada para los ensayos posee una superficie aproximada de 5 900 m², con alrededor de 165 árboles plantado, de 2.50 metros de altura aproximada. Los ensayos se llevaron a cabo en un sector cultivado con aguacate de la variedad Hass, injertado sobre un patrón de la variedad Guatemala, estos fueron plantados a una distancia de 6x6 m cada uno de ellos, en el año 2008 (al momento de realizar las evaluaciones el cultivo tenía seis años). El huerto se encuentra delimitado de la siguiente manera: al norte y al oeste se ubica una plantación de café, al este un sembradío de granadilla y al sur una colección *in vivo* de variedades de aguacate.

3.1.3 Selección del material vegetal utilizado.

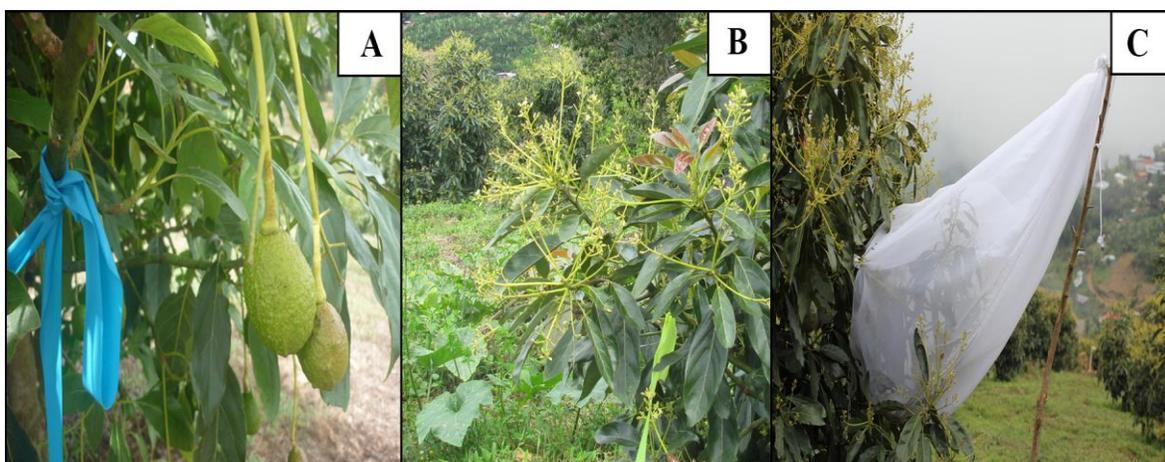
Los ensayos se realizaron durante los meses de enero hasta octubre del año 2014 coincidiendo con dos ciclos florales del cultivo; el primer ciclo fue en estación seca y la floración se extendió desde la última semana del mes de diciembre del año 2013 a la última semana del mes de febrero 2014, el segundo ciclo de floración inició en estación lluviosa, desde la primer semana de agosto hasta la primer semana de octubre. Se eligieron diez árboles al azar, siguiendo algunas pautas de metodologías empleadas en ensayos realizados en Chile, México y Perú (Fried 1999; Castañeda 2000; Castillo 2002; Valdés 2002; Yarita 2014), que se ajustaban a los objetivos de este estudio y que se explican a continuación.

En cada uno de los árboles elegidos en el huerto se marcaron dos ramas con cintas de colores (terciarias, sanas y con un mínimo cuatro yemas florales), con el fin de guiar las mediciones en los ensayos correspondientes. La primer rama se marcó al iniciar la floración que se extendió desde finales de diciembre de 2013 a finales de febrero de 2014. La misma se utilizó en el ensayo destinado a mostrar la tendencia o comportamiento en el cultivo de la polinización natural, bajo condiciones de estación seca (Figura 4A).

Posteriormente, al iniciar la estación lluviosa en el mes de julio, se seleccionó la segunda rama, la cual se utilizó para la valoración del efecto de la polinización con *Apis mellifera*, introduciendo colmenas en el cultivo durante seis semanas, en situación de polinización abierta, puesto que en ningún momento se encerraron árboles en jaulas con

colmenas, sino que más bien se optó por saturar el área con abejas (Figura 4B). Por último, se seleccionaron seis árboles más y en cada uno de ellos se eligió una rama que serviría como control para medir la autopolinización (durante la estación lluviosa), por lo que dichas ramas fueron aisladas de todo tipo de visitador mediante una bolsa de tela que no alteró las condiciones normales de las flores encerradas (Figura 4C).

Figura 4. Ramas seleccionadas para los distintos ensayos. A) Polinización abierta. B) Polinización con *Apis mellifera*. C) Testigos.



Algunos autores han aislado dos árboles (Yarita 2014), otros solo uno (Peterson 1955), e incluso otros han optado por encerrar sólo la mitad (Clark 1923), para evaluar la autopolinización. En este trabajo, la elección de seis testigos modificando un poco la metodología planteada por Cabezas y Cuevas (2007), quienes usaron un número más bajo de árboles (cuatro en total) y de cada uno tomaron ocho panículas florales, las cuales aislaron herméticamente de los polinizadores, pero en este trabajo se optó por usar más árboles testigo y en lugar de panículas se aislaron ramas con mínimo cuatro yemas florales, lo cual facilitó el trabajo de campo, el aislamiento de las ramas y asimismo, se generó menos daño mecánico y defoliación al árbol.

Con el fin de obtener resultados homogéneos se seleccionaron árboles semejantes, es decir, con similar condición fitosanitaria, altura y estado de floración. La distribución de los ejemplares en campo, se efectuó tomando en cuenta que las abejas en un huerto en floración

trabajan en un radio que no sobrepasa los 250 metros de la colmena (De la Cuadra y Rodríguez 2006), por lo que se procuró no afectar las mediciones de la frecuencia de visitas.

3.1.4 Ubicación, distribución y tiempo de ingreso de las colmenas de *Apis mellifera*.

Las colmenas fueron facilitadas por la empresa Eco-miel. Se usaron colmenas estándar tipo Langstroth, las cuales estaban conformadas de una caja con 10 marcos poblados de abejas. El ingreso de las colmenas en el área de estudio se realizó al inicio de la floración en el mes de agosto, cuando en las ramas de los árboles seleccionados se presentó la aparición de botones florales y se mantuvieron en campo aproximadamente mes y medio, hasta que la floración en las mismas finalizó. Las colmenas no fueron establecidas antes de la apertura floral del aguacate, ya que hacia el lado este del huerto se ubicaba una plantación de granadilla, la cual estaba iniciando su floración y se procuró evitar que las abejas ubicaran esa fuente de alimento, dejando el cultivo sin visitar. Se ubicaron 4 colmenas en el huerto con el fin de saturar el área, las cuales se colocaron cerca del centro de la plantación (para evitar la competencia con los cultivos cercanos) y a 24 metros de los bordes del área de estudio con el propósito de que existiera uniformidad en la visita de las abejas. Estas se dispusieron en línea y se colocaron sobre cajas plásticas (las cuales tenían una dimensión de 30 cm de alto por 40 cm de largo) que sirvieron de soportes, con el fin de evitar la humedad y el ataque de depredadores (Figura 5 y Anexo 1).

Figura 5. Ubicación de los árboles seleccionados y de las colmenas en el huerto experimental.



3.2 Ensayos realizados.

3.2.1 conteo del número de flores.

Los conteos se realizaron cuando las panículas florales en las ramas seleccionadas se encontraban en el estado denominado D2 (Cabezas *et al.* 2003). El primer conteo se efectuó la segunda semana del mes de enero, en las ramas del ensayo con polinización abierta. El segundo conteo se hizo en la primer semana de agosto, en las ramas testigo y el tercer conteo en la segunda semana de agosto, en las ramas destinadas a los ensayos con *A. mellifera*.

Para cada conteo, se anotó en una libreta la cantidad de botones florales y flores de cada rama y posteriormente, se realizó la sumatoria de los datos de cada rama, para obtener el número total de flores por ensayo y así usar esa información para el cálculo de porcentajes de cuaje (Anexo 2).

3.2.2 Calendario de floración para la zona.

En la Zona de los Santos es posible encontrar cultivares floreciendo en diferentes meses del año (Palacios, 2013²), pero se desconoce de manera formal el período de floración en el área de estudio. Con base en las visitas hechas al huerto experimental, antes de iniciar los ensayos y durante la investigación, se confeccionó un calendario (desde julio, 2013 a febrero, 2016) que corresponde a la etapa fenológica de la floración y en él se evidencian los momentos de inicio y culminación de esta fase (Anexo 3).

La elaboración de este calendario servirá para respaldar las propuestas realizadas por otros autores (Vargas 2012) y se pretende que sea de utilidad para los productores, para que conozcan con mejor precisión la fenología de las plantas, además de considerar el momento óptimo de ingreso de colmenas a la plantación.

² Palacios González, B. 31 ago. 2013. Período de floración en la Zona de Los Santos (comunicación personal). San Pablo de León Cortés, Costa Rica, APACOOOP.

3.2.3 Recolecta e identificación de los visitantes florales silvestres del aguacate (*Persea americana* Mill var. Hass).

La recolección de visitantes naturales a las flores del aguacate se realizó en dos momentos a lo largo de este trabajo: la primera se llevó a cabo durante la estación seca, en el mes de febrero y la segunda recolección se realizó en estación lluviosa en el mes de agosto; previo al ingreso de las colmenas. Se recorrió todo el huerto, inspeccionando las flores y atrapando todos los insectos que se encontraban dentro de ellas, esto con el propósito de obtener la mayor diversidad y número de visitantes. Se prestó especial atención a los árboles que se encontraban en un estado de floración más avanzado, puesto que éstos atraían mayor cantidad de insectos.

En cada período de muestreo, se recolectaron insectos durante dos días y se utilizó la técnica de captura directa con red entomológica; principalmente para atrapar los insectos que se movilizaban más rápido, además que dicha técnica ha demostrado ser más eficiente en la recolección de himenópteros (Kerns e Inouye 1993); también se emplearon frascos para atrapar cuidadosamente los individuos que se posaban en las flores (Figura 6). El uso de estos métodos evitó provocar daños mecánicos a las flores y por ende la caída de las mismas.

Figura 6. Métodos de captura de visitantes florales del aguacate.



Las recolectas de insectos se iniciaron a las 6:00 h y finalizaron a las 16:00 h, lo que representó un período de muestreo de 10 horas; de igual manera lo hizo Castañeda (2000), quien capturó visitantes florales del aguacate de las 8:00 a las 18:00 h. Los organismos capturados se depositaron en frascos con alcohol al 70%, debidamente rotulados. Las muestras se llevaron al Laboratorio de Entomología, en la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, donde se realizó el montaje de individuos en alfileres entomológicos y la toma de fotografías con un microscopio estereoscópico SZX16 Zoom marca Olympus. Posteriormente, las abejas nativas se trasladaron al Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT), las cuales se clasificaron utilizando el criterio de experto del especialista MSc. Eduardo Herrera y con apoyo en las claves de Ayala (1999); Michener (2007); Camargo y Pedro (2013), para su clasificación a nivel de orden, familia, subfamilia, género y especie. Los coleópteros e himenópteros fueron llevados al Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO) para su identificación a nivel de familia y en algunos casos a nivel de subfamilia, género y especie (cuando fue posible llegar hasta esta última). Los dípteros fueron identificados con la ayuda del entomólogo MSc. Alexander Rodríguez Arrieta; profesor de la Universidad de Costa Rica y de la Universidad Nacional, siguiendo el manual de Brown *et al.* (2009, 2010). Los hemípteros fueron identificados en el Laboratorio de Entomología de la Universidad Nacional, con la ayuda de la entomóloga MSc. Rosalía Rodríguez.

3.2.4 Evaluación de la preferencia de recursos florales de *A. mellifera*.

Durante el mes de septiembre florecieron las panículas de las diez ramas seleccionadas y por lo tanto se procedió a evaluar las visitas de *A. mellifera*, para establecer el tipo de recolección de recursos florales que realizó la abeja. Con el propósito de determinar el patrón de preferencia, se distinguió tres tipos de comportamiento: la recolección de polen se llevó a cabo cuando la abeja “muere” las anteras (Rallo 1987) y también cuando incidentalmente el polen, producto de roce del cuerpo de las abejas con las anteras, impregna el cuerpo del insecto; por otra parte, la recolección de néctar se efectuó cuando se posaba sobre las flores y extendía su probóscide para succionarlo y la combinación simultánea de las dos acciones mencionadas anteriormente indicó la recolección de néctar+polen.

Para el conteo del tiempo se utilizó un cronómetro, además se empleó una cámara Canon EOS T2 acoplado con un lente macro y flash de anillo, que permitió grabar con mayor detalle el comportamiento de las abejas durante el pecoreo y de esa manera contar con un registro de video, que facilitó el análisis del comportamiento de las abejas con mayor detenimiento, en aquellos casos en que las visitas fueron muy rápidas.

Las observaciones se realizaron durante cuatro días, puesto que la longevidad de las flores es muy corta y en tres tiempos de muestreo, dedicando 5 minutos por rama: en la mañana de 8:00-9:00 h, mediodía de 12:00-13:00 h y en la tarde de 15:00-16:00 h (Anexo 4). Otros autores han definido horarios de observación desde las 10:00 hasta las 17:00 h (Castillo 2002; Valdés 2002), porque han encontrado mayor actividad de vuelo de la abeja melífera en los huertos a esas horas, pero para este estudio se delimitaron tres horarios porque fue posible observar en algunas ocasiones a *A. mellifera* pecoreando vigorosamente desde temprano, por lo que se consideró importante tomar en cuenta esas horas.

3.2.5 Evaluación del desempeño de *A. mellifera* como visitante floral del aguacate.

La actividad de *A. mellifera* también se valoró en el mes de setiembre. El experimento se realizó en un período de 4 días y el muestreo se efectuó en tres horarios: en la mañana de 8:00-9:00 h, mediodía de 12:00-13:00 h y en la tarde de 15:00-16:00 h, dedicando 5 minutos a la observación y registro del número de abejas que visitaron las ramas en floración y que fueron marcadas con anterioridad (Anexo 5).

Se tomaron notas de campo con las condiciones climáticas predominantes durante las horas de muestreo (día despejado, nublado y parcial despejado) y se solicitó a APACOOOP los datos meteorológicos del año 2014. Esa información se utilizó para relacionar dichos datos con la actividad de *A. mellifera*.

3.2.6 Porcentaje de cuaje, cantidad y peso de frutos.

El conteo de frutos cuajados en las ramas marcadas se llevó a cabo aproximadamente un mes después que terminó la floración en las ramas e inmediatamente que pasó la primera caída de frutos, aproximadamente a 30 días post-floración. Para el cálculo del porcentaje de

cuaje inicial y final, se emplearon las fórmulas de Martínez (2003) y Cossio *et al.* (2007), respectivamente. Ambas fórmulas se presentan a continuación:

$$\% \text{ de cuaje (inicial)} = (\text{Número de frutos cuajados} / \text{Número de flores totales}) \times 100$$

$$\% \text{ cuaje (final)} = (\text{Número de frutos cosechados} / \text{Número de flores totales}) \times 100$$

También se llevó un control del número de frutos por rama, para advertir la cantidad de aguacates abortados durante los meses post-floración (Anexo 6, 7 y 8) y estos se cosecharon cuando alcanzaron la madurez según recomendación del personal de APACOOOP y con base en el número total de frutos cosechados se calculó el porcentaje de cuaje final (Anexo 9). La primera cosecha se efectuó en diciembre de 2014 y correspondió al ensayo de polinización abierta, luego en agosto de 2015 se recolectaron los frutos resultantes de polinización con *A. mellifera* y los testigos. Los aguacates se pesaron con una romana electrónica marca Royal (Anexo 10).

3.3 Estadística.

3.3.1 Diseño experimental y análisis descriptivo.

Para esta investigación, la unidad primaria de muestreo lo constituyeron las ramas marcadas en los árboles seleccionados al azar. Se trabajó con dos ensayos; los cuales tuvieron lugar durante la floración ocurrida en la estación lluviosa. El primero lo constituyó la autopolinización, en donde se tomaron seis ramas testigo y se encerraron en una bolsa de tela antes de iniciar la floración. El segundo ensayo consistió en la evaluación de la polinización introduciendo colmenas de abejas (*A. mellifera*) y cuyo efecto se midió en las ramas marcadas en diez árboles. Los datos obtenidos en ambos ensayos, fueron contrastados entre sí, con el fin de observar las diferencias productivas en el cultivo cuando hay ausencia o presencia de abejas melíferas. Adicionalmente, se presenta la información generada durante el ensayo de polinización abierta, en la floración acontecida en estación seca, con el fin de generar una tendencia sobre el comportamiento productivo del cultivo expuesto a polinización natural, en una estación distinta del año y bajo otras condiciones.

Para el análisis de los datos, se recurrió al criterio del PhD. Eduardo Salas Alvarado. A los datos obtenidos, se les aplicó una estadística descriptiva, basada en la elaboración de gráficos de barras y circulares. Los descriptivos con los cuales se trabajó fueron porcentajes, promedios, desviación estándar, error estándar y sumatorias totales.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Principales visitantes florales silvestres del aguacate.

En los meses de febrero y agosto del 2014, fue posible encontrar una diversidad de insectos durante la floración del aguacate. Es importante destacar que aun cuando los muestreos se realizaron en dos momentos diferentes con condiciones climáticas distintas (estación seca y lluviosa), no hubo diferencia en los especímenes recolectados. Se ha señalado que la temperatura es un factor limitante para los visitantes florales del aguacate (Cautín, citado por Castañeda 2000) y que la actividad de éstos se ve retardada bajo condiciones frías (Castañeda 2000), esta situación se observó principalmente en las tardes muy nubladas y con brisa fresca, donde hubo escasez de visitantes silvestres en el huerto.

En el Cuadro 1 se muestra la clasificación taxonómica de los visitantes florales capturados en la zona de estudio. Se recolectaron 15 morfoespecies del orden Hymenoptera, agrupadas en las familias Vespidae, Apidae, Scoliidae y Tiphidae. Dentro del orden Diptera, se identificaron 9 morfoespecies, distribuidas en las familias Tachinidae, Tephritidae, Culicidae, Sarcophagidae, Syrphidae, Muscidae y Rhizophoridae. Del orden Coleoptera se recolectaron 7 diferentes morfoespecies, pertenecientes a las familias Melyridae, Chrysomelidae, Elateridae, Cerambycidae y Mordellidae. Del orden Hemiptera, se identificaron 3 morfoespecies de las familias Miridae, Pyrrhocoridae y Reduviidae.

Cuadro 1. Lista de insectos recolectados durante el período de floración del aguacate variedad Hass, en los meses de febrero y agosto de 2014. Huerto experimental de APACOOOP, San Pablo de León Cortés.

Orden	Familia	Subfamilia	Nombre científico
Hymenoptera	Apidae	Xylocopinae	<i>Xylocopa</i> sp.
	Apidae	Apinae	<i>Bombus</i> sp.
	Apidae	Apinae	<i>Tetragonisca angustula</i>
	Apidae	Apinae	<i>Apis mellifera</i>
	Apidae	Meliponinae	<i>Partamona orizabaensis</i>
	Apidae	Meliponinae	<i>Trigona fulviventris</i>
	Apidae	Meliponinae	<i>Scaptotrigona subobscuripennis</i>
	Apidae	Meliponinae	<i>Trigona fuscipennis</i>
	Apidae	Anthophorinae	No identificada
	Vespidae	Polistinae	<i>Polybia diguetana</i>
	Vespidae	Polistinae	<i>Polybia emaciata</i>
	Vespidae	Polistinae	<i>Agelaia areata</i>
	Vespidae	Polistinae	<i>Epipona niger</i>
	Scoliidae	Campsomerinae	<i>Campsomeris ephippium</i>
Tiphiidae	No identificada	No identificada	
Diptera	Culicidae	No identificada	No identificada
	Muscidae	Azeliinae	<i>circa Azelia</i> sp.
	Rhinophoridae	No identificada	No identificada
	Sarcophagidae ¹	No identificada	No identificada
	Sarcophagidae ²	No identificada	No identificada
	Syrphidae	No identificada	No identificada
	Tachinidae	Tachininae	<i>Parepalpus</i> sp.
	Tachinidae	Tachininae	<i>Archytas</i> sp.
	Tephritidae	No identificada	No identificada
Coleoptera	Cerambycidae	Cerambycinae	<i>Mecometopus solidicornis</i>
	Chrysomelidae	Eumolpinae	<i>Brachypnoea</i> sp.
	Chrysomelidae	Galerucinae	<i>Diabrotica</i> sp.
	Elateridae ¹	No identificada	No identificada
	Elateridae ²	No identificada	No identificada
	Melyridae	Melyrinae	<i>Amecocerus</i> sp.
	Mordellidae	No identificada	No identificada
Hemiptera	Miridae	Deraeocorinae	No identificada
	Pyrrhocoridae	Pyrrhocorinae	<i>Dysdercus</i> sp.
	Reduviidae	Phymatinae	<i>Phymata</i> sp.

Del total de insectos recolectados en el huerto experimental, los grupos que visitaron con mayor frecuencia las flores del aguacate fueron los dípteros, himenópteros y coleópteros. Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con los reportados por Ish-Am *et al.* (1999), Castañeda (2000) y Pérez *et al.* (2012) en México y por Evans y Goodwin (2011), en Australia, donde los insectos que acudieron a las flores de aguacate de manera más abundante fueron las moscas, abejas melíferas, avispas y escarabajos. También esta conducta fue similar a los ensayos realizados en Chile por Valdés (2002), donde el orden Hymenoptera comprendió el mayor porcentaje de individuos capturados, seguido en importancia por especies de los órdenes Diptera y Coleoptera respectivamente. A continuación se estudiarán con más detalle cada uno de los órdenes hallados durante el estudio.

4.1.1 Hymenoptera.

En el grupo de los himenópteros la familia Apidae tuvo mayor presencia con un total de 9 especies. La abeja *Apis mellifera* se destacó y ocupa el primer lugar, seguida de los individuos de la subfamilia Meliponinae o también llamadas abejas sin aguijón y no menos importantes fueron las avispas de la subfamilia Polistinae en especial *Agelaia areata* (Anexo 11), cuya actividad en campo fue muy constante.

La abeja melífera ya ha sido mencionada como el visitante floral más cuantioso en plantaciones de aguacate (Vithanage 1990; Visscher 1997; Ish-Am *et al.* 1999; Castañeda 2000; Valdés 2002; De la Cuadra 2007) y su dominante presencia en campo y en los alrededores de la finca donde se llevó a cabo el muestreo, puede deberse a que en la zona de León Cortés varios productores se dedican a la actividad apícola, lo que probablemente propició su abundancia durante el período de muestreo. De hecho, Castañeda (2000) y Valdés (2002), mencionan la copiosa presencia de *A. mellifera* durante sus muestreos en el ciclo de floración y reportaron la existencia de apiarios cerca de las zonas de estudio.

La abeja melífera logra visitar hasta 61 flores en cinco minutos, mientras que otros solamente entre 4 a 11 flores en ese lapso de tiempo (Nieto, citado por Valdés 2002). Por otro lado, Pérez *et al.* (2012), señala que las abejas melíferas visitan más flores comparado con avispas y moscas y que su ventaja con respecto a las moscas radica en su mayor eficiencia en la visita floral por unidad de tiempo y en relación con las avispas su densidad es mayor en

campo. A su vez, este autor indica que las abejas llevan menos polen en sus cuerpos, en cambio las moscas llevan más polen pero visitan menos. Tomando en cuenta esta información generada en ensayos previos, se podría considerar a la abeja melífera como un potencial polinizador en la zona de estudio, puesto que es posible encontrarla más abundantemente que las avispas, en este caso los individuos de la familia Vespidae y además son muy activas, ya que se les observó en varias flores en una misma visita e incluso tratando de abrir flores que se encontraban cerradas.

Las abejas melíferas y los meliponinos (abejas sin aguijón) juegan un papel importante en otras especies vegetales y así lo refiere Aguirre y sus colaboradores (2011), en estudios realizados en inflorescencias de la palma *Astrocaryum mexicanum* ubicada en zonas boscosas, donde *A. mellifera* fue una de las 57 especies visitantes de mayor importancia, también mencionan a *Trigona fulviventris*. Ambos insectos se recolectaron durante los muestreos en San Pablo, lo que deja en evidencia su diversidad de hábitats y su rol como visitantes florales en varios tipos de plantas.

Las abejas sin aguijón de la subfamilia Meliponinae (Anexo 12), también se observaron en forma cuantiosa en las flores del aguacate desde tempranas horas de la mañana, haciéndose más fuerte hacia las 10:00 h e incluso en las tardes se advirtió su presencia aun cuando las condiciones eran poco cálidas. Estos resultados se corroboran con los de Ish-Am *et al.* (1999), quienes encontraron nueve especies de Meliponinae visitando flores de aguacate y los de Castañeda (2000), que halló a *Geotrigona acapulensis*, acumulando una cantidad importante de polen en su cuerpo, lo que es un dato valioso para considerarla como un potencial polinizador.

La flor del aguacate está adaptada para ser polinizada por abejas tropicales de tamaño pequeño (4 a 8 mm), así como por avispas y moscas (Wysoki *et al.* 2002). Al ser este un cultivo de región neotropical, los rasgos florales podrían hacerlo muy atractivo a sus polinizadores naturales (Ish-Am *et al.* 1999; Afik *et al.* 2014; Pérez *et al.* 2012). En el caso de países como México, los muestreos de visitantes en *P. americana* han determinado que antes de la introducción de *A. mellifera*, los polinizadores originales de este cultivo pudieron haber sido especies de hábitos sociales como los meliponinos y la avispa *Brachygastra mellifica* (Ish-Am *et al.* 1999; Wysoki *et al.* 2002; Peña 2003).

Las abejas sin aguijón poseen virtudes de buen polinizador y las flores del aguacate resultan ser una fuente de alimento significativa para estos insectos. Debido a su pequeño tamaño, se da un contacto eficiente con las partes reproductivas de la flor y durante la actividad de forrajeo visitan tanto flores femeninas como masculinas, rozando su tórax y abdomen (que son zonas que recolectan gran cantidad de polen), el cual luego es transferido a las patas traseras (Ish-Am *et al.* 1999). Otro dato que se debe mencionar, es que las abejas nativas tienen la capacidad de acarrear más polen que *Apis mellifera* en varios cultivos de alto valor comercial.

Siguiendo con el grupo de los himenópteros, la avispa *Agelaia areata* fue numerosa. Este insecto se caracteriza por ser muy tolerante a la perturbación de los hábitats y es depredadora de larvas de otros insectos, además se ha registrado alimentándose de néctar (Amat *et al.* 2009), razón por la cual se le pudo haber observado en elevada cantidad. En estudios anteriores se han mencionado muchas especies de avispas visitando flores de aguacate, pero han llegado a la conclusión que pocas contribuyen a la polinización, puesto que sus cuerpos carecen de estructuras especializadas para trasladar polen; también han capturado avispas que tienen el cuerpo recubierto de pelos especializados para este fin y que trasladan mayor cantidad de polen pero que por su poca actividad y baja velocidad de visitación, no contribuyen a la polinización (Ish-Am *et al.* 1999).

En el caso de los himenópteros más grandes como *Bombus* sp., *Xylocopa* sp. y *Campsomeris ephippium.*, se les observó poco durante los muestreos, pero su actividad fue mayor en una plantación de *Passiflora ligularis* (granadilla), ubicada al este del huerto experimental. Las visitas de estos individuos a las flores del aguacate fueron esporádicas y por un lapso muy corto, de hecho no regresaban a las panículas, como sí se le percibió hacer a la abeja melífera, moscas y avispas. Al parecer la talla de estos insectos y su poca población los coloca en una posición de desventaja para ser considerados como polinizadores eficientes (Castañeda 2000).

4.1.2 Diptera.

Por ser un grupo muy cuantioso en las recolectas, por su abundancia en el huerto; la diversidad de familias registradas y su constante actividad desde tempranas horas de la

mañana y hasta avanzadas horas de la tarde; los dípteros deben ser considerados como un grupo valioso y un potencial polinizador del aguacate. Este orden es solo superado por los himenópteros, que fueron aún más activos y aportaron una mayor variabilidad en cuanto al número de especies, concordando con lo establecido por Castañeda (2000), Kearns (2001), De la Cuadra (2007); Ssymank *et al.* (2008) y Pérez *et al.* (2012).

Vithanage (1990), sugirió que por la estructura de la flor del aguacate y la accesibilidad del néctar, *Persea americana* podría ser una planta polinizada por moscas en su entorno natural. La elevada cantidad de miembros del orden Diptera en el huerto, se puede atribuir a que estos individuos poseen la capacidad de discriminar colores y tienen preferencia por el amarillo, por lo que las flores del aguacate le resultan muy atractivas (Kevan y Baker 1983; Castañeda 2000).

Estudios recientes han encontrado que las moscas de la familia Calliphoridae llevan el doble de granos de polen de aguacate en sus cuerpos, comparado con lo transportado por abejas y avispas, por lo que podrían desempeñar un papel fundamental en la transferencia de polen, pues se encuentran en altas densidades en los huertos (Pérez *et al.* 2012). Varios autores han destacado la eficiencia de las moscas en este tema, pero muchos de ellos concuerdan que no todas son polinizadoras y que acuden ocasionalmente para recolectar néctar (Vithanage 1990; Eardley y Mansell 1996; Visscher 1997; Ish-Am *et al.* 1999; Castañeda 2000).

Durante el muestreo se recolectaron mayoritariamente individuos de la familia Sarcophagidae y Tachinidae (Anexo 13), especialmente en horas de la mañana y su mayor presencia se puede atribuir a que los dípteros son muy activos y durante el día visitan las flores para sustraer el néctar, asimismo utilizan el polen para la maduración de las gónadas y de esta manera llevar a cabo la puesta de huevecillos (Llorens 1990). Valdés (2002), reporta que durante sus ensayos en un huerto de aguacate en Chile, sobresalieron las familias Muscidae y Sarcophagidae, representando el 55% y 60% del total de moscas capturadas en las localidades de Quillota y La Ligua, respectivamente. Sin embargo, esta investigadora no los consideró como polinizadores porque estuvieron ausentes en las flores del cultivo. No obstante, durante las recolectas en San Pablo de León Cortés, los múscidos y sarcófágidos sí fueron percibidos en las flores, lo que concuerda con los resultados de Castañeda (2000),

quien a su vez menciona que los miembros de la familia Sarcophagidae mostraron preferencia por el néctar y que el contacto con las anteras fue frecuente, pero al tener pocas setas en su cuerpo la adhesión y traslado de polen al estigma fue poco. En cuanto a los Tachinidae, Castañeda (2000), señala que visitaron flores femeninas y masculinas para alimentarse del néctar y que varias especies, entre ellas *Archytas* sp. (Anexo 13B), que asimismo se registra como una de las especies recolectadas en San Pablo; mostraron poco polen en su cuerpo y no tocaron el estigma. Este autor excluyó a los taquípidos y sarcófagidos como polinizadores, por su poco contacto con el estigma.

También Villamil (2014), realizó un muestreo de insectos acarreadores de polen en aguacate y registró dos especies de Sarcophagidae, los cuales se caracterizaron por ser poco abundantes en el huerto y por transportar escasos granos de polen en su cuerpo, lo que podría indicar que esos dípteros no jugarían un rol fundamental en la polinización del aguacate. Sin embargo, dentro del grupo de los dípteros, varios estudios indican que los miembros de la familia Syrphidae sobresalen como potenciales polinizadores del cultivo, por su capacidad de transportar altas cantidades de polen en su cuerpo. (Vithanage 1990; Ish-Am *et al.* 1999 y Valdés 2002). Según Valdés (2002), los sírfidos llegan a las flores de aguacate tanto en fase femenina como masculina para la recolección de néctar exclusivamente y su mayor actividad se presenta en horas de la mañana. Esta autora indica que durante su ensayo en Chile, los individuos de esta familia fueron la única especie de dípteros que observó visitando las flores del aguacate y por tanto le confirió el segundo lugar en importancia como polinizador, debido a que el promedio fue de un sírfido/m², también por su abundancia, mayor diversidad y movilidad. No obstante, es importante resaltar que durante este ensayo solamente se recolectó una morfoespecie de sírfido, pero no puede descartarse la posibilidad que una mayor cantidad de estos individuos estuvieran presentes en el cultivo, debido a que las colectas de dípteros resultaron difíciles por su gran movilidad y rapidez de vuelo.

4.1.3 Coleoptera.

Respecto a los coleópteros, éstos se registraron en poca proporción y predominó la familia Mordellidae (Anexo 14). A los mordélidos se les asocia con una gran variedad de flores pertenecientes a familias como Rosaceae, Rubiaceae, Fabaceae y Cornaceae

(Serrahima y Leblanc 2007), por lo que se cree que se alimentan de néctar (Booth *et al.*, citados por Ish-Am y Eisikowitch 1998) o polen (Ish-Am *et al.* 1999). Los Mordellidae tienen setas en la zona de la mandíbula y en el cuerpo que les permiten transportar polen (Krenn *et al.* 2005) y en aguacate se les ha encontrado visitando flores en estado masculino, pero no se ha considerado que lleven a cabo la polinización, sino que utilizan este recurso floral para su alimentación (Ish-Am *et al.* 1999).

4.1.4 Hemiptera.

El orden Hemiptera fue el que tuvo menor participación en la visita floral y esto coincide con los resultados obtenidos por Valdés (2002), quien indica que en los miembros de este grupo representaron un porcentaje muy bajo durante las recolectas de visitantes y que son individuos que se alimentan de plantas o tienen hábitos depredadores, por lo tanto no los consideró como potenciales polinizadores. Por su parte Ish-Am *et al.* (1999), revela que el hemíptero *Stenomacra marginella* entra a las flores en estado masculino durante las noches y lo reporta transportando importantes cantidades de polen, pero no se detectaron visitas a flores femeninas, por lo que queda en duda su potencial polinizador.

Los resultados obtenidos con este muestreo de visitantes florales del aguacate, deja en evidencia el papel tan importante que cumplen en el transporte de polen una gran variedad de insectos, ya que por lo general se considera que la abeja melífera es la única con la capacidad de polinizar los cultivos y en este estudio se ha dado un enfoque más amplio sobre la actividad de otros grupos como los dípteros, coleópteros, hemípteros y otros himenópteros aparte de *Apis mellifera* como posibles polinizadores.

En países como México y Chile, estos muestreos les han permitido sacar a relucir el valor de los polinizadores, que por lo general son especies nativas presentes en cada una de las regiones productoras del cultivo y la necesidad de protegerlos, evitando el uso de insecticidas en las horas de mayor actividad, procurar la existencia de recursos florales y herbáceos para que los insectos tengan acceso a fuentes de alimento y refugio cuando las plantaciones de aguacate no se encuentran en floración, así mismo cuidar las áreas boscosas debido a que muchos de estos grupos de insectos están asociados con áreas de vegetación endémica (Ish-Am *et al.* 1999; Castañeda 2000; Valdés 2002; Villamil 2014). Estos autores

proporcionan esta serie de sugerencias, porque en sus estudios han encontrado mayor diversidad y abundancia de insectos en los huertos cercanos a zonas con cuantiosa vegetación natural.

En Centroamérica hay muchos polinizadores silvestres (que no son *A. mellifera*), por lo que estos insectos utilizan la floración del aguacate como una fuente primordial en su alimentación y se ha señalado que incluso lo prefieren a otras fuentes aprovechables, por lo que se debe incentivar su presencia en los huertos (Ish-Am *et al.* 1999). En Costa Rica es necesario realizar una evaluación a profundidad de la contribución realizada por los visitantes nativos a la polinización del aguacate, con el propósito de plantear alternativas de producción que contribuyan a su reproducción y así asegurar la continuidad y presencia de las poblaciones de insectos benéficos en los campos cultivados.

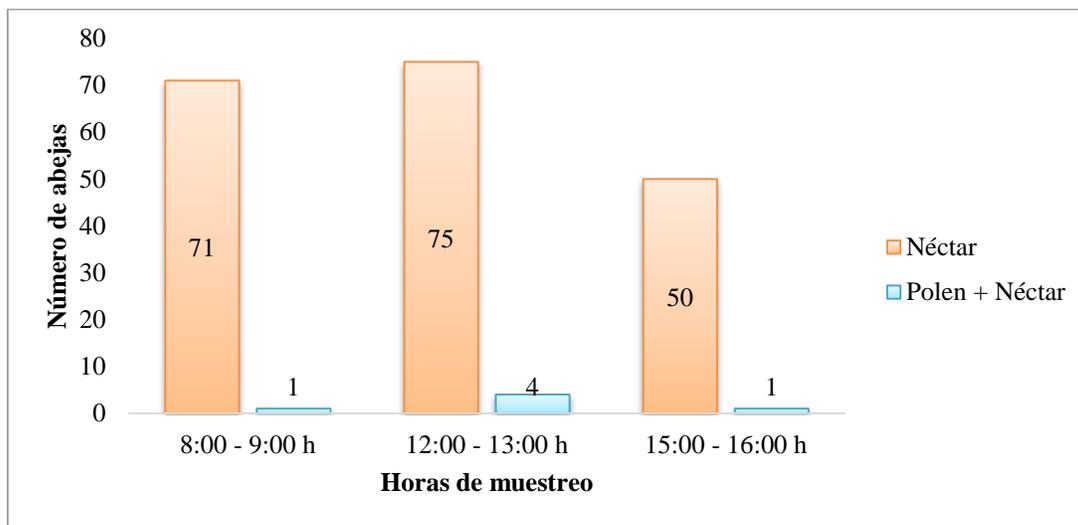
4.2 Recursos recolectados por *Apis mellifera* durante su visita a las flores del aguacate.

4.2.1 Pecoreo de néctar y néctar+polen.

La Figura 7 presenta el total de abejas melíferas observadas en las ramas seleccionadas durante los cuatro días en los cuales se realizó el ensayo, según horarios de muestreo y tipo de recurso floral recolectado. Se registró un total de 202 abejas visitando las flores durante los cuatro días (Anexo 4), de estas el 97% acudieron en busca de néctar y solamente se percibió un 3% recolectando néctar+polen. Lo cual establece una preferencia alimenticia alta de las abejas pecoreadoras por el recurso néctar. Cabe destacar que no se halló a *A. mellifera* recolectando solamente polen en el momento que se realizaron las observaciones, pero en otras ocasiones durante este estudio, si fue posible advertir cargas de polen en su cuerpo, que muy probablemente pertenecieran a *P. americana*, debido a su coloración característica. Sin embargo, algunas veces, aún en la recolecta de néctar, las abejas pueden limpiar el polen presente en los pelos de su cuerpo y acumularlo en la corbícula como una carga de polen de aguacate. Se considera en términos generales que las abejas que

pecorean néctar son las más importantes desde el punto de vista de la polinización, ya que en la búsqueda de este recurso, partes de su cuerpo tocan las estructuras reproductivas y así fomentan la polinización en las flores (Sánchez 2016³).

Figura 7. Número total de abejas melíferas registradas en las ramas seleccionadas, según recurso floral recolectado y hora de muestreo.

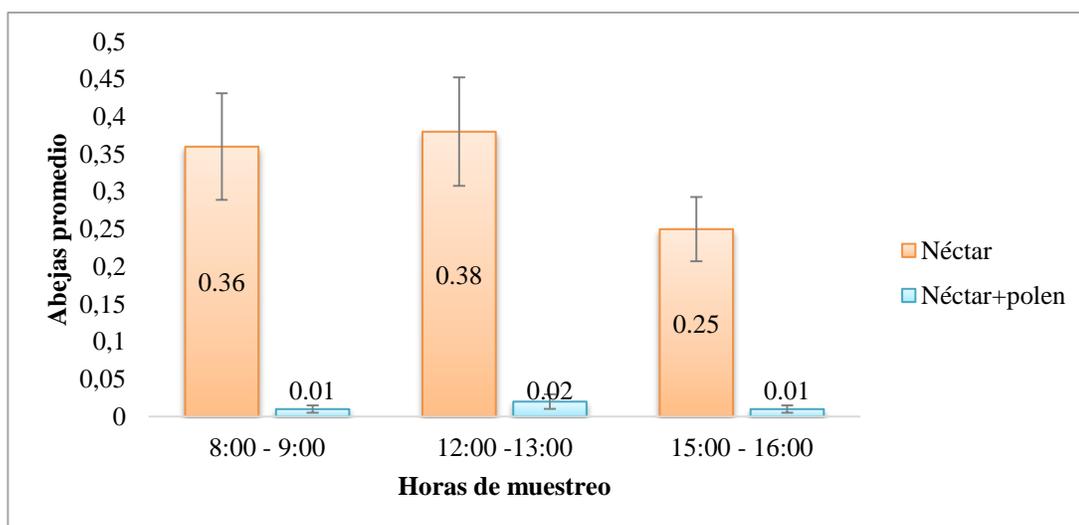


Asimismo, la Figura 7 muestra las preferencias diurnas de recolecta por parte de las abejas y los resultados indican que de las 196 abejas que recolectaron néctar, el 38.27% prefirió realizar esta labor en el lapso comprendido entre las 12:00-13:00 h, lo que implica 75 individuos. No muy diferente fue el pecoreo de este recurso durante el horario de las 8:00-9:00 h, donde 71 individuos se dedicaron a esta labor, significando un 36.22% del total. En la tarde, la recolecta de este recurso bajó y solamente 50 abejas transportaron néctar, lo que significa un 26.18% entre las 15:00-16:00 h. En el caso del recurso néctar+polen, la pocas abejas que lo recolectaron (seis individuos en total), lo hicieron principalmente en el horario del mediodía, es decir cuatro abejas en este período y para los demás horarios solamente un individuo desempeñó este trabajo.

³ Sánchez, LA. 01 mar. 2016. Polinización del cultivo de aguacate (comunicación personal). Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional.

En la Figura 8 se muestra el promedio de abejas/rama/min de acuerdo al tipo de recolecta realizada y con base al horario de muestreo establecido. En el lapso de 8:00-9:00 h un promedio de 0.36 abejas/rama/min acudieron en busca de néctar, para las 12:00-13:00 h este número aumentó a 0.38 abejas/rama/min y hacia las 15:00-16:00 h la recolecta de dicho recurso descendió, presentándose solamente 0.25 abejas/rama/min para ese período. Para el recurso néctar+polen, un promedio de 0.01/abejas/rama/min visitaron la flores en la mañana y tarde; al ser el mediodía fue de 0.02 individuos/rama/min.

Figura 8. Número promedio de abejas/rama/min, de acuerdo al tipo de recurso floral pecoreado y según horarios de muestreo.



Los resultados obtenidos en este ensayo concuerdan con trabajos anteriores, en los cuales se ha observado a *A. mellifera* recolectando mayoritariamente néctar y en ninguna ocasión exclusivamente polen (Castañeda 2000; Valdés 2002; De la Cuadra 2007). Por otro lado, Castillo (2002) obtuvo similares porcentajes de pecoreo que los registrados en el presente estudio y señala a *A. mellifera* recolectando néctar y néctar+polen en 98.48% y 1.26% respectivamente, además encontró abejas transportando polen en un bajo porcentaje (0.25%). Este mismo autor colocó trampas de polen y encontró que el promedio de polen de aguacate acarreado con respecto a otras especies vegetales fue muy bajo, siendo no mayor a 3.3% del total diario medido en tres colmenas y en promedio de 1.58% por colmena,

reforzando los resultados aquí obtenidos sobre el hecho que estos insectos tienen preferencia por el néctar de aguacate y no por su polen.

4.2.2 Posibles factores incidentales en la recolecta de los recursos florales.

Esta investigación permitió considerar al néctar de aguacate como una fuente importante de alimento para las abejas, ya que es atractivo y por ende les permitiría satisfacer las necesidades de la colmena (De la Cuadra 2007). Se observó tal interés por esta sustancia, que en las mañanas cuando las flores aún no estaban abiertas en su totalidad, *Apis mellifera* forzaba las estructuras florales e insertaba su probóscide para obtener el néctar (Figura 9).

Figura 9. Pecoreo de la abeja melífera sobre una flor semi-cerrada de aguacate.



Este comportamiento de pecoreo en flores semicerradas, ha sido descrito por Valdés (2002) y Castillo (2002), pero este último autor revela como aspecto negativo que esa conducta repercutiría en la polinización del cultivo, porque en flores cerradas no se favorece el contacto del estigma con las zonas del cuerpo de la abeja que acarrean el polen, disminuyendo la posibilidad de que haya una polinización adecuada.

Al parecer las flores del aguacate resultan llamativas para la abeja melífera por el recurso nectarífero que éstas ofrecen como recompensa, aunque algunos autores como Ish-Am y Eisikowith (1998) y Vithanage (1990), han indicado que son poco atractivas porque su color verde amarillento tiende a mezclarse y confundirse con el follaje, además mencionan

que el polen y néctar no estarían adaptados a las necesidades de *A. mellifera*, debido a que el aguacate y estos insectos tienen centro de origen distintos, por lo tanto, es posible que no hayan desarrollado mecanismos adaptativos que favorezcan la polinización (Ish-Am y Eisikowitch 1998; Vithanage 1990). Estas aseveraciones realizadas hace más de una década, dejan entrever que el mecanismo adaptativo *Apis mellifera-Persea americana* ha venido conformándose con el paso de los años, ya que la introducción de la abeja melífera en cultivos de importancia económica como el aguacate, ha permitido formar un lazo estrecho y desarrollar activamente la relación planta-insecto, en contraposición a la referencia que hicieron los autores citados anteriormente (Yarita 2014).

El néctar es segregado en la fase femenina por los estaminodios (estambre atrofiado y estéril) y por los nectarios en el estado masculino (Ish-Am y Eisikowitch 1991), pero autores como Cabezas *et al.* (2003), han observado comportamientos anormales en estos órganos, por ejemplo se menciona el caso que algunos nectarios iniciaban la secreción en la fase femenina y que los estaminodios prolongaron su producción nectarífera hasta llegar a la fase masculina, concordando con la secreción de los verdaderos nectarios, lo que supone una mayor cantidad de néctar disponible para las abejas, tanto en la etapa masculina como femenina de las flores del aguacate. Esta conducta floral pudo haberse presentado durante el ensayo y de haber sido así, es posible que las abejas recolectaran más néctar por su mayor disponibilidad.

Ya se ha indicado que no se distinguieron abejas dedicando visitas exclusivamente a la recolecta de polen, pero sí fue recolectado mientras se recolectaba al mismo tiempo néctar, lo cual revela que la abeja melífera no se limitó en su totalidad de trasladar polen. Narváez (2013), revela un comportamiento similar al encontrado durante los muestreos de este trabajo, pero en el cultivo de soya (*Glycine max*); donde no observó el pecoreo de polen y esta autora considera posible que dicho recurso sea ingerido durante la recolección de néctar, el cual pasa por el buche melífero para posteriormente ser regurgitado en las celdas de almacenamiento de los panales y permanece en ese sitio hasta su cosecha, esta sería una de las razones por las cuales se evidenció a más abejas cosechando néctar y que a su vez podía contener el polen.

También el bajo porcentaje de abejas que recolectó polen se puede atribuir a la división de trabajo dentro de la colmena, al cual hace referencia De la Cuadra (1999), quien menciona que el 75% de las pecoreadoras se dedican al pecoreo del néctar y solamente un 25% salen en busca de polen, así mismo, la recolecta de este recurso depende de las necesidades proteicas de la colmena y que las plantas sean atractivas para las abejas, además que les suministren recursos florales de calidad. Un estudio llevado a cabo por Malerbo-Souza *et al.* (2000) en Brasil, señala a la abeja europea destinando el 57.3% de sus visitas a la recolecta de polen durante el año 1997, pero para 1998 el comportamiento cambió y la recolecta fue destinada al pecoreo de néctar, con un porcentaje de 66.7; que podría justificarse de acuerdo a las necesidades de la colmena en los diferentes períodos. Quizá durante el ensayo en la parcela experimental, las colmenas no necesitaron recolectar mucho polen pero si precisaban del néctar, el cual es imprescindible como recurso energético, ya que suministra los carbohidratos que requieren las abejas y que son almacenados como miel.

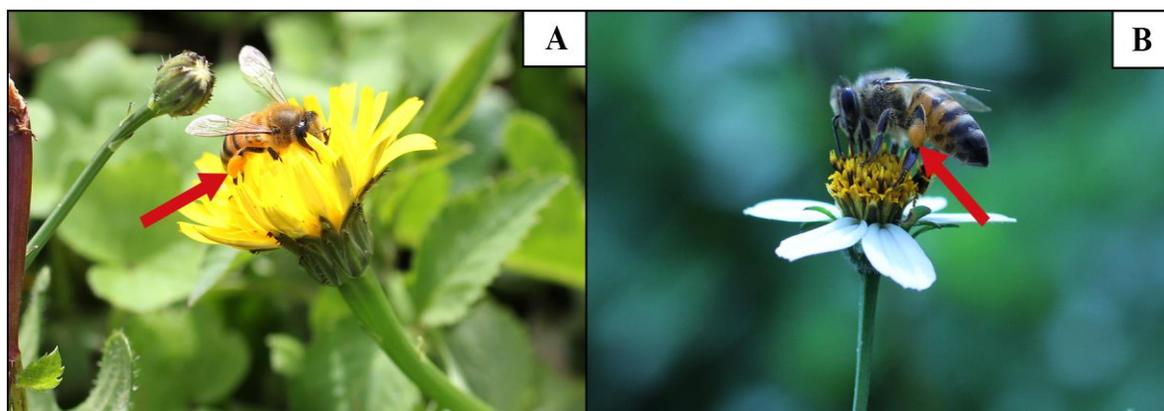
Otra posible causa de la poca recolecta de polen podría estar ligada a la densidad de abejas, ya que se ha probado en lugares como Israel, que el pecoreo de dicho recurso floral puede alcanzar el 50% cuando la cantidad de abejas aumenta de 3 a 40 por árbol (Ish-Am y Eisikowitch 1998). Igualmente se debe tomar en cuenta que el polen del aguacate es muy pegajoso (Gardiazábal, citado por Valdés 2002) y a lo mejor por ese motivo las abejas limpian su cuerpo y eliminan de esa manera los granos de polen adheridos, lo que a su vez disminuye la eficiencia de la polinización (Castillo 2002). Por otra parte, el tamaño del polen es un punto importante a considerar, ya que las abejas tienen especial preferencia por las partículas medianas a pequeñas (Rallo, citado por Castillo 2002) y en el caso del aguacate los granos son medianos, por lo tanto, este no es un factor determinante de la poca cantidad de polen recolectado por las abejas (Castillo 2002), pero sí lo pueden haber sido los otros aspectos mencionados.

Un punto importante a destacar con respecto al nulo pecoreo de polen por parte de *A. mellifera*, es que fue posible observar abejas transportando este recurso de sitios ocupados por malezas en estado de floración, las cuales se manifestaron muy atractivas por sus colores amarillos. Las arvenses a las que se hace referencia son *Hypochoeris radicata* y *Bidens pilosa*; de las cuales se comentará con mayor detalle en el apartado 4.3.4. De estas malezas,

en la que se evidenció mayor actividad fue en *B. pilosa*, la cual es una hierba que tiene una distribución muy amplia y es posible encontrarla desde el nivel del mar hasta los 2 500 metros de elevación y destaca el hecho de ser una planta melífera (Vanda *et al.* 2005).

Las asteráceas han resultado tener alta representatividad en las especies poliníferas preferidas por *A. mellifera*, así lo demuestran las investigaciones llevadas a cabo por Faye *et al.* (2002), Díaz *et al.* (2011) y Salamanca *et al.* (2014) en Argentina, Cuba y Colombia respectivamente. En este ensayo, las arvenses *Bidens pilosa* e *Hypochoeris radicata*; fueron visitadas con mucha frecuencia e incluso se observó a las abejas salir con cargas de polen de estas plantas que habían sido eliminadas del campo con anterioridad (Figura 10).

Figura 10. A) *Hypochoeris radicata*. B) *Bidens pilosa*. En ambas imágenes obsérvese la carga de polen en las patas traseras de la abeja, señalada con la flecha de color rojo.



Vivas *et al.* (2008), menciona a *B. pilosa* y a *H. radicata* como dos de las ocho especies vegetales más importantes en la producción de polen en el municipio de Popayán en Colombia y dichas plantas son fundamentales para el mantenimiento de las colonias porque favorecen el sostenimiento en épocas de poca floración. También Leal y León (2013), en un estudio en Cuba, encontraron que *Apis mellifera* utiliza una mayor cantidad de recursos florales entre los que destacan *P. americana* y *B. pilosa*, pero curiosamente reportan que la abeja melífera recolecta más polen de aguacate que de *B. pilosa*, aunque en ambas plantas se reporta una frecuencia muy baja de estos tipos de polen en las colmenas analizadas.

Vithanage (1990), Ish-Am y Eisikowitch (1993, 1998), han encontrado abejas visitando flores competidoras más atractivas que las del aguacate como mostaza y cítricos de las cuales recolectan polen y salvias para néctar; (Arpaia y Hofshi 2004) y Afik *et al.* (2006), demostraron que la abeja europea prefiere el olor de flores de cítricos. Estos autores revelan que las abejas al ubicar fuentes de alimento que ofrecen mayor cantidad y calidad nutritiva, desprecian los recursos ofrecidos por el aguacate y se enfocan en pecorear en las fuentes que les resultan más ventajosas. También han encontrado que el aguacate es una planta que segrega néctar con componentes repelentes que actúan sobre los visitantes florales y sus dos minerales principales como lo son el potasio y fósforo, se encuentran en una concentración suficiente que repele las abejas melíferas (Afik *et al.* 2006; Afik *et al.* 2014). De estas situaciones se desprende la importancia de colocar en campo el número de colmenas necesarias para el cultivo que se pretende polinizar, tomando en cuenta la existencia de especies competidoras y de posibles ventajas adaptativas de las plantas (Vithanage 1990; Arpaia y Hofshi 2004).

4.2.3 Aportes a la polinización de aguacate según la preferencia de recursos florales.

En este ensayo hubo mayor actividad de pecoreadoras de néctar, por lo que se podría considerar la posibilidad de una contribución a la polinización del aguacate. Esta idea surge con base a lo expuesto por Castillo (2002), Arpaia y Hofshi (2004) e Ish-Am (2004), quienes mencionan que existen tres funciones en el grupo de las abejas pecoreadoras: las que se dedican a la recolecta de néctar, de polen o néctar+polen y para el caso del cultivo de aguacate se requieren las colectoras de néctar y de néctar+polen, debido a que estos insectos visitan tanto las flores femeninas y masculinas (conducta que se presentó en esta investigación), en busca de néctar en ambos estados y las que van por néctar o néctar+polen concurren a las flores en estado masculino, quedando con granos de polen en su cuerpo, luego trasladan ese polen a las flores femeninas cuando buscan néctar. De esta manera, la polinización tiene lugar cuando el polen que accidentalmente se ha adherido a los pelos de la abeja realiza contactos efectivos con las anteras y el estigma (Castañeda 2000).

Las pecoreadoras de polen no realizan visitas a las flores femeninas y empaquetan este recurso en bultos compactos de granos que no son útiles como fuentes polinizadoras, por

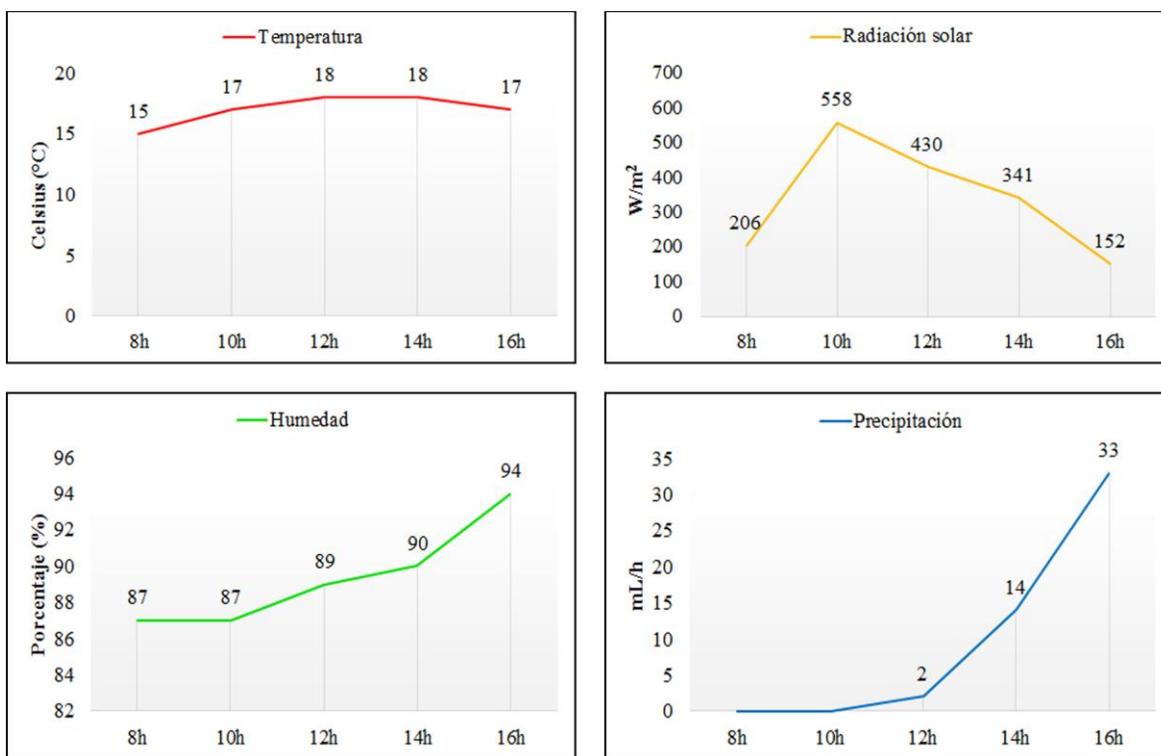
lo tanto no contribuyen a la polinización (Arpaia y Hofshi 2004). El polen corbicular pierde su acción germinativa debido a que las secreciones de las glándulas mandibulares de las abejas obreras poseen propiedades antibióticas (Castillo 2002).

4.2.4 Factores climáticos asociados al momento de pecoreo de recursos.

De acuerdo a Neira *et al.*, citados por Martínez (2003), la variación en el patrón de actividad de las abejas a lo largo del día, depende de varios factores, entre ellos el atractivo de la variedad, el cambio en la cantidad y concentración de azúcares del néctar por efecto de la temperatura y la humedad ambiental. Respecto a este tema, en un estudio realizado por Degani *et al.*, citados por Yarita (2014), midieron la cantidad de néctar de diferentes cultivares y señalaron que para cada variedad la concentración de este recurso es distinta, debido al tipo de azúcares que lo conforman y del tamaño de los nectarios. En el caso de Hass observaron que tiene tres veces menor contenido de néctar con respecto al cultivar Ettinger (Tipo B).

La concentración de azúcares es mayor en días soleados que en nublados, ya que los azúcares del néctar son producto de la fotosíntesis (la cual depende del sol) (Reyes y Cano 2000), haciendo que las flores sean más atractivas. En condiciones de alta humedad o con precipitaciones, el néctar se diluye, haciéndolo menos atractivo para las abejas (Rallo 1987; Corbet *et al.*, citado por Valdés 2002). Tomando en consideración la información citada en el párrafo anterior, se puede explicar el comportamiento de la recolecta de néctar, la cual se centró principalmente en dos horarios de muestreo, es decir, entre las 8:00-9:00 h y con mayor fuerza entre 12:00-13:00 h, así como también el pecoreo de dicho recurso tendió a disminuir al caer la tarde (15:00-16:00 h). Esta manera de actuar se puede vincular con las condiciones de temperatura, radiación solar, humedad y precipitación, predominantes durante la semana del 14 al 20 de septiembre de 2014, momento en el cual se llevó a cabo el muestreo (Figura 11).

Figura 11. Datos promedios de temperatura, humedad, radiación solar y precipitación para la semana del 14-20 septiembre del 2014. Estación meteorológica APACOOOP.



En este estudio el 74.75% de las visitas destinadas tanto a la recolecta de néctar y de néctar+polen, se centraron en los dos horarios ya mencionados, lapsos en los cuales la temperatura y la radiación solar tienden a aumentar, lo que incentiva la actividad pecoreadora y el néctar se vuelve más concentrado, haciéndolo más atractivo a las abejas. Así mismo, durante la semana de muestreo, los datos más elevados de humedad relativa y precipitación se presentaron a partir de las 14:00 h y aumentaron hasta las 16:00 h, lo que pudo haber provocado la dilución del néctar y por lo tanto una caída en la actividad de la recolecta de néctar por su escaso nivel de azúcar.

En otros cultivos se ha mostrado un comportamiento similar al de este estudio en cuanto al pecoreo de néctar se refiere, llevándose a cabo principalmente durante las mañanas. Por ejemplo, en sandía, se reporta la actividad de pecoreo que favorece la polinización de esta fruta en horas de la mañana, especialmente entre las 9:00-10:00 h (Leal *et al.* 2009). También en melón, Di Triani (2007) encontró que el pecoreo de recursos se realizó antes del

mediodía, totalizando el 65% de las visitas. Otro caso es el de la soya, en el cual las abejas recolectan néctar a las 8:00 h y 10:00 h (Narvaéz 2013).

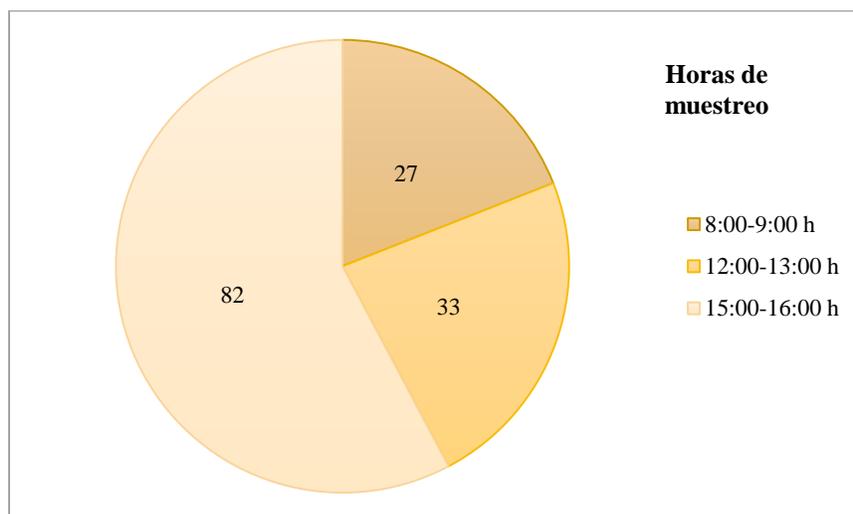
4.3 Actividad de la abeja melífera en las ramas en floración.

4.3.1 Visitas totales en los días de muestreo.

La actividad de *A. mellifera* en las flores de aguacate se presenta con más detalle en el Anexo 5, que es la hoja de campo que contiene el registro de visitas a las ramas seleccionadas en estado de floración. En la Figura 12 se exhibe el total de visitas contabilizadas en los horarios de muestreo establecidos, mostradas como número de abejas que acudieron a las panículas floreadas en las ramas seleccionadas por un lapso de cinco minutos.

Se contabilizaron 142 visitas, de las cuales el 57.75% se realizó en el período comprendido entre las 15:00 y 16:00 h, lo que deja muy claro el hecho que las abejas prefirieron este momento para acudir a las flores. En los horarios de 8:00-9:00 h y de 12:00-13:00 h las ramas recibieron un 19.01% y 23.24% visitas respectivamente, en relación al total registrado.

Figura 12. Recuento del total de visitas realizadas por la abeja melífera en las ramas seleccionadas, posterior al ingreso de las colmenas y según horario de muestreo.



Existe una tendencia a encontrar un mayor número de abejas en la tarde. Similares resultados han obtenido autores como Valdés (2002), quien reporta una mayor tasa de visitas entre 15:00-16:00 h en la localidad de Quillota con un 36.66% del total de abejas halladas en el huerto. Por otro lado Castañeda (2000), ha indicado que en sus investigaciones el pico máximo de actividad se centró entre las 11:00 a las 16:00 h, pero que percibió abejas desde las 8:00 y hasta las 19:00 h. En el presente estudio, se observó a *Apis mellifera* en campo desde las 6:00 am y hasta pasadas las 5:00 pm, pero en las primeras y últimas horas del día su actividad fue muy escasa, por lo que no se tomaron en cuenta esas horas para realizar los muestreos.

También Yarita (2014), ha indicado que durante sus ensayos, la presencia de la *A. mellifera* en el cultivo se incrementó a partir de las 10:00 am y lo mismo ocurrió en el huerto evaluado, porque en el lapso comprendido entre las 8:00 h y las 10:00 h, la temperatura tendió a elevarse, provocando un aumento en el número de individuos que se observaron visitando las flores. En cultivos como el almendro (*Prunus dulcis*) y peral asiático (*Pyrus pyrifolia*) se presenta el mismo comportamiento que el descrito en el cultivo de aguacate, es decir, que este insecto visita en mayor cantidad las flores en la tarde, específicamente entre las 13:30-16:30 hr, con un máximo de 249 visitas en almendro variedad Price y 233 en peral variedad Hosui (Martínez 2003).

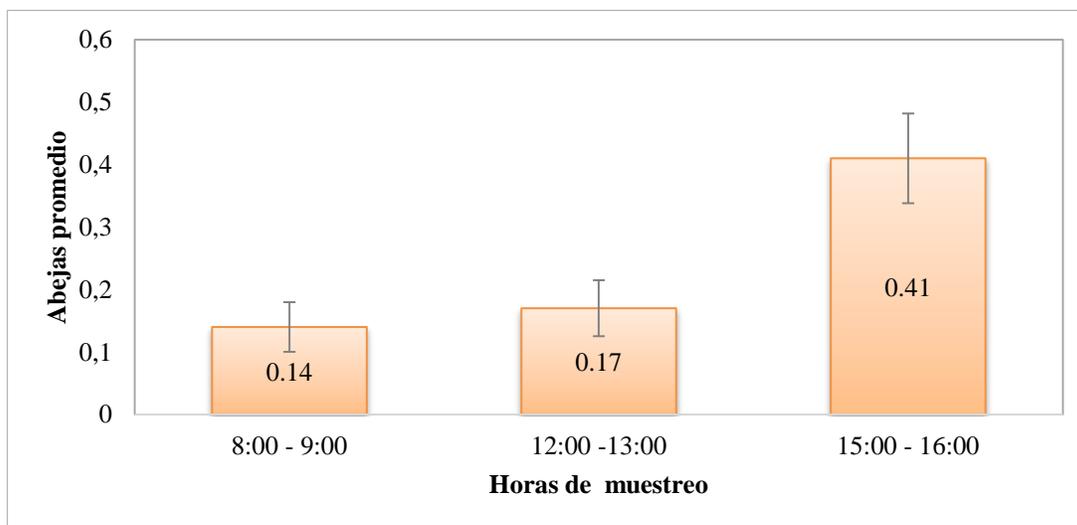
Castañeda (2000), contabilizó un mayor número de abejas, entre 18 a 20, a partir de las 12:00 y hasta las 16:00 h. De igual manera, durante el ensayo en San Pablo de León Cortés, se acentuó un aumento en la cantidad de individuos registrados a partir de las 12:00 mediodía y un notable descenso al ser las 16:30 h. Esta conducta favorece la polinización cerrada (de flores en un mismo árbol), porque desde las 11:00 a las 14:00 h se presenta el período donde existe mayor posibilidad de traslape entre el estado masculino y femenino de las flores (Bergh 1967; Cautín, citado por Fried 1999; Castillo 2002), sin embargo Gardiazábal y Rosenberg, citados por De la Cuadra (1999), afirmaron que el polen tiene una viabilidad cercana a las 72 horas y aunque no hubiese coincidencia entre las flores en estado femenino y masculino a la misma hora, las abejas pueden polinizar flores femeninas con polen que recolectan de flores en estado masculino en otras horas del día. Al parecer la abeja

melífera ha ido desarrollando un hábito que coincide con la dicogamia del aguacate, lo que incrementaría la polinización (Yarita 2014).

4.3.2 Número promedio de abejas/rama/min.

En la Figura 13 se aprecia el cálculo del número promedio de abejas/rama/minuto. En las primeras horas de la mañana, específicamente cuando se muestreó de las 8:00 a las 9:00 horas, la tasa de visitación fue 0.14/abejas/rama/min. Conforme avanzó el día y las condiciones se tornaron más cálidas (de 12:00 a 13:00 h), *A. mellifera* mostró un aumento en su desempeño, obteniendo como resultado una tasa de 0.17 abejas/rama/min/. El mayor número de individuos se observó en la tarde, en el lapso comprendido entre las 15:00 y las 16:00 h; con un promedio de 0.41 abejas/rama/min. Si se suman los promedios de los tres períodos de observación, una rama recibe 0.72 visitas aproximadamente.

Figura 13. Promedio de visitas en términos del número de abejas/rama/min, para los distintos períodos de observación.



Para poder comparar los resultados generados en este muestreo con otros realizados anteriormente, se procedió a efectuar un cálculo basado en varios supuestos de acuerdo a los datos derivados de la experiencia en campo, con el propósito de obtener una idea del número

aproximado de abejas que posiblemente pudieron haber visitado un árbol durante un minuto, puesto que los datos aquí exhibidos están dados en cantidad de abejas por rama. Todos los cálculos y supuestos que se mencionan a continuación están explicados con mayor claridad en el Anexo 15 y se resumen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Síntesis de la información generada a partir del cálculo de abejas/min bajo diversos supuestos, basado en datos de campo.

	Descripción	Cantidad de abejas
Por rama	Mañana	25.2
	Mediodía	20.4
	Tarde	73.8
	Día	119.4
Por árbol	Día	2 388
	Minuto	4.98

Primeramente se estableció un período de visita de ocho horas, comprendido entre las 8:00 y 16:00 h, que representa el momento de inicio y culminación de la actividad de *Apis mellifera* en el huerto según lo observado en la zona. Seguidamente se definieron tres turnos de visita; mañana (de 8:00-11:00 h), mediodía (11:00-13:00 h) y tarde (13:00-16:00 h) para calcular la cantidad de abejas/rama/min utilizando la información adquirida en este ensayo en los tres horarios en que se muestreó. Posteriormente se estimó el número de abejas/rama/día que es la suma de la cantidad de abejas/rama/min durante las ocho horas en las que se delimitó la actividad de *Apis mellifera*.

Luego para el cálculo de abejas/árbol/día, se definió un número aproximado de ramas. Es importante indicar que con precisión no existe una cantidad definida, porque varios factores intervienen en que un árbol de aguacate tenga un mayor o menor número de ramas

y entre ellos se pueden mencionar la formación de la planta mediante la poda y la cantidad de luz solar disponible (Picado 2016⁴).

Debido a esta incertidumbre se recurrió a calcular hipotéticamente el número de ramas con base en la observación del patrón de formación de las plantas, más frecuente en el huerto experimental. Fue así como se fijó un total de 20 ramas y dicho número se dedujo de la siguiente manera: un árbol tiene un variable número de ramas secundarias pero gran parte de los que hay en la finca tienen cuatro y de esas secundarias brotan cinco terciarias (en algunas ocasiones se logró apreciar hasta ocho terciarias).

Es importante dejar muy claro que cuando se eligieron las ramas que serían sujetos de muestreo para la actividad de *A. mellifera*, se tomaron aquellas de tipo terciario pero no se evaluó la rama en su totalidad debido a que fue muy habitual que gran parte de ellas estuvieran cargadas con frutos de la floración anterior (la que se presentó de diciembre a febrero), por lo que se procedió a tomar parte de la rama terciaria que contara con un mínimo de cuatro cuaternarias libres de frutos, con el fin de evitar confusiones a la hora de contabilizar la producción. Con base en estos supuestos se modelan o plantean una serie de datos muy interesantes, que reflejarían un buen desempeño por parte de *Apis mellifera* en el huerto donde se realizaron los muestreos. La cantidad de abejas/rama/día rondaría los 119.4 individuos y si la información se visualiza por árbol, el resultado tiende a ser alentador puesto que el número de abejas por día sería de 2 388 y de 4.98 por minuto. Estas cifras podrían aumentar si se considera que se tomó como base un bajo número de ramas secundarias y terciarias para realizar los cálculos.

Fried (1999), propuso una escala subjetiva, que utilizó para medir la actividad de la abeja melífera, en términos de la presencia de este insecto en las plantas de aguacate, al ser el mediodía y durante un lapso de un minuto. Esta investigadora definió que la actividad mínima se realizaba cuando se contabilizaban menos de 10 abejas/árbol/min, como normal si se registraban 10 a 20 abejas y como óptima más de 20 abejas por árbol. Si se toma esa escala y se aplica a los datos calculados recientemente, se podría decir que la actividad de la abeja al mediodía fue baja; si se compara con ese valor teórico formulado por Fried; puesto

⁴ Picado, E. 6 mar. 2016. Variabilidad en el número de ramas de un árbol de aguacate (conversación telefónica). San Pablo de León Cortés, San José, APACCOOP.

que solo se habrían encontrado cerca de 3.4 abejas/árbol/minuto en ese momento del día, pero es probable que dicha escala al ser de carácter subjetivo, esté muy ligada a las observaciones de la actividad de la abeja de acuerdo a las condiciones chilenas y que por lo tanto no sea del todo aplicable a este estudio, pero sirve de referencia para tener una idea de cómo medir el comportamiento de estos insectos, aunque sería de utilidad generar una escala que se ajuste a las condiciones de San Pablo. Por otra parte en el estudio de Apablaza (1981), se establece que con niveles de floración baja en el huerto las abejas visitan de tres a cinco flores por minuto, lo que concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo y la situación de floración que prevaleció durante la época de muestreo.

En varias investigaciones se han reportado tasas de visitación muy bajas, tal es el caso del estudio llevado a cabo por Yarita (2014), en Perú, quien evaluó la actividad de la abeja europea en Hass y dos cultivares complementarios (Zutano y Edranol) y obtuvo como resultado que en el primero el número de abejas fue muy poco, en promedio de una abeja/árbol/minuto y en las otras dos variedades fue de 5 abejas/árbol/min. Por su parte, De la Cuadra (2007) muestra que el promedio de abejas melíferas por árbol/minuto fue 4.6 y 3.2 en Quillota y en La Ligua respectivamente, muy similar a los datos de abejas/árbol/min calculados a partir de los datos de campo para este estudio.

También Castillo (2002), en Chile, midió la cantidad promedio de abejas al realizar un segundo reingreso de colmenas a un huerto de Hass y apunta que la máxima tasa de visitas fue de 1.40 individuos/m²/min. Este autor comenta sobre el hecho que durante la mayor parte del período de floración, las abejas prefirieron ir a otros cultivos debido a la escasez de flores, de ahí se obtuvo el bajo número de individuos presentes. Durante este estudio, las ramas evaluadas no presentaron gran cantidad de flores abiertas al mismo tiempo, sino que la apertura de estas fue muy escalonada, pero en el huerto se percibió que aquellas ramas donde la mayoría de las flores estaban abiertas, las abejas acudían en mayor cantidad e incluso visitaban varias flores a la vez, quizá porque la panícula se volvía más atractiva puesto que a mayor número de flores abiertas, más se acentuaba el color amarillo, lo que al parecer funciona como un mecanismo de atracción de la abeja asociada a la morfología floral (Proctor *et al.* 1996), pero en los últimos muestreos que se realizaron en las ramas seleccionadas, la cantidad de flores disponibles era muy poca y probablemente la abeja se vio poco estimulada

a visitar esas ramas, por la escasa recompensa que ofrecían y esto por ende afectó el número de abejas contabilizadas en las ramas.

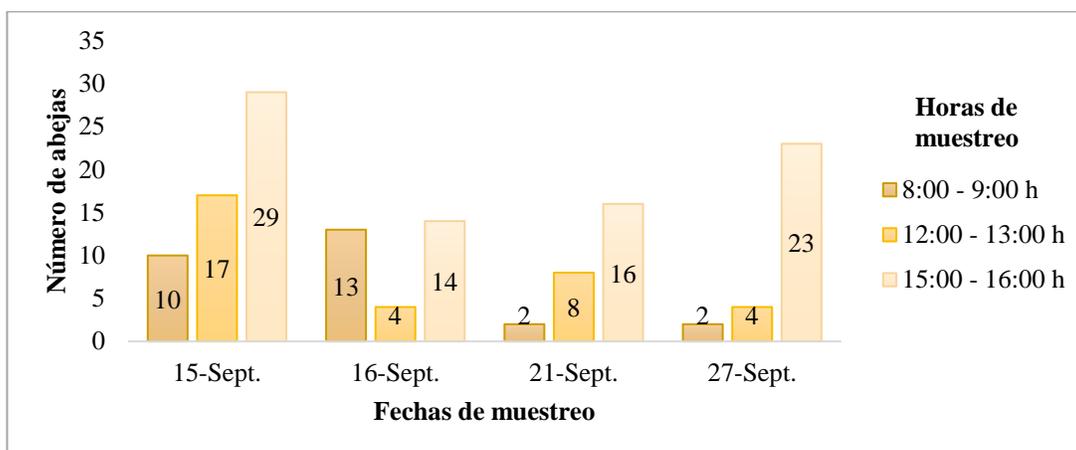
Al referir estas investigaciones es evidente la variabilidad en el comportamiento de la tasa de visitas en relación a las distintas zonas estudiadas, pero hay información valiosa sobre la densidad de abejas necesaria para favorecer la polinización. Respecto a este tema, Ish-Am y Eisikowitch (1998) hallaron una correlación positiva entre el número de abejas, el porcentaje de polinización y rendimiento e indican que con menos de 5 abejas/ árbol, se encuentra solamente de 1-3 granos de polen por estigma, mientras que la presencia de 20 abejas o más por árbol, incrementa en un 50% la fertilización y con este número se consiguen mayor número de visitas efectivas.

Por otro lado Köhne (1998), señala que es importante tener una alta densidad de abejas en los huertos de aguacate y menciona que en Sudáfrica el mínimo de abejas visibles recomendado es de 5/m² o de 5 por cada 20 inflorescencias. De acuerdo a lo propuesto por Köhne, se requiere mínimo de 0.25 abejas por panícula floral y en el huerto experimental se llegaron a contabilizar más de cinco abejas en una sola inflorescencia, lo que significaría una adecuada densidad durante los ensayos que pudo haber favorecido los servicios de polinización.

4.3.3 Influencia de las condiciones ambientales sobre el número de abejas.

En la Figura 14 se muestra el total de abejas de acuerdo a las fechas en que fueron realizados los ensayos, considerando el número de visitas y estos a su vez se presentan de acuerdo a los horarios de muestreo. El 15 y 16 de septiembre se registró un mayor número de individuos, con un total de 56 y 31 respectivamente; para los días 21 y 27 de ese mes, la densidad se redujo considerablemente, probablemente porque las panículas no proporcionaron tantas flores y en esas fechas se contaron apenas 26 y 29 abejas respectivamente. En esta gráfica se aprecia la preferencia de *Apis mellifera* por visitar las flores mayoritariamente en horas de la tarde.

Figura 14. Cantidad de abejas melíferas que se registraron visitando las flores, durante las cuatro fechas de muestreo y clasificadas de acuerdo a los períodos de observación.



La cantidad de abejas por rama fue muy variable durante los horarios de muestreo establecidos y probablemente esas diferencias en la tasa de visitas se vio influenciada por las condiciones ambientales que predominaron durante los días en que se llevaron a cabo los muestreos. Se ha demostrado que las condiciones climáticas tienen un efecto sobre el desempeño de la abeja melífera y así lo señala Lara (2014), en un estudio que realizó en la Península Ibérica, en el cual evaluó la influencia de los factores microclimáticos (viento, temperatura y luminosidad) en la actividad de forrajeo *Bombus* sp., *Apis mellifera* y *Melitta tricincta*, sobre flores de la planta herbácea anual llamada *Macrosyringion longiflorum*. En esta investigación, el autor encontró que la actividad de la abeja melífera aumenta con la temperatura y registró un mayor número de visitas entre los 20-30 °C y una actividad nula por debajo de los 10°C. También cita que el forrajeo se incrementa cuando el día está despejado o muy poco nublado y que el viento tiene un gran impacto en la actividad acarreadora puesto que si se presentan condiciones ventosas continuas de hasta 20 km/h las visitas a las flores de *M. longiflorum* disminuyen considerablemente y si el viento es mayor a 20 km/h la abeja no vuela.

En las Figuras 15,16, 17 y 18 , se muestran los datos de temperatura, viento, radiación solar y precipitación que predominaron desde las 8:00 hasta las 16:00 horas, durante las fechas en que se realizó el ensayo y con esa información se pretende explicar las posibles causas que mediaron en el comportamiento de *A. mellifera*.

Figura 15. Comportamiento de la temperatura, viento y radiación solar, durante el día 15 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP.

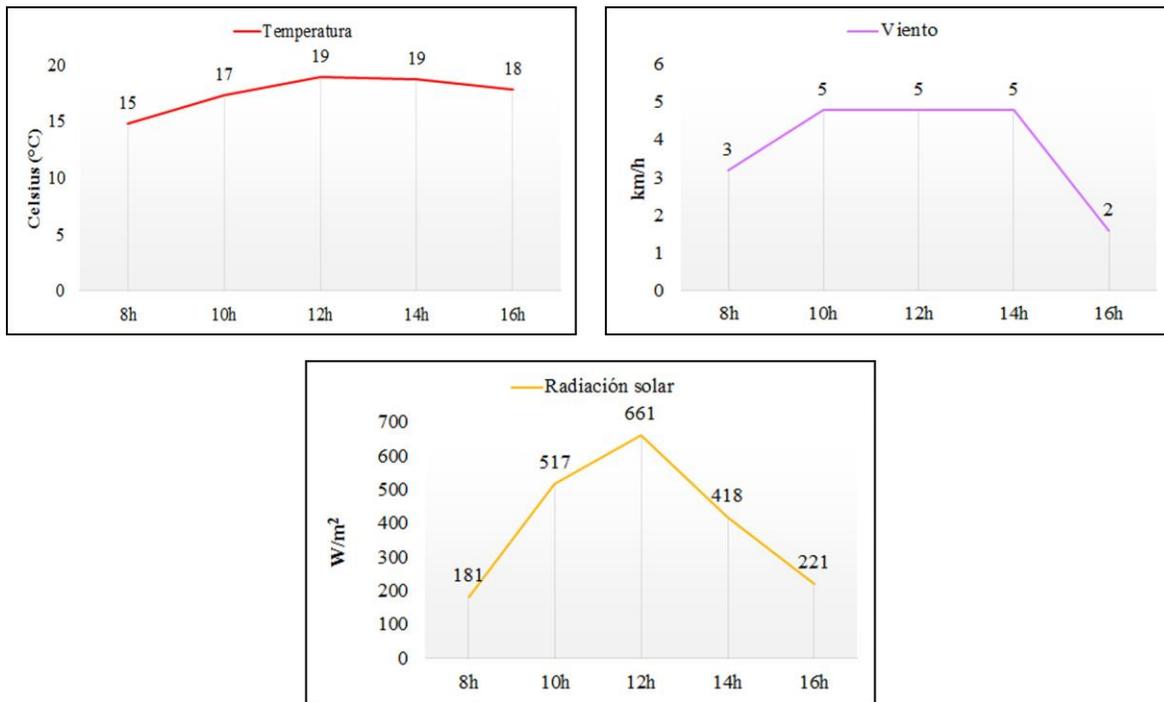


Figura 16. Comportamiento de la temperatura, viento, radiación solar y precipitación, durante el día 16 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP.

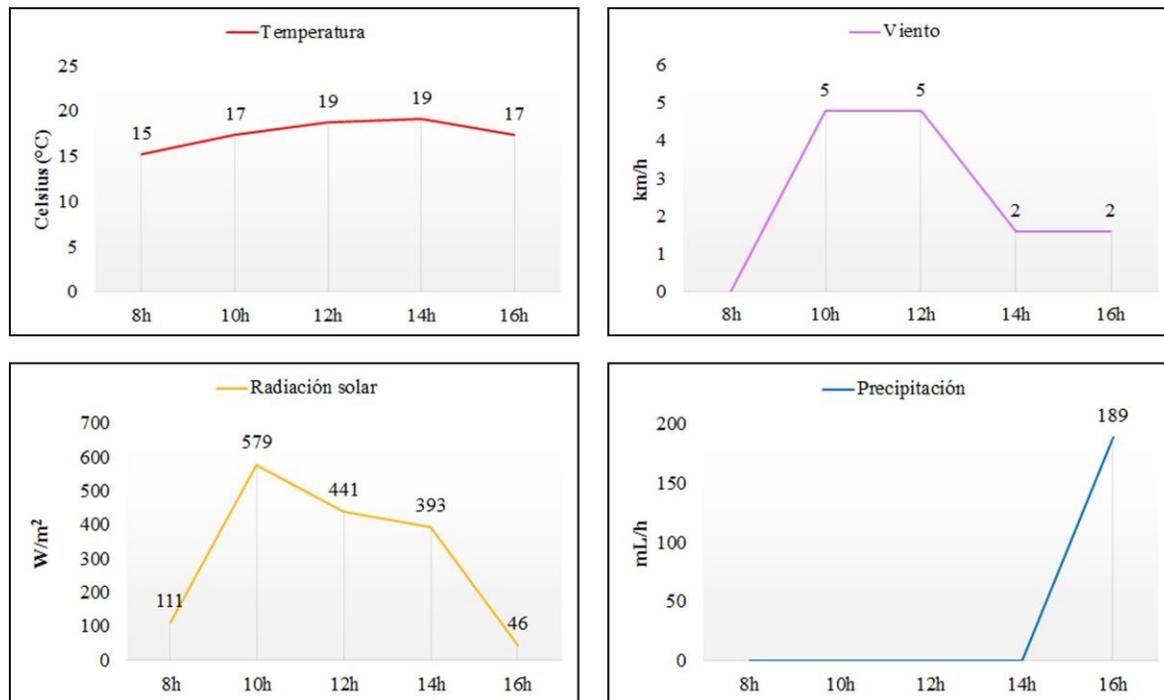


Figura 17. Comportamiento de la temperatura, viento, radiación solar y precipitación, durante el día 21 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP.

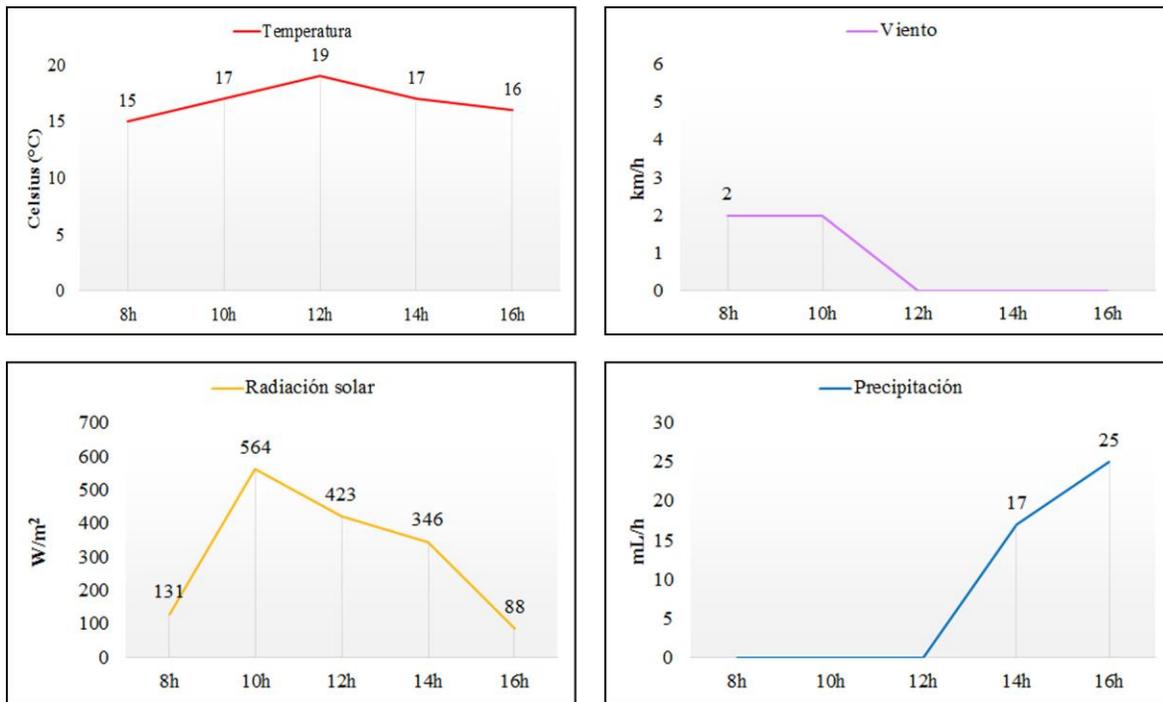
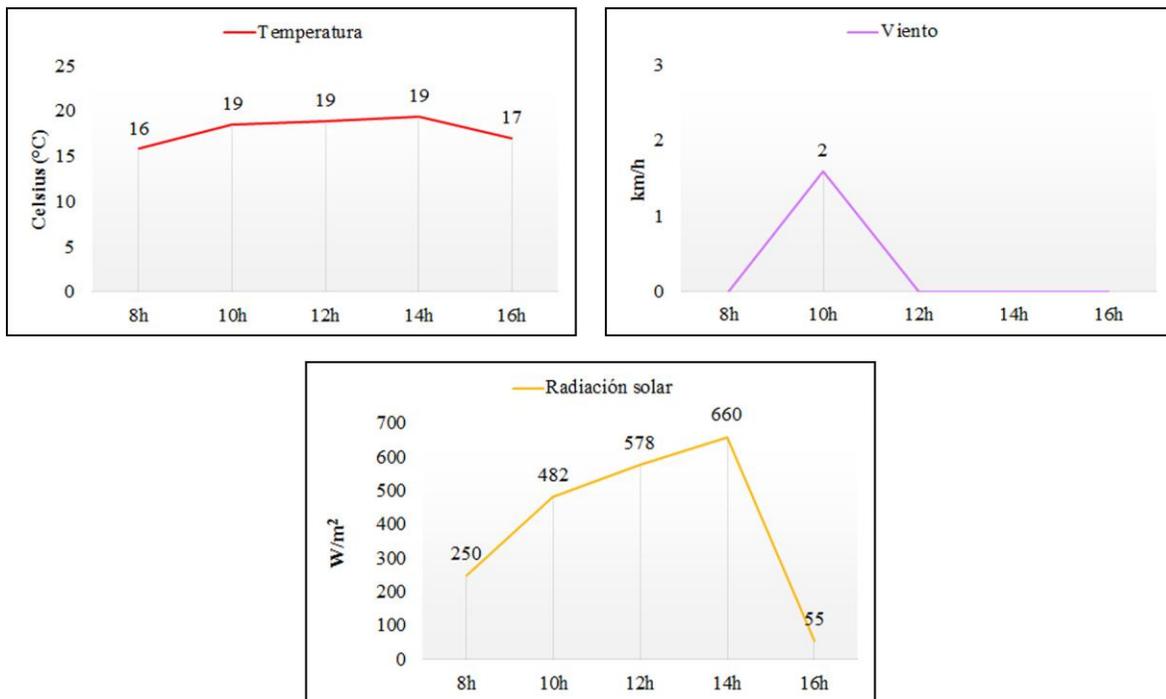


Figura 18. Comportamiento de la temperatura, viento y radiación solar, durante el día 27 de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP.



A continuación se analizarán uno a uno los factores y condiciones climáticas que predominaron durante las fechas en las cuales se llevó a cabo el muestreo y su impacto en la actividad de pecoreo y en el comportamiento de *Apis mellifera*.

4.3.3.1 Viento.

Este factor no representó una limitante para el pecoreo, puesto que en ningún momento sobrepasó los 5 km/h. Las condiciones ventosas son un inconveniente para las abejas, ya que a partir de velocidades superiores a 18 km/h se reduce considerablemente el pecoreo de polen y néctar (Rallo 1987) y con valores superiores a los 25 km/h los vuelos no se efectúan en su totalidad (Monzón, citado por Castillo 2002).

4.3.3.2 Radiación solar.

En las cuatro fechas de muestreo las mañanas manifestaron una radiación baja pero a partir de las 10:00 y hasta las 14:00 h, siempre se mantuvo sobre los 300 watts/m², lo que favorece la actividad de la abeja (Alvares, citado por Fried 1999). Hacia las 16:00 h, la radiación fue inclusive mucho más baja que la registrada en las mañanas, pero aun así las abejas prefirieron visitar en la tarde. Debido a que no se cuentan con los datos para las 15:00 h (período en el que se inició el último conteo del día), se podría pensar que para esa hora la radiación fue favorable para que llevaran a cabo sus visitas, ya que de las 14:00 a las 16:00 h se da un descenso progresivo de la radiación.

Un aspecto que afectó el desempeño de *A. mellifera* fue la nubosidad, la cual se presentó recurrentemente al mediodía y por lo cual posiblemente se vio afectado el número de abejas en las ramas. Solo el día 15 de septiembre no mostró condiciones nubosas, pero en las demás fechas existió una tendencia a nublarse al ser las 12:00 h. Sobre este tema, Fried (1999) menciona que durante sus ensayos en Chile, las visitas de las abejas a las flores de Hass disminuyeron considerablemente en días nublados, a pesar que la temperatura en algunas fechas de muestreo se mantuvo en los 20°C. Martínez (2003), registró las visitas de *A. mellifera* en almendro (*Prunus dulcis*) y peral asiático (*Pyrus pyrifolia*) y la mayor actividad se centró en la tarde al igual que sucedió en este ensayo. También observó una

disminución importante del número de abejas en los días nublados y mucho movimiento en días despejados.

Yarita (2014), señala que los días en que la radiación supera los 700 watts, hay más dinamismo de las abejas, pero que la actividad de pecoreo está más relacionada con la cantidad de flores abiertas disponibles que con la radiación. Este aspecto mencionado por Yarita, se logró apreciar en las primeras dos fechas de muestreo, en las cuales la cantidad de flores fue mayor y por lo tanto se contabilizaron más abejas en esos días, de hecho el 27 de septiembre fue el último día en que se muestrearon las ramas porque la cantidad de flores disponibles era muy bajo. Sin embargo la floración se extendió aproximadamente hasta la primera semana de octubre pero en otros árboles que no fueron seleccionados para el ensayo.

Fried (1999), hace mención a un dato interesante, en el que alude que las visitas se intensifican hacia finales de la floración y las ramas que se eligieron pudieron haber recibido más visitas si hubieran floreado de últimas. Por su parte Valdés (2002), encontró que el número de abejas está correlacionada en forma significativa con el número de flores, es decir, que a mayor número de flores, mayor es el número de abejas, tanto para condiciones de día nublado, despejado y parcialmente despejado, pero durante este estudio, aunque fueran varias las flores abiertas, en condiciones de nubosidad no se percibían muchas visitas.

4.3.3.3 Precipitación.

En las fechas del 16 y 21 de septiembre se presentaron condiciones lluviosas al caer la tarde, lo que coincide con una caída en la cantidad de abejas presentes en el muestreo de las 15:00-16:00 h (14 y 16 abejas respectivamente), si se compara con el número registrado para ese mismo momento en los días 15 y 27 de septiembre (29 y 23 individuos), que las precipitaciones estuvieron ausentes.

Rallo (1987), describe el comportamiento de la abeja melífera ante el pronóstico certero de condiciones lluviosas. Este autor indica que las pecoreadoras ingresan masivamente a la colmena y al percibir escasa iluminación, el pecoreo se desarrolla a escasos metros e inclusive con llovizna ligera se alejan hasta cien metros, los vuelos y actividades se detienen totalmente con períodos de lluvia intensa.

4.3.3.4 Temperatura.

En las primeras horas fue muy común observar las abejas en estado de inactividad (Figura 19), posando inmóviles sobre flores de aguacate cerradas y humedecidas con rocío. La zona de estudio se caracteriza por tener mañanas frías y algo ventosas, lo que evidentemente perturbó la actividad de pecoreo, pero conforme avanzaron los minutos y las condiciones se tornaron más calurosas, las abejas se avivaron e iniciaron el forrajeo en las flores. Lo mismo le sucedió a Castañeda (2000), quien expone que en horas muy tempranas el número de abejas no sobrepasó los 10 individuos/árbol, pero al incrementarse las temperaturas aumentó la densidad hasta 38.

Figura 19. *Apis mellifera* en estado de inactividad por las bajas temperaturas características de San Pablo de León Cortés.



El comportamiento de la temperatura para las cuatro fechas de muestreo puede describirse a grandes rasgos de la siguiente manera: a partir de las 8:00 h rondó los 15 °C y para las 10:00 hubo un incremento de 2 °C, alcanzando los 17°C. Hacia el mediodía se mantuvo en 19 °C y al ser las 14:00 h este factor tuvo una conducta muy estable, manteniéndose aún en 19 °C. Para las 16:00 h se presentó una disminución de 1-2°C, llegando a estar en poco más de 17°C, excepto el 21 de septiembre que registró la temperatura más baja de las cuatro fechas de muestreo a esta hora, con 16 °C.

La abeja melífera inicia su actividad a partir de los 12-14 °C, con 15 °C llevan a cabo vuelos cortos, con 18°C vuelos libres y con 21°C vuelos completos (Monzón, citado por Castillo 2002). La actividad decrece cuando bajan las temperaturas, llegando a ser nula por debajo de 10°C y por encima de los 32°C la actividad se orienta al pecoreo de agua para enfriar la colmena (Rallo 1987). Tomando como referencia esta información, se puede deducir que los valores de temperatura se conservaron dentro del rango óptimo para el pecoreo de la abeja y durante el día realizaron vuelos cortos, ya que a partir de las 10:00 y hasta las 16:00 h se mantuvo entre los 17 y 19 °C, por lo que no parece que fuera un factor limitante para su actividad, principalmente al mediodía y en la tarde.

Sin embargo, se observó que las abejas con temperaturas de 15°C se vieron perjudicadas en condiciones de nubosidad, escasa radiación y ligera precipitación. Esto aconteció el 21 de septiembre entre las 15:00 y 16:00 h, cuando se advirtieron individuos paralizados y adormecidos por el frío, a tal punto que se podían colocar en la palma de la mano sin que mediara ninguna reacción defensiva. Lo contrario ocurrió el 15 de septiembre, cuando al mediodía y a las 15:00 h se contabilizaron más individuos que en el resto de días para esos momentos de observación, lo que estuvo ligado con condiciones de mayor temperatura (19 y 18°C respectivamente).

La temperatura no solo afecta la actividad de las abejas, sino que también repercute en el patrón de apertura floral y por consiguiente en la polinización. Yarita (2014), señala que en días calientes (mayor a 20°C), las etapas de floración inician más temprano y en días fríos se retrasa la apertura, posponiéndose las demás etapas. En este estudio se observó que al momento de iniciar los conteos a las 8:00 h, la cantidad de flores abiertas era muy escasa y la temperatura rondaba los 15°C y al ser las 10:00 h, la cantidad aumentó un poco.

Castillo (2002), hace referencia a este asunto y comenta que en su investigación bajo condiciones de días nublados y fríos, las flores de Hass no abrían, pero esta condición no influyó en la cantidad de abejas presentes en las flores, ya que estos insectos no tienen inconveniente para visitar las flores del aguacate que por efectos climáticos se encuentran cerradas o semi cerradas, debido a que éstas de igual manera procedían a recolectar el néctar. Asimismo menciona el hecho que habiendo muchas flores abiertas, las abejas preferían visitar flores cerradas, comportamiento que se percibió en este ensayo y que indudablemente

influyó en el número de visitas que pudieron haber realizado, porque destinaban mucho tiempo a trabajar sobre flores cerradas para lograr abrir los sépalos e insertar su probóscide, en lugar de visitar flores abiertas que ofrecían su néctar sin necesidad de esforzarse en exceso para conseguirlo. La temperatura también afecta el porcentaje de germinación del polen y la adhesión de los gránulos, siendo óptima entre 20 a 25°C (Alcaraz 2009) y temperaturas inferiores a 15°C o superiores a 33°C reducen su viabilidad, ya que se ve comprometido el crecimiento del tubo polínico y por ende la fertilización (Lovatt 1997).

4.3.4 Otros aspectos que pudieron intervenir en el desempeño de *A. mellifera*.

Además de los factores climáticos mencionados en el apartado anterior, también participaron otros elementos que posiblemente influyeron en el número de abejas contabilizadas; tal es el caso de la presencia de plantas competidoras en plena floración que llamaron la atención de *Apis mellifera* y por ende funcionaron como un fuerte distractor. Las arvenses *Bidens pilosa*, llamada comúnmente moriseco, e *Hypochoeris radicata*, conocida como margarita amarilla; ambas pertenecientes a la familia Asteraceae, fueron visitadas con mucha frecuencia por las abejas e incluso se les observó visitando los restos de plantas que habían sido eliminadas del campo con anterioridad, justamente para evitar la distracción de dichas flores hacia la actividad de la abeja en el aguacate y que influyeran negativamente en los resultados; pero el control de malezas no resultó como lo esperado y las abejas siguieron acudiendo a los rastrojos de estas plantas en busca de recursos.

Las arvenses citadas invadieron toda el área alrededor de las colmenas (Figura 20), por lo que la distracción fue aún más fuerte, ya que las abejas se concentran en un radio de 500 a 600 metros de la colmena cuando el alimento es abundante (Philippe, citado por Castillo 2002). No se consideró la posibilidad de eliminar esas plantas porque se pensó en las implicaciones a la salud del personal que labora en la finca experimental, ya que se evitó a toda costa un posible ataque de abejas por el ruido que se haría con la labor de corte de malezas.

Figura 20. Área alrededor de las colmenas cubierta por la maleza *B. pilosa* en estado de floración.



Castañeda (2000), menciona a una asterácea del género *Bidens* presente en una parcela de aguacate variedad Colín V-33, pero a diferencia de lo ocurrido en este estudio, dicha arvense no ejerció atracción sobre las abejas, pero otra maleza (también perteneciente a la familia Asteraceae) llamada *Ageratum corymbosum* atrajo en promedio 20/abejas/m² contra 6/abejas/árbol/m² en aguacate Hass a las 12:00 h. En *A. corymbosum*, la abeja europea colectó néctar y después de las 13:00 h se dedicaron a acarrear néctar de flores masculinas de aguacate, lo que cambió el panorama anteriormente citado y para las 14:00 h la densidad de individuos fue de 38/árbol/min y en la maleza fue de tres. Castañeda también contabilizó el número de abejas sobre los árboles de *P. americana* cuando al mismo tiempo se encontraba en floración el durazno (*Prunus persica*) y obtuvo un promedio de solamente 3 abejas/árbol y el doble en esta especie frutal.

Por su parte Castillo (2002), relata que durante el estudio que realizó en Chile, hubo poca presencia de abejas en las flores de Hass, debido a que la plantación donde llevó a cabo los muestreos estaba rodeado por otros huertos de aguacate, lo que implicó una fuerte distracción para la actividad de pecoreo y en consecuencia las abejas se enfocaron en trabajar en esos huertos y no en el seleccionado para el ensayo.

En ambos casos, esta conducta está asociada a una estrategia de pecoreo muy común en la abeja europea, la cual consiste en la ubicación de especies y sitios fijos de pecoreo de recursos, donde las pecoreadoras recaudan el alimento de una fuente alimenticia en una

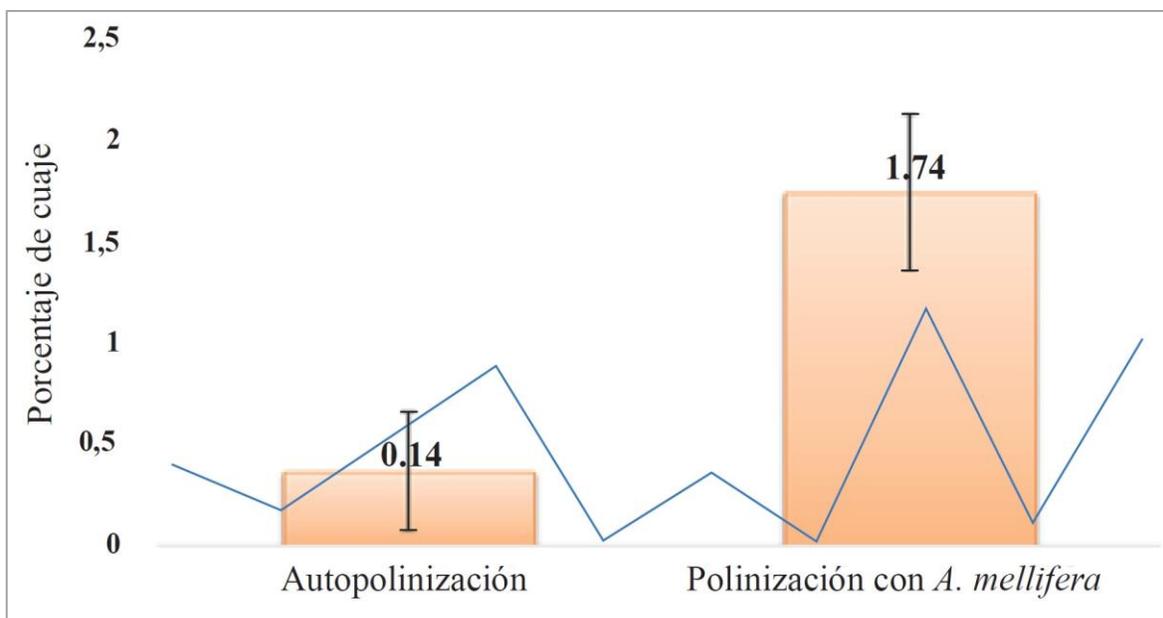
pequeña área y acuden a dicha fuente en vuelos y días sucesivos, por lo que se forman grupos de trabajo en la colmena que visitarán la misma fuente de alimento (Castillo 2002).

4.4 Efecto de las visitas de *Apis mellifera* sobre la producción en el cultivo de aguacate.

4.4.1 Porcentaje de cuaje.

La Figura 21 y el Anexo 2 presentan los resultados del porcentaje de cuaje inicial promedio/rama obtenidos en esta investigación. Se puede apreciar claramente como durante la estación lluviosa, el ensayo que alcanzó el porcentaje de cuaje más elevado fue en el que se utilizó a la abeja melífera como polinizadora en el huerto, llegando a ser de 1.74%, lo que significa que por cada 1 000 flores, 17 se convertirían en frutos. En el caso de la autopolinización (testigos), el porcentaje de cuaje fue más bajo con un 0.14%, que implica un escaso número de flores convertidas en frutos (alrededor de 1.4 por 1000 flores). El comportamiento de la polinización abierta durante la estación seca se indica con la línea de color azul y esta fue similar a la registrada en el ensayo de autopolinización, puesto que su promedio de cuaje fue de 0.45%, a pesar de ser diferentes las condiciones y estación del año durante la cual se formaron los frutos.

Figura 21. Porcentaje de cuaje promedio/rama, obtenido en los distintos ensayos realizados durante la floración en la estación lluviosa y el comportamiento del cuaje durante la estación seca. San Pablo, León Cortés.



La Figura 21 brindó información en forma de promedios de cuaje/rama, pero el Cuadro 3 da una visión más global del comportamiento de cuaje según cada ensayo. El mayor porcentaje se logró con la introducción de abejas (1.47%), ya que de 14 399 flores contabilizadas en las diez ramas seleccionadas, 211 alcanzaron a cuajar en frutos, e inclusive, el personal de APACOOOP manifestó una visión satisfactoria en cuanto al cuaje obtenido en la finca, respecto al de años anteriores, lo que refleja un efecto positivo (Palacios 2016⁵). En la polinización abierta (sin la introducción de abejas) fue de 0.40%, con 56 frutos provenientes de 13 836 flores en las diez ramas usadas y en las ramas marcadas para la autopolinización este fue de 0.12%; donde se contaron 11 aguacates cuajados.

⁵ Palacios González, B. 27 mar. 2016. Cuaje observado en la finca experimental (conversación telefónica). San Pablo de León Cortés, San José, APACOOOP.

Cuadro 3. Porcentaje de cuaje inicial, del aguacate variedad Hass, para cada ensayo de polinización.

Tipo de polinización	Número total de flores contabilizadas en ramas seleccionadas	Número total de frutos cuajados	Cuaje (%)
Autopolinización (Testigos)	9 232	11	0.12
Abierta	13 836	56	0.40
<i>Apis mellifera</i>	14 399	211	1.47

Un árbol de aguacate Hass puede producir hasta dos millones de flores, es decir, más de mil veces la cantidad de frutos que puede soportar, pero solamente llegan a cuajar entre el 0.001 y 0.1% de ellas (Cossio *et al.* 2007). Por su parte, Hormaza (2014), menciona que en condiciones naturales el porcentaje de cuaje en aguacate es muy bajo, de 0.15%, es decir que por cada 700 flores solamente una se convierte en fruta. Los resultados obtenidos en este estudio superan ese 0.1% y 0.15% propuesto en la teoría e incluso solo los testigos se acercan más a estos datos con 0.12%.

Si se analiza el porcentaje de cuaje derivado de los muestreos realizados en APACOOOP, es posible notar un aumento del 94.79% en el número de frutos cuajados, cuando se usa la abeja melífera como polinizador, comparándolo con los resultados de autopolinización. En el caso de la polinización en condiciones naturales, la diferencia podría ser cercana al 73.46%, si se emplea a *A. mellifera* en el huerto. Con estos datos, es posible destacar el rol fundamental que juega este insecto en el cultivo y la necesidad de incluirlo durante el período de floración, gracias a su valioso aporte en la polinización.

Uno de los primeros experimentos de polinización en aguacate usando abejas fue el llevado a cabo por Peterson en 1955, quien demostró que Hass y Zutano eran capaces de cuajar fruta al encontrarse aislados de otros cultivares, siempre y cuando hubiese abundancia de abejas melíferas en los alrededores de los huertos. Este investigador asiló en jaulas dos árboles de cada cultivar, uno de ellos sin abejas y el otro con abejas dentro de la caja excluidora. Cuando finalizó la floración, contabilizó el número de frutos y en el caso de Hass reportó cinco frutos en el árbol donde no hubo abejas y 284 con abejas, lo que deja en claro

el gran aporte que hacen estos valiosos insectos a la producción. También Vithanage (1990), estudió la introducción de colmenas durante la floración del aguacate y encontró un aumento significativo en la producción, al obtener un promedio de 788.2 frutos cuajados/árbol en presencia de colmenas y solamente 227.2 en ausencia de éstas, lo que representa una diferencia de 71.17%.

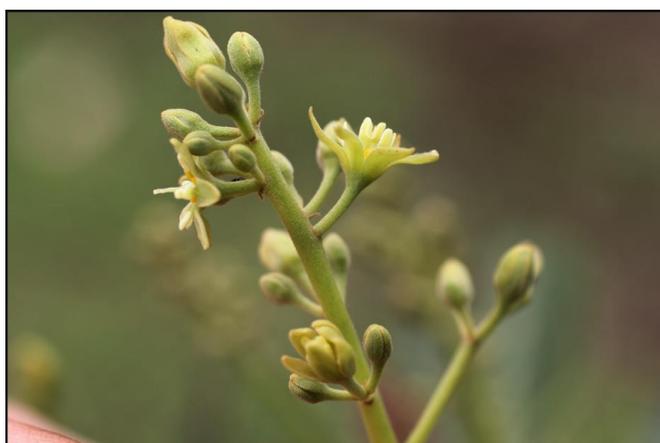
Algunos datos interesantes son los de Cabezas (2007), quien consideró la importancia de la polinización por insectos de diferente tamaño y por el viento, mediante la comparación de la adhesión de polen y el cuajado en flores expuestas a polinización libre, en inflorescencias cubiertas con bolsas microperforadas que permitían el acceso a pequeños insectos y en inflorescencias herméticamente cerradas con bolsas de papel seda, donde tan sólo el viento podría provocar alguna transferencia de polen. En sus resultados indica que en las ramas con polinización abierta las flores recibieron muchas visitas de abejas melíferas y en menor medida de moscas, hormigas y abejorros, además encontró un promedio de tres granos de polen por flor y un cuaje inicial y final de 47.2 y 1.5% respectivamente. En las bolsas plásticas microperforadas el número de granos de polen fue de 0.6 y se atribuyó a la actividad del trip *Frankiniella occidentalis* el cual favoreció cierto nivel de polinización (25.1% de cuaje inicial y 0% de final), pero los frutos jóvenes cuajados cayeron pronto, por lo que este polen al parecer puede mejorar el desarrollo inicial del ovario en el aguacate, pero no es capaz de lograr la fecundación. En las flores aisladas con papel seda no encontraron polen y el cuajado inicial fue de 33% y el final de 0%. Es importante destacar de este artículo los elevados porcentajes de cuaje inicial reportados, que de hecho son los más altos encontrados en la literatura a la que se ha acudido para discutir sobre el tema, ya que difieren en gran medida de los obtenidos durante la investigación en San Pablo de León Cortés y probablemente esta diferencia se deba a las condiciones predominantes en el Suroeste español, que fue donde tuvo lugar el estudio citado.

Por su parte Yarita (2014), en Perú, aisló árboles dentro de casetas cubiertas con malla antiáfidos y contabilizó el número de frutos cuajados y el porcentaje de cuaje en ellos. En la caseta donde encerró dos plantas de Hass junto con abejas, el porcentaje de cuaje fue de 0.03% con un total de 75 frutos cuajados y en la caseta donde no hubo insectos polinizadores, no se registraron frutos cuajados, lo que demostró la ineffectividad de la autopolinización

durante la apertura masculina. El porcentaje de polinización aquí obtenido sobrepasa por mucho el 0.03% reportado por Yarita, pero esa diferencia puede deberse al hecho que esta autora usó únicamente abejas en las casetas, sin embargo en este estudio hubo presencia de otros polinizadores al mismo tiempo que se midió la actividad *Apis mellifera*, porque en lugar de aislar árboles se optó por saturar el campo al colocar cuatro colmenas en un área de 5 900 m², cuando lo recomendado por hectárea es de 8 a 10 colmenas en plantaciones adultas (De la Cuadra 1999).

En el caso de las diferencias en autopolinización, es probable que las condiciones climáticas donde se llevó a cabo el ensayo en Perú no la favorecieran, porque de acuerdo con Vithanage (1990), aunque los cobertores utilizados para encerrar las ramas no permiten la introducción de polen proveniente del exterior, pueden existir flores que cambien a la fase masculina fuera de secuencia y por lo tanto se dé la liberación de polen, además el movimiento de las flores causado por el viento podría trasladar el polen a los pistilos de las flores en fase femenina, produciendo autopolinización en una pequeña proporción. Además, a pesar de la dicogamia que caracteriza al aguacate, es muy común observar flores en distintas etapas sexuales al mismo tiempo dentro del mismo árbol, lo que permite la autopolinización (Alcaraz y Hormaza 2009) y esto aconteció durante los ensayos en el huerto experimental (Figura 22), lo que pudo haber colaborado para que se presentara un mayor porcentaje de cuaje en árboles testigos que el reportado por Yarita (2014).

Figura 22. Presencia simultánea de flor femenina (izquierda) y masculina (derecha), en una panícula de aguacate.



El mayor porcentaje de cuaje obtenido en la situación de polinización abierta, con la introducción y saturación de la abeja melífera, pudo verse favorecido por la distancia de las colmenas a los árboles seleccionados, ya que se encontraban muy cerca (aproximadamente a 60 metros el más lejano). Este supuesto es similar a lo reportado por Vásquez *et al.* (2011), quienes observaron un efecto positivo en el número de cuajes respecto a la distancia a la que se encontraba el apiario; resultando en un aumento del 29.4% en los árboles a menos de 100 metros del apiario, respecto a los ubicados entre los 100 a 200 metros y en un 15.8% a distancias mayores de 200 metros.

Asimismo, de acuerdo a estudios realizados en Israel, las abejas llevan a cabo sus visitas principalmente hacia el final de la floración, con lo que se obtiene que un 5% de toda la floración es expuesta a una suficiente cantidad de polen para cuaje (Ish-Am y Eisikowitch 1998), lo que coincide con este trabajo puesto que las ramas seleccionadas para el ensayo con *Apis mellifera* fueron de las últimas en florear, ya que para el 27 de septiembre, día en que se realizó la última toma de datos de visitas, éstas contaban con escaso número de flores y para la primera semana de octubre la floración ya iba finalizando en el huerto.

Debido a los bajos porcentajes de polinización, varios investigadores empezaron a indagar si ésta era producto de una inadecuada polinización natural. Entre estos destacan los trabajos realizados por Hormaza (2014), quien polinizó flores manualmente y obtuvo como resultado que en esta el cuaje aumenta hasta un 2.8% (alrededor de tres frutos por cada 100 flores), lo que representa una mejora, pero aun así continuaba siendo un porcentaje muy bajo. De la misma manera, Evans y colaboradores (2010), consiguieron un porcentaje de cuaje un poco más alto (5.2%) en flores polinizadas manualmente y un 0.22% en las que estuvieron sometidas a polinización abierta, un porcentaje un tanto más bajo que el obtenido en este ensayo y que podría depender de la diferencia y la diversidad en el tipo de polinizadores presente en ese lugar con respecto al hallado en San Pablo.

4.4.1.1 Factores que pudieron haber influido en el porcentaje de cuaje.

El cuaje no solamente se ve afectado por una inadecuada polinización por insectos, sino que también participan otros factores que inhiben el desarrollo de los frutos, como lo

son las bajas temperaturas, vientos fuertes y lluvias abundantes, durante el período de floración y fructificación (Amórtegui 2001). A continuación se analizarán los principales factores ambientales que pueden haber causado las diferencias en el cuaje para los ensayos realizados en estación lluviosa, por lo que se recomienda consultar los Anexos 16 y 17, que contienen la información de temperatura, humedad y viento, presentada como datos promedios a lo largo de los meses en que tuvo lugar la floración en las ramas seleccionadas para los distintos muestreos; entiéndase agosto para autopolinización y septiembre para polinización con abejas melíferas. Además se incluyen las condiciones climáticas prevalecientes durante el mes de febrero para entender el comportamiento de la polinización abierta durante la estación seca (Anexo 18).

4.4.1.1.1 Humedad.

Tiene implicaciones sobre la polinización, debido a que afecta la viabilidad de los granos de polen y la receptividad de los estigmas. Si ésta es menor al 50%, disminuye la viabilidad del polen y el tiempo en que se mantiene receptivo el estigma, los cuales tienden a secarse, con lo que la polinización debe ocurrir en un tiempo más limitado (Gardiazábal 2008; Alcaraz 2009). Con alta humedad relativa (75-95%) se da una máxima adherencia del polen al estigma y la receptividad de éste es mayor porque se evita su desecación (Alcaraz 2009; Hormaza 2014), además puede ocurrir autopolinización durante la segunda apertura de la flor, no necesitando una transferencia de polen entre estados femenino y masculino (Davenport, citado por Fried 1999). Este elemento pudo haber favorecido el mayor número de frutos jóvenes cuajados provenientes del ensayo con la abeja melífera, puesto que durante el mes de septiembre la humedad relativa fue más elevada (entre 86-94%). En el caso del mes de agosto, la humedad sobrepasó el 83%, lo que pudo colaborar muy posiblemente a la formación de frutos autopolinizados, tal y como lo mencionó Davenport. Queda muy claro que al ser febrero un mes de la estación seca, por ende la humedad fue menor pero se mantuvo en el rango adecuado, lo que permitió la formación de frutos.

4.4.1.1.2 Viento.

También tiene un rol importante en conjunto con la humedad. A vientos menores de 14 km/h y con alta humedad, la superficie del estigma tiende a mantenerse blanca en la segunda apertura floral. Si la humedad es baja y los vientos superan los 25 km/h, los estigmas se secan muy rápido durante la segunda apertura e incluso también en la primera (Davenport, citado por Fried 1999). En este ensayo, el viento no tuvo mayores implicaciones sobre la receptividad estigmática, puesto que en ninguno de los meses analizados excedió los 25 km/h. Aunque cabe señalar que en la estación seca (febrero) se presentaron más vientos y hay menos humedad, que puede incidir en la tendencia observada en el cuaje cuando las flores se dejan a libre polinización.

4.4.1.1.3 Temperatura.

No se puede dejar de lado el factor temperatura, puesto que afecta la viabilidad del óvulo, la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico, lo que a su vez incidirá en el porcentaje de cuaje (Fried 1999). Las temperaturas diurnas inferiores a 17°C alteran el ciclo floral, es decir, es posible encontrar flores masculinas y femeninas al mismo tiempo y en el mismo árbol, generando un cambio en el patrón de floración, el cual si bien favorece la polinización y el cuajado, puede ocasionar que muchas flores no abran al estado femenino, excluyendo de esa manera la posibilidad de polinización (Köhne 1998; Gardiazábal 2008).

En días cálidos (temperaturas mayores a 20°C), las etapas de floración inician más temprano, alrededor de las 6:00-16:00 h, mientras que en condiciones frías comienzan de 10:00 am a 12:00 mediodía y terminan en la noche (Yarita 2014). A temperaturas superiores a los 28°C, el desarrollo reproductivo parece ser suprimido en favor del vegetativo, provocando una abscisión de yemas florales y flores individuales, además del anormal desarrollo del tubo polínico, lo que repercute en la caída de frutos jóvenes (Sedgley, citado por Silva 1997; Lovatt 1997). Esas elevadas temperaturas causan el incremento de la transpiración en hojas cercanas al fruto e inclusive del mismo fruto, llevando consigo una pérdida de agua en los tejidos (Yarita 2014).

Si las temperaturas nocturnas son inferiores a los 10°C, se ve afectado el proceso de cuajado (Lovatt 1997; Razeto 2000; Yarita 2014), porque se reduce la germinación del polen y decrece la viabilidad del óvulo, también aumenta la cantidad de tiempo que tarda el tubo polínico en crecer desde el estigma al óvulo; por lo tanto, la duración del período de polinización efectiva se acorta significativamente y el cuajado se reduce, trayendo consigo fatales consecuencias como lo es una fuerte caída de fruta en los primeros estados de desarrollo o de frutos jóvenes sin semillas (Lovatt 1997; Gardiazábal 2008).

La temperatura óptima para la germinación y adhesión de los granos de polen se encuentra entre los 20- 25°C para flores femeninas y masculinas, puesto que se acelera el crecimiento del tubo polínico y éste alcanza más rápidamente el óvulo (Alcaraz 2009; Hormaza 2014), pero se ha mencionado que los cultivares Tipo A, como lo es Hass, pueden soportar períodos de bajas temperaturas durante la floración, con menos efectos adversos sobre el crecimiento del tubo polínico que los cultivares tipo B (Griswold 1945), bastando temperaturas diurnas de 20 °C, seguidas de noches con más de 10 °C (Gardiazábal y Rosenberg, citados por Silva 1997; Gardiazábal 2008; Lemus *et al.* 2010).

Con base en la información mencionada en los párrafos anteriores, se puede decir que la temperatura no fue un factor que afectara negativamente el proceso de cuajado, porque en las noches ésta se mantuvo siempre por encima de los 10°C para los tres meses en análisis. La temperatura diurna promedio en febrero, agosto y septiembre se mantuvo en 17°C, por lo tanto pudo haber provocado una alteración en el ciclo floral, que quizá favoreció la autopolinización y a lo mejor afectó la visita de los polinizadores, pues se observó que la apertura floral iniciaba más tarde, alrededor de las 10:00 h. Dixon y Barber (2008), realizaron un estudio en Nueva Zelanda, con el cual pretendían llevar a cabo predicciones sobre los rendimientos tomando como base las mediciones de temperatura en el principal período de floración y cuajado de frutos. Los resultados del ensayo coinciden con lo que aquí acontece, puesto que dichos investigadores mostraron que la temperatura por sí sola no es un factor sobresaliente en los rendimientos del cultivo, porque deben tomarse en cuenta factores que limitan la producción de fruta como la eficiencia de la polinización, el estado de los árboles y sus nutrientes, relaciones hormonales y la fenología del ciclo de cultivo.

4.4.2 Porcentaje de cuaje final, frutos cosechados y frutos caídos.

En el Cuadro 4 se muestra el cuaje al finalizar los ensayos, el cual está dado de acuerdo a la sumatoria del número de frutos cosechados en las ramas seleccionadas (si se desea apreciar el cuaje final promedio/rama revisar el Anexo 9). Se presenta una gran diferencia entre el cuaje inicial y final en el caso de la polinización incluyendo la abeja melífera en el sistema abierto, puesto que de 211 frutos cuajados, solamente seis lograron ser cosechados, lo que implica una caída severa de frutos jóvenes, que se traduce en un cuaje final de 0.04%. La autopolinización obtuvo un cuaje final de 0.01% y la polinización abierta mostró mejores resultados con un 0.13%.

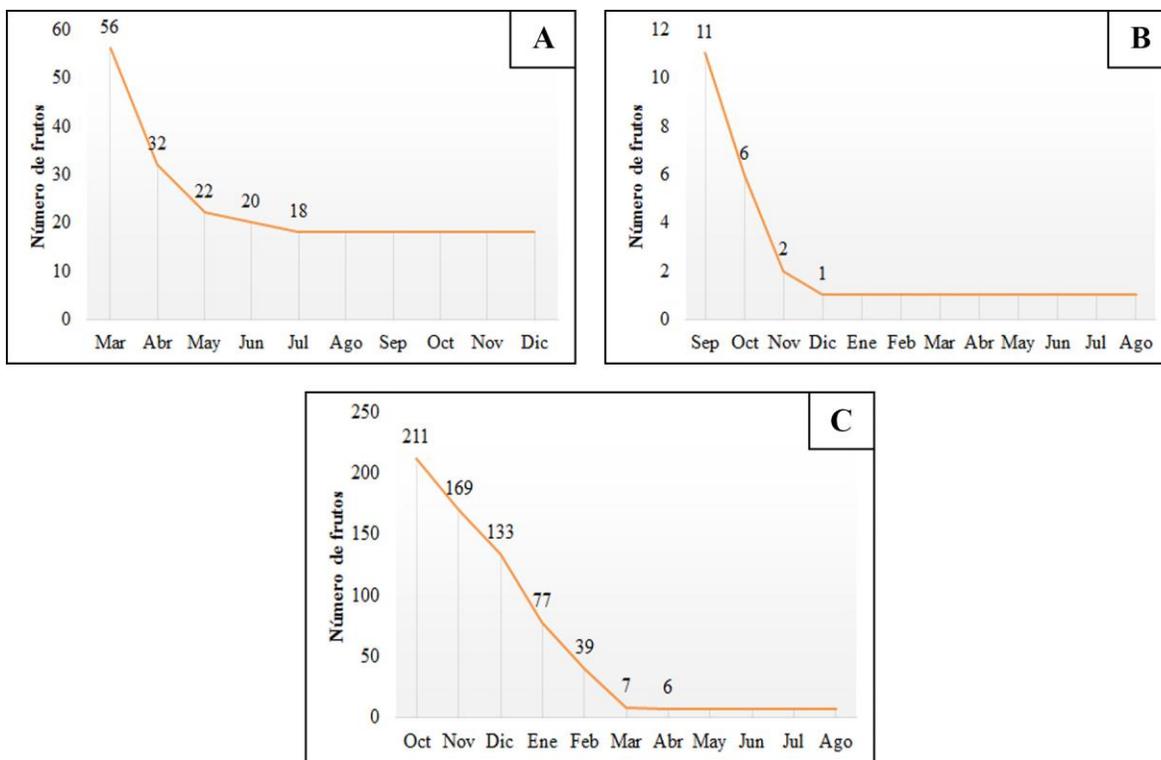
Tapia (1993), contabilizó 3 001 flores de las cuales 136 cuajaron en frutos y al final solamente seis frutos crecieron en condiciones normales, lo que implica un 0.2% de cuaje final en condiciones de polinización abierta, que se aproxima al de esta investigación. Por su parte, Cossio *et al.* (2007), en sus ensayos en México, obtuvieron un promedio de cuaje inicial con libre polinización de 0.04% y reporta una caída de 61.9%, lo que provocó que en promedio solamente 0.01% de las flores contabilizadas se convirtieron en frutos que llegaron hasta la cosecha, es decir, el porcentaje de cuaje final reportado por Cossio y colaboradores al dejar las flores expuestas a cualquier visitante, es exactamente el mismo que el obtenido en esta investigación con el ensayo de autopolinización, lo que genera una idea del aporte que podría estar haciendo este tipo de polinización en la producción de aguacate en San Pablo de León Cortés.

Cuadro 4. Porcentaje de cuaje final, del aguacate variedad Hass, para cada ensayo de polinización.

Tipo de polinización	Número total de flores en ramas seleccionadas	Frutos totales recolectados	Porcentaje cuaje final
Autopolinización (Testigos)	9 232	1	0.01
Polinización abierta	13 836	18	0.13
Polinización con <i>Apis mellifera</i>	14 399	6	0.04

En la Figura 23 se exhibe el comportamiento de la caída de aguacates a lo largo de los meses post-floración y hasta el momento de cosecha, debido a que este aspecto influyó mucho en el porcentaje de cuaje final. Para la polinización abierta, el 68% de los frutos cayeron durante los primeros tres meses después del cuajado de fruta (de abril a junio), presentándose con mayor intensidad en los dos primeros y a partir de julio el número de aguacates se mantuvo constante hasta su recolección en diciembre. En los testigos, la caída post floración se extendió hasta el mes de noviembre y el único fruto autopolinizado se mantuvo en el árbol hasta su cosecha, en el mes de agosto, lo que representa una caída del 91%. La mayor pérdida fue para el ensayo de polinización que incluía *A. mellifera*, pues se dio fuertemente durante cuatro meses (de noviembre a febrero) y a partir de marzo este comportamiento cambió para mantenerse estable de abril a agosto, por lo que solamente se cosechó un 3% de los frutos que cuajaron inicialmente.

Figura 23. Comportamiento de la caída de fruta en ramas seleccionadas, al mes post floración y hasta su cosecha. A) Polinización abierta (Marzo-Diciembre, 2014) B) Autopolinización (Septiembre, 2014-Agosto, 2015) C) Polinización con *Apis mellifera* (Octubre, 2014-Agosto, 2015).



Alcaraz *et al.* (2013), menciona que incluso después de una adecuada polinización se produce una caída masiva de flores y frutos en desarrollo, lo cual sugiere la existencia de otros factores adicionales que afectan la retención final. El número de frutos, el vigor del árbol, la producción anterior, el manejo de cultivo, riego, condiciones fitosanitarias y climáticas pueden mencionarse como algunas de las causas que provocan la pérdida de frutos jóvenes después del cuajado (Yarita 2014), a esto se suma la fragilidad del tejido embrional en los pequeños aguacates, el cual puede ser fácilmente dañado por condiciones ambientales desfavorables como bajas o altas temperaturas, desecación o deficiencias nutricionales que lo descompondrán o le harán abortar (Silva 1997). La temperatura óptima para el amarre de frutos oscila entre los 20-25°C, mientras que temperaturas superiores a 28 °C inducen a un incremento de la abscisión (Alcaraz 2009).

Los aguacates cuajan más frutos de los que el árbol es capaz de llevar hasta la madurez, por lo que gran cantidad de ellos caen en las primeras semanas después de la floración, para ajustar la capacidad de nutrición modificando su número. Dichos frutos corresponden a aquellos cuyos óvulos no han logrado ser fecundados, debido a problemas de polinización o de desarrollo del tubo polínico. También ocurre una caída después de un mes desde la floración, cuyos frutos se caracterizan por contener semilla, lo cual indica que fueron fecundados. Esta caída es producto de una fuerte competencia entre los frutos y los brotes vegetativos, por el uso de asimilados que son bastante escasos por la gran cantidad que se invirtió en la floración y otra caída se da cuando el fruto ha alcanzado entre un 10-40% de su tamaño final (Sedgley, citado por Köhne 1998; Köhne 1998; Razeto 2000; Whiley *et al.* 1988 y Wolstenholme *et al.*, citados por Gandolfo 2008; Gardiazábal 2008; Lemus *et al.* 2010).

Yarita (2014), halló una relación entre el número de frutos retenidos y caídos, es decir, a mayor número de frutos cuajados, mayor número de frutos caídos. Esta conducta se presentó en este trabajo, puesto que en el ensayo donde se introdujeron las colmenas hubo más cantidad de frutos cuajados, para ser exactos se contabilizaron 211 en las diez ramas muestreadas y solamente se lograron cosechar seis aguacates, es decir, cayó el 97% de los que inicialmente se formaron. En el caso de la polinización abierta, la cantidad de fruta perdida fue menor (68%), porque las ramas cuajaron menos y posiblemente esto le permitió al árbol retenerlos con mayor facilidad.

Asimismo, Yarita (2014) observó en sus ensayos la caída de frutos en árboles Hass durante los primeros cuatro meses después de ocurrida la apertura floral y luego de ese tiempo no se presentó más. Durante el primer mes la retención de frutos fue de 50-60% y posteriormente la caída fue de 80%, es decir solo el 20% de los frutos fueron retenidos y atribuye este comportamiento a que durante las primeras semanas de cuajado existe una competencia entre los frutos recién formados y las flores en proceso de apertura, además añade que la fruta que ha cuajado compite con frutos de mayor tamaño y con los brotes vegetativos.

En esta investigación, el aborto de frutos producto de la polinización con la abeja melífera también ocurrió en los cuatro meses posteriores a la floración, por lo que las causas de dicha caída pueden haber sido similares a lo mencionado por esta autora. Además se le suma el hecho que cuando las ramas usadas en los muestreos iniciaban su floración, era posible observar frutos ya cuajados en esos árboles, por lo tanto es factible pensar en la existencia de una competencia por recursos entre los frutos recién cuajados de las ramas a evaluar y los que ya se habían formado a inicios de agosto. Por último, Yarita (2014), señala un aspecto importante y es que las primeras flores de la temporada tienen mayor cantidad de carbohidratos, permitiendo que los frutos cuajados provenientes de éstas tengan mayores reservas y posibilidades de sobrevivir. Es posible que en febrero, las flores tuvieran más almidón acumulado, lo que quizá les facilitó retener más frutos, comparado con las de agosto y septiembre, cuya reserva de carbohidratos se pudo haber visto disminuida por la floración acontecida seis meses antes.

4.4.3 Peso de frutos cosechados.

La Figura 24 contiene la información del peso promedio por fruto, obtenido en cada ensayo y en la Figura 25 se pueden apreciar las fotografías de algunos de los frutos cosechados. Debe indicarse que solamente de una rama testigo se logró cosechar un fruto (Figura 25B), el cual fue producto de autopolinización y pesó 280 g, pero es importante señalar que para este ensayo no se obtuvieron valores de peso significativos por la gran caída de frutos post floración. En la Figura 24 ese único fruto cosechado y su peso se indican con la línea de color naranja.

Para los frutos resultantes de la floración de agosto-octubre 2014, en la cual la abeja melífera jugó el rol de polinizador, el peso fue muy diferente a los anteriormente mencionados, ya que estos aguacates a pesar de ser solamente seis unidades (Figura 25C) proporcionaron un peso total de 1 080 g, que implica un promedio por fruta de 180 g. Cabe resaltar que solamente tres de las diez ramas retuvieron los frutos hasta su cosecha, pero los valores por unidad se mantuvieron en un rango entre los 130-265 g (Anexo 10). En el caso de los aguacates provenientes de polinización abierta, la tendencia del peso de frutos se muestra con la línea color azul en la Figura 24 y en este caso, siete de las diez ramas brindaron frutos, representando un total de 18 unidades pequeñas (Figura 25A) y la suma en conjunto de éstas representó 270 g para un promedio por fruto de 15 g.

Figura 24. Peso promedio/fruto (en gramos) para el ensayo de polinización con la abeja melífera y comportamiento del peso de frutos autopolinizados y provenientes de polinización abierta.

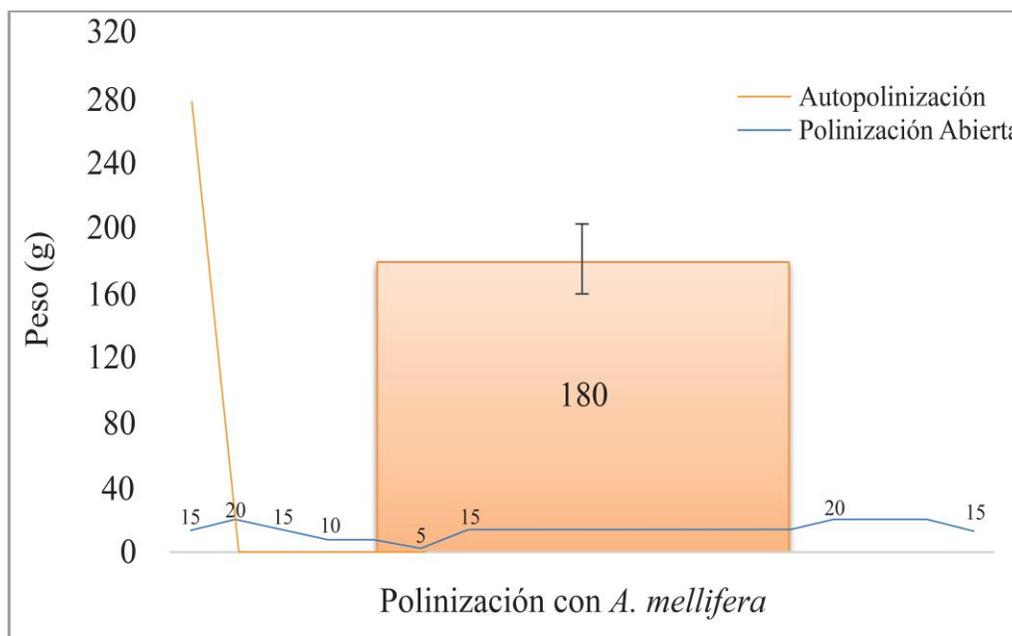
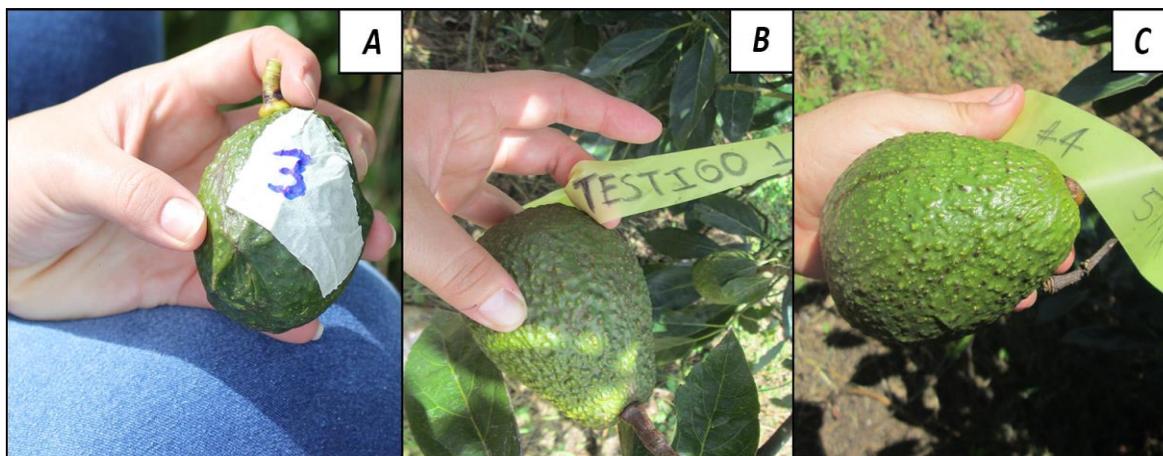


Figura 25. A) Frutos de polinización abierta, B) Fruto de autopolinización y C) Fruto del ensayo de polinización con la abeja melífera.



La autopolinización ocurre cuando el polen de una flor poliniza el pistilo de la misma flor y sólo sería posible en la segunda apertura cuando la flor es funcionalmente masculina, es por esta razón que los frutos maduros muy rara vez llegan a desarrollarse en ramas cubiertas con mallas protectoras, demostrándose de esa manera la ineffectividad de la autopolinización durante la fase masculina (Yarita 2014). En las ramas testigo no se esperaba cosechar frutos debido a que las flores estuvieron aisladas de la actividad de cualquier insecto y el aguacate obtenido de la autopolinización ocurrida en las mallas pudo ser producto de la fecundación por acción del viento o por efecto de la gravedad, también debe considerarse la transferencia accidental de polen por trips.

Robbertse *et al.* (1997), realizaron un estudio en el que encerraron árboles de Hass en jaulas con y sin colmenas, obteniendo como resultado una producción de 28.5 y 1.7 kg/árbol respectivamente, lo que deja ver la correlación positiva que existe entre la visita de abejas y el número de frutos cosechados, tal como ocurrió en la presente investigación, donde la diferencia entre la presencia y ausencia de abejas fue de 83%. Una publicación que capta la atención por su similitud en cuanto a resultados con estos ensayos, es la de Malerbo-Souza *et al.* (2000), quienes cubrieron tres inflorescencias con tejido de nylon y dejaron tres descubiertas. En aquellas que estuvieron aisladas cosecharon solamente tres frutos y en las que se conservaron expuestas a la visita de cualquier polinizador recolectaron un total de 16

frutos, lo que representó una diferencia de 81.25% en la producción de frutos. Malerbo-Souza y colaboradores, también registraron un peso promedio en flores cubiertas de 261.2 g (muy cercano al obtenido en el presente trabajo) y en flores descubiertas de 265.1 g.

El fruto cosechado en las ramas testigo obtuvo mayor peso que el obtenido en las ramas expuestas a un ambiente saturado con *A. mellifera*, lo cual podría ser explicado basándose en la información expuesta por Yarita (2014) sobre el tema. Pero antes de proceder a desarrollar esta explicación, es importante tener en cuenta que las ramas testigo fueron las primeras en florear y pocos días después lo hicieron las destinadas al ensayo para la polinización con la abeja melífera. Una vez claro este aspecto, se muestra lo expuesto por esta investigadora, quien explica que los frutos cuajados al inicio de la floración alcanzan mayor tamaño debido a que existe menor competencia entre frutos recién cuajados por la poca cantidad existente en ese momento, pero en las semanas posteriores las panículas florales alcanzan un 50% de flores abiertas lo que implica más evapotranspiración y gasto energético. Sucede lo mismo con los frutos cuajados al final, cuando la competencia con el brote vegetativo es menor, porque éste se encuentra desarrollado y con capacidad de realizar fotosíntesis. Yarita (2014), también indica que las primeras flores tienen más carbohidratos que a su vez generan frutos de mayor tamaño, por lo que resalta la importancia de retener los primeros frutos cuajados, que alcanzan mayor peso y contribuyen más al rendimiento.

Vithanage (1990), señala que dos colmenas por hectárea son suficientes para aumentar el número de frutos, pero con tres crece significativamente el peso promedio. Este investigador obtuvo un aumento de 38 g al colocar tres colmenas. El mayor peso de los frutos obtenidos durante la introducción de colmenas no puede ser atribuido exclusivamente a la actividad de la abeja melífera, puesto que ya se ha mencionado que intervienen varios factores como lo es la fertilización, poda, riego, control fitosanitario, entre otros, los cuales no se incluyeron en el diseño de los ensayos y por lo tanto no se cuentan con los datos para incluirlos en el análisis de estos resultados.

Así mismo, el peso promedio de los frutos al momento de la cosecha está relacionado con el número de frutos retenidos por el árbol, es decir, a mayor número de frutos retenidos por el árbol, menor será el tamaño de cada uno de ellos (Gardiazábal 2004; Yarita 2014), es quizá por ese motivo que las ramas expuestas a polinización abierta, lograron mantener

mayor número de frutos pero el peso de los mismos se vio comprometido. Por su parte, Cortés y Reyes (2012), aportan como referencia que los aguacates cosechados en las zonas del árbol con mayor radiación y temperatura, además de condiciones de alta humedad relativa, incide favorablemente en el calibre de la fruta, porque dichos elementos influyen sobre una mayor acumulación de azúcares y de materia seca.

Ensayos similares han sido realizados en gran variedad de cultivos; uno de ellos es en *Brassica napus*, planta similar a la mostaza y comúnmente conocida en Chile como raps; en el cual se han evaluado parámetros de rendimiento bajo condiciones de polinización por *A. mellifera*. Araneda *et al.* (2010), aislaron plantas de insectos polinizadores en jaulas con tela de nylon, también excluyeron parcialmente a las plantas de las abejas mediante celdas cubiertas con una red de filamentos de propileno y por último, introdujeron 6.5 colmenas/hectárea para valorar la polinización. Los parámetros que evaluaron fueron granos/silicua, silicuas/planta, peso de 1 000 granos y rendimiento. Obtuvieron un aumento del 50.34% en la producción comparado con el tratamiento sin presencia de abejas, debido a un aumento en el número de silicuas/planta y peso/1000 granos, lo que deja en claro que la inclusión de las abejas en los cultivos está plenamente justificada como una herramienta de producción. También en soya se han empleado abejas melíferas con el propósito de aumentar la cantidad de semillas y los resultados han sido alentadores, puesto que se ha evidenciado un incremento de un 25% cuando hay colmenas colocadas a 500 metros del cultivo (Santos *et al.* 2013).

5 CONCLUSIONES

1. Los principales visitantes florales silvestres del aguacate, encontrados en San Pablo de León Cortés, pertenecen a los órdenes Hymenoptera, Diptera y Coleoptera. Del primer grupo destacó la abeja *Apis mellifera* e individuos de la subfamilia Meliponinae y la avispa *Agelaia areata*; de los dípteros sobresalieron las familias Sarcophagidae y Tachinidae; y del orden Coleoptera la familia Mordellidae.
2. La mayoría de las abejas melíferas visitan las flores del aguacate en busca de néctar y un pequeño porcentaje lo hace para acarrear néctar+polen al mismo tiempo. El néctar y el néctar+polen son recolectados principalmente en los horarios comprendidos entre las 8:00-9:00 h y 12:00-13:00 h. No se encontraron abejas recolectando solamente polen.
3. La actividad de *Apis mellifera* en las ramas fue baja y el mayor número de visitas se obtuvo entre las 15:00-16:00 h. Las bajas temperaturas durante las primeras horas de la mañana, la nubosidad cerca al mediodía y la presencia de arvenses en estado de floración que cubrieron el campo, probablemente incidieron en el desempeño de la abeja.
4. El porcentaje de cuaje aumentó con la introducción de colmenas de abejas melíferas en el huerto experimental. Sin embargo ocurrió una fuerte caída de frutos durante los meses post-floración, lo que provocó que el porcentaje de cuaje final fuera muy bajo.
5. Los frutos cosechados mostraron un aumento en el peso promedio, pero este incremento no se debe atribuir exclusivamente a la actividad de la abeja, ya que intervinieron varios factores relacionados con el manejo agronómico del cultivo, los cuales no se incluyeron en el diseño inicial del ensayo, sin embargo es posible que la abeja melífera contribuya a la ganancia de peso en frutos.

6 RECOMENDACIONES

Debido a la numerosa cantidad de dípteros recolectados durante este trabajo, resultaría interesante evaluar su papel como posibles polinizadores en el cultivo de aguacate, porque según investigaciones anteriores, estos pueden transportar más polen que las abejas y las avispas. Así mismo, se debería dedicar tiempo al estudio de la avispa *Agelaia areata*, ya que cuenta con características favorables para la polinización, como lo es su ardua actividad en campo desde tempranas horas y hasta muy avanzada la tarde, su adaptabilidad a distintos ambientes y la gran densidad que se logró percibir en campo, así como su alta preferencia por las flores de aguacate. También, se recomienda investigar los miembros de la subfamilia Meliponinae, debido a que varios investigadores han resaltado su eficiencia en el traslado de granos de polen y su posible papel polinizador.

Es importante realizar un listado de las arvenses cuya floración coincide con la de cultivos en las que se van a introducir colmenas, porque de esta manera se puede efectuar un adecuado control de las malezas en el momento preciso, con el propósito de evitar que las abejas desvíen su actividad pecoreadora en ellas y no en el cultivo al cual se está brindando el servicio de polinización. Así mismo, se aconseja consultar el libro: Plantas Arvenses Asociadas al Cultivo de Aguacate de altura en la Zona de los Santos (Rojas y Ramírez 2010), el cual es una guía valiosa en este tema.

En futuros ensayos sería de gran aporte evaluar el comportamiento de la polinización abierta y autopolinización durante la estación lluviosa y la polinización dirigida con abejas melíferas en la estación seca, además de realizar ensayos de polinización manual, en el cultivo de aguacate, puesto que no se ha generado dicha información. También se recomienda realizar ensayos de polinización cruzada para evaluar su aporte en la producción.

Debido a los resultados satisfactorios observados en el porcentaje de cuaje en la finca experimental de APACOOOP; los cuales fueron corroborados por personal de esta cooperativa, se aconseja dar continuidad al uso de colmenas en el cultivo, esto con el propósito de respaldar los datos obtenidos en este estudio y de esa manera verificar si la tendencia en el aumento del número de cuajes se mantiene en el tiempo.

7 LITERATURA CITADA

- Adriazola, C. 2007. Efecto de la carga frutal de árboles de paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass en alta densidad, sobre la floración y cuaja de la temporada siguiente. Taller de Licenciatura (Ingeniero Agrónomo). Quillota, Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 46 p.
- Afik, O; Dag, A; Kerem, Z; Shafir, S. 2006. Analyses of avocado (*Persea americana*) nectar properties and their perception by honey bees (*Apis mellifera*). Revista J Chem Ecol. (32):1949-1963.
- Afik, O; Delaplane, KS; Shafir, S; Moo-Valle, H; Quezada-Euán, JJ. 2014. Nectar minerals as regulators of flower visitation in stingless bees and nectar hoarding wasps. Revista J Chem Ecol. (40):476-483.
- Aguirre, A; Guevara, R; Dirzo, R. 2011. Effects of forest fragmentation on assemblages of pollinators and floral visitors to male- and female- phase inflorescences of *Astrocaryum mexicanum* (Arecaceae) in a Mexican rain forest. Revista Tropical Ecology (27):25-33.
- Alcaraz Arco, ML. 2009. Biología reproductiva del aguacate (*Persea americana* Mill.). Implicaciones para la optimización del cuajado. Tesis Doctoral. Málaga, España, Universidad de Málaga, Facultad de Ciencias, Departamento de Microbiología. 263 p.
- Alcaraz Arco, ML; Hormaza, JI. 2009. Avocado pollination and fruit set- A perspective from Spain. California Avocado Society. (92):113-135.
- Alcaraz ML; Hormaza; JI; Rodrigo; J. 2013. Pistil starch reserves at anthesis correlate with final flower fate in avocado (*Persea americana*). PLoS ONE 8(10):e78467.
- Alfonso, J. 2008. Manual técnico del cultivo del aguacate Hass (*Persea americana* L.). Centro de Comunicación Agrícola de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). La Lima, Cortés, Honduras. 49 p.

- Amat, E; Amat, G; Amarillo, A; Avendaño, J; Cantor, C; Fernández, F; Flórez, E; Luna, D; Medellín, C; Moreno, MI; Nates, G; Palacino, F; Porras, M; Rocha, M; Sarmiento, C; Sarmiento, R; Vélez, D. 2009. Biodiversidad Regional: Santa María-Bocayá. Guía de Campo. Artrópodos: Arácnidos, Miriápodos, Crustáceos, Insectos. Serie de guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales No.5, Bogotá, CO. 238 p.
- Amórtegui Ferro, I. 2001. El cultivo de aguacate: Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. Corporación para la promoción del desarrollo rural y agroindustrial del Tolima. Ibagué, CO. 49 p.
- Apablaza, C. 1981. Efecto de C 598 como atrayente de abejas (*Apis mellifera* L.) en la polinización de paltos (*Persea americana* Mill.) cv. Fuerte para la zona de Quillota, V región. Tesis Ing. Agr. Quillota, Chile, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 50 p.
- Araneda Durán, X; Breve Ulloa, R; Aguilera Carrillo, J; Lavín Contreras, J; Toneatti Bastidas, M. 2010. Evaluación of yield component traits of honeybee-pollinated (*Apis mellifera* L.) rapeseed canola (*Brassica napus* L.). Chilean Journal of Agricultural Research 70(2):309-314.
- Araya Escobar, GE. 1996. Caracterización de la floración del palto (*Persea americana* Mill.) en los cultivares Bacon, Edranol, Hass, Negra de la Cruz y Zutano, para la zona de Quillota. Tesis Ing. Agr. Quillota, Chile, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 77 p.
- Arce, HG; Sánchez, LA; Slaa, J; Sánchez, PE; Ortiz, A; Van Veen, JW; Sommeijer, MJ. 2001. Árboles melíferos nativos de Mesoamérica. PRAM-CINAT-UNA. Heredia, CR. 207p.
- Arias, JP. 2015. Abastecer a Costa Rica de aguacate Hass para autoconsumo podría tomar de 20 a 30 años. (en línea). Consultado el 30 ene. 2016. Disponible en <http://www.crhoy.com/abastecer-a-costa-rica-de-aguacate-hass-para-autoconsumo-podria-tomar-de-20-a-30-anos/>
- Arpaia, ML; Hofshi, R. 2004. La flor del palto y el proceso de polinización - cuaja: Ideas desde la perspectiva Californiana. (en línea). Consultado el 23 may. 2015. Disponible

en:http://www.avocadosource.com/journals/2_semiario/2_seminario_arpaia_pollination_in_california_span.pdf

- Avilán, LA; Rodríguez, M. 1995. Flowering time and avocado yield in the northern region of Venezuela. *Revista Agronomía Tropical*. 45(1):35-49.
- Ayala, R. 1999. Revisión de las abejas sin aguijón de México (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Folia Entomol. Mex.* (106):1-123.
- Barquero, S. 2015. Servicio Fitosanitario tramitó permisos para importar aguacate de Perú, Nicaragua, Chile y Panamá. (en línea). Consultado el 30 ene. 2016. Disponible en http://www.nacion.com/economia/consumidor/aguacateServicio_Fitosanitario_del_Estado-escasez_0_1492850774.html
- Bergh, BO. 1967. Reasons for low yields of avocados. *California Avocado Society Yearbook*. (51):161-172.
- _____. 1969. Avocado (*Persea americana* Miller). In *Quilines of perennial crop breeding in the tropics*, (1969, Landbouwhogeschool, NLD).Eds. FP, Ferwerda y F, Wit. p. 23-51
- Brown, BV; Borkent,A; Cumming, JM; Wood,DM; Woodley, NE y Zumbado, MA. 2009. *Manual of Central American Diptera, Volume 1*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, CA. 714 p
- _____. 2010. *Manual of Central American Diptera, Volume 2*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, CA. 728 pp.
- Cabezas Soriano, C; Hueso Martín, JJ; Cuevas González, J. 2002. Estados fenológicos tipo del Aguacate. El Ejido, España. Estación Experimental Las Palmerillas. 16p.
- _____. 2003. Anomalías Morfológicas y fisiológicas del ciclo floral del aguacate en la costa de Almería. *Actas del V Congreso Mundial del Aguacate*. 231-236 p.
- Cabezas Soriano, C; Cuevas González, J. 2007. Vectores de polinización del aguacate en el Sureste español. (en línea). Consultado el 23 mar. 2016. Disponible en <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3d-150.pdf>

- Camargo, JM; Pedro, SR. 2013. Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region-online version (en línea). Brasil. Consultado 02 oct. 2014. Disponible en <http://www.moure.cria.org.br/catalogue/catalogue?id=34135>
- Cardemil, A; Gardiazábal, F; Guajardo, V; Hoddle, M; Larral, P; Luppichini, P; Montenegro, J; Núñez, E; Olivares, N; Peña, J; Ripa, R; Rodríguez, F; Rodríguez, S; Rojas, S; Tepper, P; Ubillo, A; Vargas, R; Véliz, P; Villaseñor, R; Wysoki, M. 2008. Manejo de plagas en paltos y cítricos. La Cruz, Chile, INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), Ministerio de Agricultura. 397 p.
- Castañeda Vildózola, A. 2000. Identificación y eficiencia de insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán, México. Tesis de Postgrado. Montecillo, Texcoco, México, Colegio de Post graduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. 87 p.
- Castillo Dominichetti, SE. 2002. Efecto de la distancia de las colmenas de abejas (*Apis mellifera*) a los árboles de palto (*Persea americana* Mill) y efecto de un segundo ingreso de colmenas de abejas al huerto de paltos, sobre el número de abejas encontradas en las flores de palto. Tesis de Postgrado. Quillota, Chile, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 70 p.
- Cerdas, M; Montero, M; Díaz, E. 2006. Manual de manejo pre y pos-cosecha de aguacate (*Persea americana*). MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). San José, CR. 95p.
- Clark, OI. 1923. Avocado pollination and bees. California Avocado Association Annual Report 1922-1923. (8):57-62.
- Cortés Rivera, CV; Reyes Torres, GA. 2012. Efecto de la ubicación del fruto sobre la evolución de carbohidratos, hormonas y tamaño de paltas variedad Hass durante su período de crecimiento. Seminario de Tesis Ing. Agr. La Serena, Chile, Universidad de la Serena, Escuela de Agronomía. 87 p.
- Cossio Vargas, LE; Salazar García, S; González Durán, IJL; Medina Torres, R. 2007. Algunos aspectos reproductivos del aguacate “Hass” en clima semicálido. (en línea).

- Consultado el 21 may. 2015. Disponible en <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3d-151.pdf>
- Degani, C; Goldring, A; Gazit, S; Lavi, U. 1986. Genetic selection during the abscission of avocado fruitlets. *Revista HortScience*. 21(5):1187-1188.
- De la Cuadra, S. 1999. Importancia del manejo y calidad de las colmenas de abejas (*Apis mellifera* L.) en la polinización del palto (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. (5):145-150.
- _____. 2007. Determinación de la actividad polinizadora de la abeja (*Apis mellifera*) en la polinización de palto en la zona central de Chile. (en línea). Consultado el 28 may. 2015. Disponible en <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3d-124.pdf>
- De la Cuadra, S; Rodríguez, F. 2006. Manejo de abejas para la polinización de paltos. *Revista Tierra Adentro*. set-oct:22-25.
- Díaz, D; Díaz, Y; López, M; Gómez, M; Rodríguez, G. 2011. El polen apícola. (en línea). Consultado el 15 feb. 2016. Disponible en <http://www.actaf.co.cu/revistas/apiciencia/2011-2/2polen.pdf>
- Di Triani, J. 2007. Visita de abejas (*Apis mellifera*, Hymenoptera: Apoidea) a flores de melón *Cucumis melo* (Cucurbitaceae) en Panamá. *Revista Biología Tropical*. 55(2):677-680.
- Dixon, J; Barber, R. 2008. Relationship between temperature in october and november and yield. New Zealand Avocado Growers Association, Annual Research Report. (8):59-70.
- Eardley, CD; Mansell, MW. 1996. The natural occurrence of insect pollinators in an avocado orchard. *South African Avocado Growers Association Yearbook*. (19):36-38.
- Elizondo, A. 2010. Análisis del mercado de aguacate. (en línea). CR. Consultado el 10 abr. 2015. Disponible en https://simacr.go.cr/images/SIIM/sector_agricola/Frutas/aguacate/2010/Aguacate_01_31-05-2010.pdf

- Espina, D; Ordetex, G. 1981. Apicultura Tropical. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, CR. 420 p.
- Evans, LJ; Goodwin, MR; McBrydie, HM. 2010. Factors affecting “Hass” avocado (*Persea americana*) fruit set in New Zealand. *New Zealand Plant Protection*. (63):214-218.
- Evans, LJ; Goodwin, MR. 2011. The role of insect pollinators in avocado (*Persea americana*) pollination in New Zealand and Australia. (en línea). Consultado el 21 may. 2015. Disponible en http://www.avocadosource.com/wac7/Section_07/EvansLisa2011.pdf
- Faye, PF; Planchuelo, AM; Molinelli, ML. 2002. Relevamiento de la flora apícola e identificación de cargas de polen en el sureste de la provincia de Córdoba, AR. *Agriscientia*. (XIX):19-30.
- Fried Agosín, PA. 1999. Evaluación de la polinización y cuaja en palto (*Persea americana* Mill.) mediante el uso de *Bombus terrestres* (Hymenoptera: Apidae) en la localidad de Quillota, V Región. Taller de Licenciatura. Quillota, Chile, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 94 p.
- Gandolfo, S. 2008. Factores ecofisiológicos relacionados con el crecimiento vegetativo, floración y desarrollo del fruto del aguacate. Tesis Doctoral (Doctor Ingeniero Agrónomo). Valencia, ES, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Producción Vegetal. 225 p.
- Gardiazábal, F. 2004. Riego y nutrición en paltos. 2º Seminario internacional de paltos. Quillota, Chile. (en línea). Consultado 23 may. 2016. Disponible en http://www.avocadosource.com/Journals/2_Seminario/2_Seminario_Gardiazabal_Fertilizacion_y_Riego_SPAN.pdf
- _____. 2008. Palto y cítricos: Generalidades del cultivo. In Manejo de plagas en paltos y cítricos (2008, La Cruz, Chile). Eds. Ripa, R; Larral, P. p. 15-30.
- González, L. 2015. México es productor global monstruo de aguacate: Grayeb. *El Economista*, México D.F, México, ene. 23:20.
- Granados Hurtado, AM. 2013. Factores nutricionales que determinan el comportamiento productivo del aguacate (*Persea americana* Mill) Cv. Lorena en San Sebastián de

- Mariquita en el departamento del Tolima, Colombia. Tesis M.Sc. en Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. 122 p.
- Griswold, HB. 1945. The Hass avocado. California Avocado Association. Yearbook. (30):27-31.
- Hormaza, I. 2014. Factors influencing avocado fruit set and yield. From the Grove. Verano 2014:34-36.
- IICA (Instituto de Cooperación para la Agricultura). 2009. Manual de apicultura básica para Honduras. Tegucigalpa, HO. 67 p.
- Ish-Am, G. 1994. Interrelationship between avocado flowering and honey bees and its implication on the avocado fruit fullness in Israel. Tesis de Doctorado. Israel, Israel, Universidad Tel Aviv. 157 p.
- _____. 2004. Principios de la polinización del palto – una breve revisión. 2º Seminario internacional de paltos. Quillota, Chile. (en línea). Consultado el 23 may. 2015. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/242196145_PRINCIPIOS_DE_LA_POLINIZACION_DEL_PALTO_-_UNA_BREVE_REVISION
- Ish-Am, G; Eisikowitch, D. 1991. New insight into avocado flowering in relation to its pollination. California Avocado Society Yearbook. (75):125-137.
- _____. 1993. The behaviour of honey bees (*Apis mellifera*) visiting avocado (*Persea americana*) flowers and their contribution to its pollination. Revista Apicultural Research. (32): 175-186.
- _____. 1998. Low attractiveness of avocado (*Persea americana* Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. Revista Horticultural Science and Biotechnology. 73(2):195-204.
- Ish-Am, G; Barrientos, F; Castañeda, A; Gazit, S. 1999. Avocado (*Persea americana* Mill.) pollinators in its region of origin. Revista Chapingo. 5(1):137-144. (Serie Horticultura no.5, número especial).

- Ish-Am, G; Lahav, E. 2011. Major role of honeybee pollination in avocado as compared to wind. VII Congreso Mundial del Aguacate. Cairns, Australia. (en línea). Consultado el 28 may. 2015. Disponible en <http://worldavocadocongress2011.com/userfiles/file/Gad%20Ish-Am%201030-1050.pdf>
- Jardón Barbolla, LO; Alavez Gómez, V; Méndez, V; Gaona, A; Wegier Brioulo, AL; Piñero, D. 2011. Análisis para la determinación de los centros de origen, domesticación y diversidad genética del género *Persea* y la especie *Persea americana* (aguacate). (en línea). Consultado el 23 may. 2015. Disponible en http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Persea/Informe_Final/Informe%20final%20Persea.pdf
- Kearns, CA. 2001. North American dipteran pollinators: assessing their value and conservation. *Conservation Ecology* 5(1):5.
- Kerns, C; Inouye, D. 1993. *Techniques for pollination Biologists*. Universidad Press de Colorado. Colorado, Estados Unidos. 583 p.
- Kevan, PG; Baker, HG. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*. (28):407-453.
- Köhne, J. 1998. Floración, desarrollo de fruta y manipulación de producción en palto. Sociedad Gardiazábal y Magdhal. Seminario Internacional de paltos. Viña del Mar, Chile. (en línea). Consultado el 25 mar. 2016. Disponible en http://www.avocadosource.com/Journals/VinaDelMar1998/kohnejs1998d_es.pdf
- Krenn, HW; Plant, JD; Szucsich, NU. 2005. Mouthparts of flower-visiting insects. *Arthropod Structure and Development*. (34):1-40.
- Lara Ruiz, J. 2014. Influencia de los factores microclimáticos en la actividad de forrajeo de *Bombus spp.*, *Apis mellifera* L. y *Melitta tricincta* Kirby, sobre flores de *Macrosyringion longiflorum* (Lam.) Rothm., en el macizo Cazorla-Segura (Jaén, SE Península Ibérica) (Insecta, Hymenoptera). *Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección de Biología*. (18):49-52.

- Leal Ramos, A; Mujica Caveda, Y; Prieto Acanada, IB; Moreno Rodríguez, J; Domínguez Márquez, L. 2009. Comportamiento de la abeja *Apis mellifera* en la polinización del cultivo de la sandía (*Citrullus lanatus*) en casa de cultivo protegido. (en línea). Consultado el 22 feb. 2016. Disponible en <http://www.actaf.co.cu/revistas/apiciencia/2009-1/2.pdf>
- Leal Ramos, A; León Sánchez, L. 2013. Antagonismo de *Apis mellifera* y *Melipona beecheii* por las fuentes de alimentación. Revista Cubana de Ciencias Forestales. 1(2):102-109.
- Lemus, G; Ferreyra, R; Sepúlveda, P; Maldonado, P; Toledo, C; Barrera, C; Celedón, JM. 2010. El cultivo del Palto. 3 ed. INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias). Boletín INIA N°129. Santiago, CL. 76 p.
- Llorens, JM. 1990. Homóptera II: Pulgones de los cítricos y su control biológico. Valencia, ES. Pisa Ediciones. 170p
- Lovatt, C. 1997. Pollination biology and fruit set in avocado. Australian Avocado Growers Federation Inc. Searching for Quality. Nueva Zelanda: 106-112.
- Madrigal, LM. 2016. Precio y contrabando de aguacate crecen a ritmo alarmante. (en línea). Consultado el 30 abr. 2016. Disponible en <http://www.elmundo.cr/precio-del-aguacate-contrabando-crecen-ritmo-alarmante-tras-cierre-importaciones-mexicanas/>
- Malerbo-Souza, DT; de Alencar Arnaut de Toledo, V; da Silva, SR; Souza, FF. 2000. Pollination in avocado flowers (*Persea americana* Mill.). Revista Acta Scientiarum. 22(4):937-941.
- Martínez Domínguez, M. 2003. Evaluación de la actividad polinizadora de *Apis mellifera* L. y otros insectos asociados a la floración de tres cultivares de almendro (*Prunus dulcis* [Mill] Webb) y tres cultivares de peral asiático (*Pyrus pyrifolia* Nakai), en la localidad de Nogales, V región. Taller de Licenciatura. Quillota, Chile, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 89 p.
- MEIC (Ministerio de Economía, Industria y Comercio). 2015. Costa Rica: Medidas no arancelarias y su impacto en la competencia. Caso Aguacate. (en línea). Consultado

- el 30 abr. 2016. Disponible en <http://www.sela.org/media/2087926/medidas-no-arancelarias-y-su-impacto-en-la-competencia-cr.pdf>
- Mena Hernández, S. 2013. Monitoreo de mercados: Aguacate. (en línea). Consultado el 10 abr. 2015. Disponible en https://simacr.go.cr/images/SIIM/sector_agricola/Frutas/aguacate/2013/M_aguacate_01_30-09-2013.pdf
- _____. 2015. Monitoreo de mercados de aguacate. (en línea). Consultado el 30 abr. 2016. Disponible en https://simacr.go.cr/images/SIIM/sector_agricola/Frutas/aguacate/2015/A_aguacate_02_01_11-2015.pdf
- _____. 2016. Monitoreo de mercados de aguacate. (en línea). Consultado el 7 may. 2016. Disponible en https://simacr.go.cr/images/SIIM/sector_agricola/Frutas/aguacate/2016/A_aguacate_01_15-04-2016.pdf
- Michener, CD. 2007. The bees of the world. 2nd. EUA. 953 p
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego); Dirección General de Políticas Agrarias. 2015. La Palta: “Producto Estrella de Exportación”. Lima, PE. 80 p.
- Narváez Torres, PR. 2013. Detección de polen convencional y genéticamente modificado de soya, *Glycine mas* L., en la miel de abeja, *Apis mellifera*, en los estados de Campeche y Yucatán. Tesis Lic. Biología. MX, Universidad Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 89 p.
- Nirody, BS. 1922. Investigations in avocado breeding. California Avocado Association Annual Report 1921-1922. (7):65-78.
- Peña, J. 2003. Insectos polinizadores de frutales tropicales: no solo las abejas llevan miel al panal. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 69(1):6-20 p.
- Pérez Balam, J; Quesada Euán, JJ; Alfaro Bates, R; Medina, S; McKendrick, L; Soro, A; Paxton, RJ. 2012. The contribution of honey bees, flies and wasps to avocado (*Persea americana*) pollination in Southern Mexico. Revista Pollination Ecology. 8(6):42-47.

- Pesante, D. 2011. Información sobre polinización de algunos arbustos y árboles de importancia agrícola y apícola. (en línea). Consultado el 10 abr. 2015. Disponible en <http://academic.uprm.edu/dpesante/docs-apicultura/polinizacion-parte-2.PDF>
- Peterson, PA. 1955. Avocado flower pollination and fruit set. California Avocado Society Yearbook. (39):163-169.
- Proctor, M; Yeo, P; Lack, A. 1996. The natural history of pollination. Editor Timber Press. Universidad de Virginia, EUA. 479 p.
- Rallo García, JB. 1987. La apicultura orientada a la polinización frutal. Madrid, ES. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 28 p.
- Razeto, B. 1987. Floración y cuaja en el palto. ACONEX. (18):5-8.
- _____. 2000. El palto: un árbol magnífico pero de discreta producción. ACONEX. no.68: (jul, ago, set):25-29.
- Reyes Carrillo, JL; Cano Ríos, P. 2000. Manual de polinización apícola: la polinización de los cultivos por abejas. (en línea). México. 52p. Consultado el 18 abr. 2016. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/publicaciones/lists/manuales%20apcolas/attachments/4/manpoli.pdf>
- Robbertse, PJ; Johannsmeier, MF; Morudu, TM. 1997. Pollination studies in Hass avocado in relation to the small fruit problem. South African Avocado Growers Association. Yearbook (20):84-85.
- Rojas, K; Ramírez, F. 2010. Plantas Arvenses Asociadas al Cultivo de Aguacate de altura en La Zona de los Santos. 1 ed. Heredia, CR.
- Sáenz, M; Lamy, P. 2002. Indicadores de Salud Cantonales Costa Rica. (en línea). Consultado el 27 set. 2013. Disponible en http://www.paho.org/cor/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=220&Itemid=

- Salamanca Grosso, G; Osorio Tangarife, MP; Casas Restrepo, LC. 2014. Origen botánico y dominancia cromática de las cargas de polen corbicular colectado por *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) en cuatro zonas biogeográficas colombianas. *Revista Zootecnia Tropical*. 32(4):377-390.
- Sammataro, D; Avitabile, A. 2005. El manual del apicultor. Primera Edición. LETEMENDIA Casa Editora. Buenos Aires, AR. 209p.
- Sánchez, S; Mijares, O; López, L; Barrientos, A. 2001. Historia del aguacate en México. (en línea). Consultado el 10 abr. 2015. Disponible en http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamx_19982001/CICTAMEX_19982001_PG_171-187.pdf
- Sánchez Chaves, LA; Picado, A; Sommeijer, MJ; Slaa, EJ. 2002. Floral biology, pollination ecology and seed production of the ornamental plant *Salvia splendens* Sello. *Journal of Horticultural Science*. 77(4):498-501.
- Santos, E; Mendoza, Y; Vera, M; Carrasco-Letelier, L; Díaz, S; Invernizzi, C 2013. Aumento en la producción de semillas de soja (*Glycine max*) empleando abejas melíferas (*Apis mellifera*). *Revista Agrociencia Uruguay*. 17(1):81-90.
- Sedgley, M; Annels, CM. 1981. Flowering and fruit-set response to temperatures during flowering on floral cycle and pollen tube growth in nine avocado cultivars. *Revista Scientia Horticulturae*. (18):207-213.
- Serrahima, I; Leblanc, P. 2007. Algunos datos inéditos sobre Mordellidae y Scraphiidae (Coleoptera) de Galicia. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*. (40):559-560.
- Silva, M. 1997. Evaluación del efecto de un producto de origen aminoacídico aplicado en floración sobre la cuaja y retención de fruta del palto cultivar Hass, en la zona de Quillota, V región. Taller de Licenciatura. Quillota, Chile, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 79 p.
- Ssymank, A; Kearns, CA; Pape, T; Thompson, FC. 2008. Pollinating flies (Diptera): a major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity*. (9):86-89.

- Tapia Bujfs, PA. 1993. Aproximación al ciclo fenológico del palto (*Persea americana* Mill.). Cultivar Hass. Para la zona de Quillota. V Región. Taller de Titulación. Valparaíso, CL, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 159 p.
- Valdés Ibarra, CA. 2002. Evaluación de la actividad de *Apis mellifera* L. y otros insectos asociados a la floración del palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en dos localidades de la V Región (Quillota y la Ligua). Tesis Ing. Agr. Valparaíso, CL, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 76 p.
- Vanda Nilsson, L; Sánchez Vindas, P; Abarca, RM. 2005. Hierbas y arbustos comunes en cafetales y otros cultivos. San José, Costa Rica, Herbario Juvenal Valerio Rodríguez. 246 p.
- Vargas Martínez, A. 2012. Evaluación de cuatro cepas de *Metarhizium anisopliae* en condiciones de campo para el combate de trips (Hexapoda: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate en San Pablo de León Cortés, Costa Rica. Tesis de Lic. Ing. Agr. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. 64 p.
- Vázquez Romero, RE; Ballesteros Chavarro, HH; Tello Durán, JE; Castañeda Carrillo, SJ; Calvo Corredor, NE; Ortega Flórez, NC; Riveros Alejo, LE. 2011. Polinización dirigida con abejas *Apis mellifera*: Tecnología para el mejoramiento de la producción de cultivos con potencial exportador. Bogotá, CO. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 88 p.
- Villamil Echeverri, L. 2014. Incidencia del manejo agronómico y convencional orgánico sobre la biodiversidad en sistemas productivos de aguacate (*Persea americana* Mill.) en el estado de Michoacán, México. Tesis M. Sc. Buenos Aires, AR, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. 98 p.
- Villota, P. 1999. Las abejas y la miel. Acento Editorial. Madrid, ES. 96 p.
- Visscher, P. 1997. Avocado pollination in California growing conditions. Simposio de Investigación de Aguacate de California. California, Estados Unidos. (en línea). Consultado el 22 de feb. 2016. Disponible en http://www.avocadosource.com/ARAC/SUM_1997/SYMP_1997_PG_43-44.pdf

- Vithanage, V. 1990. The role of the European honeybee (*Apis mellifera* L.) in avocado pollination. *Journal of Horticultural Science*. 65 (1):81-86.
- Vivas, NJ; Maca, JD; Pardo, M. 2008. Caracterización cualitativa del polen recolectado por *Apis mellifera* L. en tres apiarios del municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 6(2):94-98.
- Wysoki, M; van den Berg, MA; Ish-Am, G; Gazit, S; Peña, JE; Waite, GK. 2002. Pest and Pollinators of Avocado. In *Tropical fruit pests y pollinators*, (2002, Wallingford, Estados Unidos). Eds. JE, Peña; JL, Sharp; M, Wysoki. p. 262-276.
- Yarita Rubiños, Y. 2008. Caracterización de los estados florales del palto *Persea americana* Mill. Var. Hass, Zutano y Edranol, en las condiciones de Chao, La Libertad, Perú. (en línea). Consultado el 08 ago. 2013. Disponible en http://www.avocadosource.com/international/peru_papers/YaritaYulissa2008.pdf
- _____. 2014. Uso de cultivares complementarios en palto *Persea americana* Miller Var. “Hass” en Chao, La Libertad. Tesis M.Sc. en Ciencias Agrarias. Trujillo, PE, Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ciencias Agrarias. 113 p.

8 ANEXOS

ANEXO 1. Ubicación de los árboles seleccionados para el ensayo según los puntos tomados con GPS.

Punto	Número de árbol
019	1
020	Testigo 6
021	Testigo 1
022	3
023	2
024	10
025	8
026	6
027	5
028	7
029	9
030	4
031	Testigo 2
032	Testigo 3
033	Testigo 5
034	Testigo 4

ANEXO 2. Registro del conteo de número de flores, frutos cuajados y porcentaje de cuaje para cada una de las ramas seleccionadas en los distintos tratamientos.

	Número de árbol	Cantidad de flores/rama	Número de frutos cuajados	% de cuaje
Polinización abierta	1	1 870	7	0.4
	2	2 575	4	0.2
	3	1 183	6	0.5
	4	925	8	0.9
	5	1 103	0	0.0
	6	1 460	5	0.3
	7	1 226	0	0.0
	8	1 211	14	1.2
	9	1 183	1	0.1
	10	1 100	11	1.0
Polinización con <i>A. mellifera</i>	1	815	15	1.84
	2	1 467	21	1.43
	3	2 617	7	0.27
	4	1 795	12	0.67
	5	1 107	46	4.16
	6	926	16	1.73
	7	1 237	42	3.40
	8	1 207	21	1.74
	9	1 177	19	1.61
	10	2 051	12	0.59
Autopolinización	1	958	5	0.5
	2	1 211	0	0.0
	3	2 147	2	0.1
	4	1 542	1	0.1
	5	2 183	3	0.1
	6	1 191	0	0.0

ANEXO 4. Registro de la actividad de *A. mellifera* en la recolección de recursos florales del aguacate.

Horario de muestreo	Número de rama	DIA 1			DIA 2			DIA 3			DIA 4		
		Polen	Néctar	Néctar + Polen									
MAÑANA: 8:00 - 9:00 h	1	0	1	1	0	1	0	0	2	0	0	2	0
	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	3	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	3	0	0	7	0	0	0	0	0	1	0
	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	6	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	9	0	7	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0
	10	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	2	0
MEDIO DIA: 12:00 - 13:00 h	1	0	2	0	0	9	0	0	1	1	0	0	0
	2	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	3	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0
	4	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0
	5	0	3	0	0	11	0	0	3	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
	7	0	4	0	0	1	0	0	1	0	0	2	0
	8	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	9	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
	10	0	4	0	0	2	0	0	2	1	0	3	1
TARDE: 15:00 - 16:00 h	1	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	3	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0
	4	0	4	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	5	0	1	0	0	3	0	0	3	0	0	1	0
	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	4	1	0	3	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	10	0	4	0	0	5	0	0	1	0	0	2	0

ANEXO 5. Control de visitas de *A. mellifera* a las flores del aguacate en las ramas seleccionadas, para los períodos de muestreo establecidos.

Horario de muestreo	Número de rama	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
MAÑANA :8:00 - 9:00 h	1	1	2	1	1
	2	0	0	0	0
	3	0	1	0	0
	4	4	1	0	0
	5	1	3	0	0
	6	0	1	0	0
	7	0	0	0	0
	8	0	0	1	0
	9	0	0	0	0
	10	4	5	0	1
MEDIODÍA: 12:00 - 13:00 h	1	2	2	1	1
	2	0	0	0	0
	3	1	0	0	0
	4	7	0	2	2
	5	0	0	1	0
	6	0	0	1	0
	7	1	0	1	0
	8	0	0	0	0
	9	1	2	1	1
	10	5	0	1	0
TARDE: 15:00 - 16:00 h	1	9	1	0	2
	2	1	1	0	1
	3	0	0	1	5
	4	2	2	1	2
	5	11	3	1	3
	6	2	1	1	0
	7	0	1	4	4
	8	1	0	1	1
	9	1	3	3	1
	10	2	2	4	4

ANEXO 6. Control de caída de frutos en ramas marcadas para ensayo de polinización abierta. Marzo-Diciembre, 2014.

Número de rama	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	7	6	2	2	2	2	2	2	2	2
2	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	6	6	6	5	4	4	4	4	4	4
4	8	5	4	4	4	4	4	4	4	4
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	2	2	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	14	6	4	4	4	4	4	4	4	4
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	11	5	3	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL	56	32	22	20	18	18	18	18	18	18

ANEXO 7. Control de caída de frutos en ramas marcadas para ensayo de polinización con *Apis mellifera*. Octubre, 2014- Agosto, 2015.

Número de rama	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1	15	14	13	7	3	0	0	0	0	0	0
2	21	16	8	4	1	0	0	0	0	0	0
3	7	6	6	4	2	0	0	0	0	0	0
4	12	10	10	7	4	1	1	1	1	1	1
5	46	33	15	10	5	3	3	3	3	3	3
6	16	11	11	5	3	0	0	0	0	0	0
7	42	34	32	18	13	2	2	2	2	2	2
8	21	16	14	10	3	1	0	0	0	0	0
9	19	18	14	7	2	0	0	0	0	0	0
10	12	11	10	5	3	0	0	0	0	0	0
TOTAL	211	169	133	77	39	7	6	6	6	6	6

ANEXO 8. Control caída de frutos en ramas marcadas para los testigos. Septiembre, 2014 - Agosto, 2015.

Número de rama	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
1	5	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	11	6	2	1								

ANEXO 9. Porcentajes de cuaje final/rama promedio obtenido en los distintos ensayos.

Tipo de polinización	Número total de flores en ramas seleccionadas	Frutos totales recolectados	Porcentaje cuaje final
Autopolinización (Testigos)	9 232	1	0.000018
Polinización abierta	13 836	18	0.000130
Polinización con <i>Apis mellifera</i>	14 399	6	0.000042

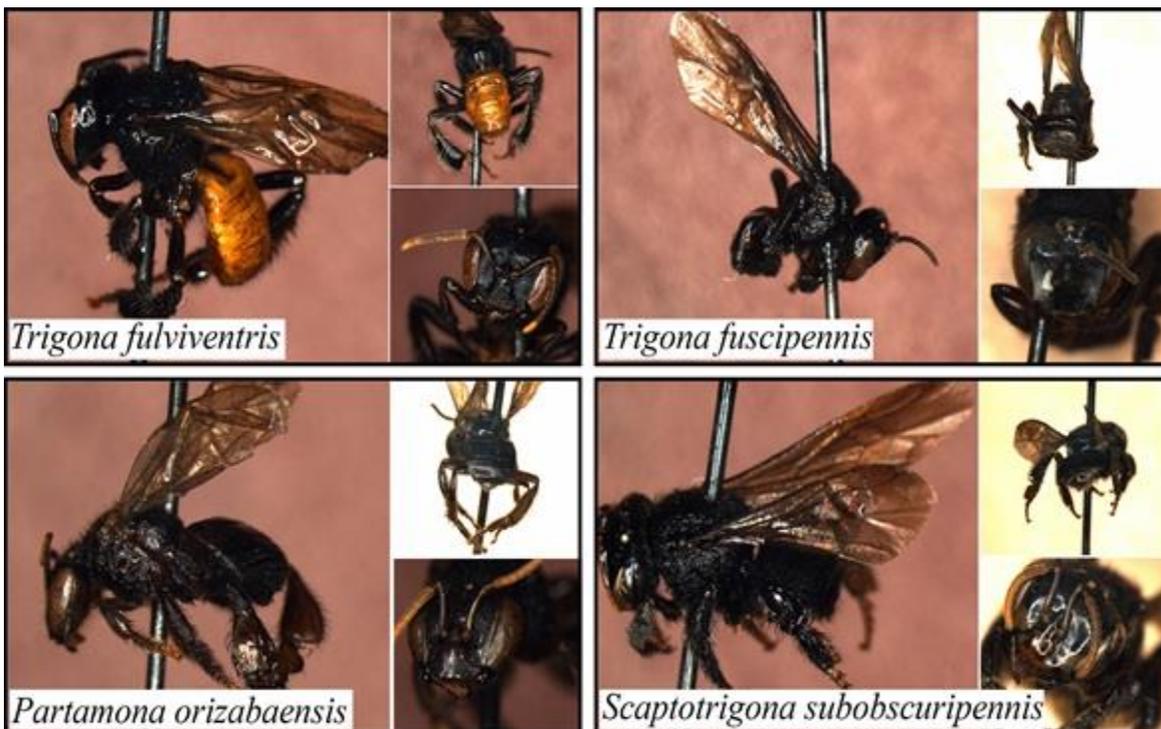
ANEXO 10. Peso de los frutos cosechados.

	Número de árbol	Peso de frutos (g)
Polinización abierta	1	15
		20
	2	15
		5
	3	10
		10
		15
	4	15
		15
		15
8	15	
	15	
	15	
	20	
10	15	
	20	
	20	
Polinización con <i>A. mellifera</i>	4	265
		130
	5	135
		150
7	190	
	210	
Autopolinización	1	280

ANEXO 11. Himenóptero *Agelaia areata* capturado durante los muestreos de visitantes florales del aguacate en APACCOOP.

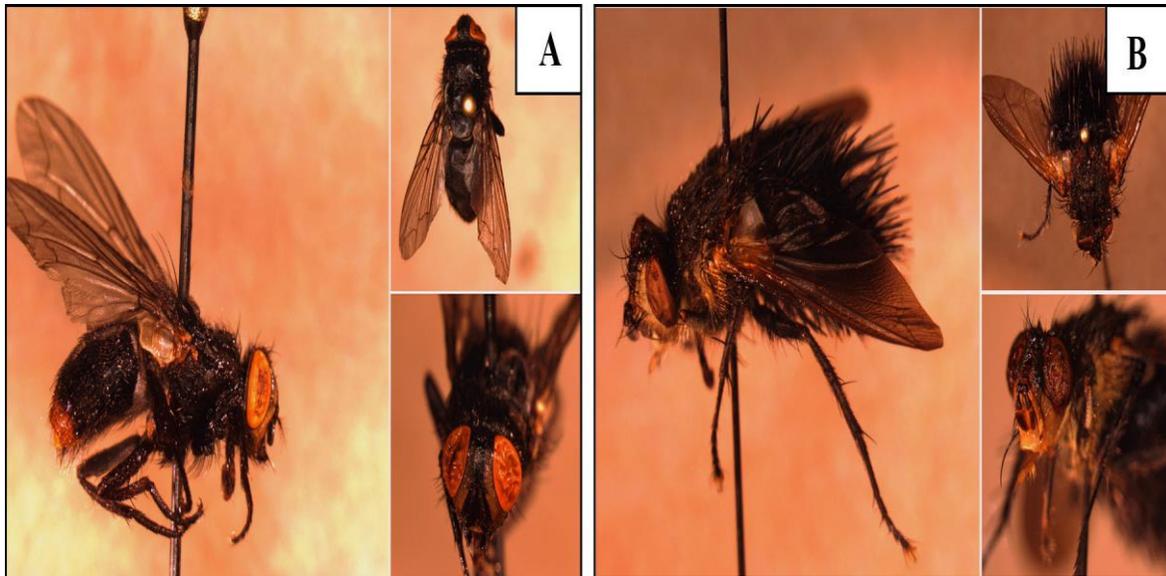


ANEXO 12. Especies de meliponinos recolectados en el cultivo de aguacate.



ANEXO 13. Ejemplares de dípteros recolectados en la finca experimental de APACOOOP.

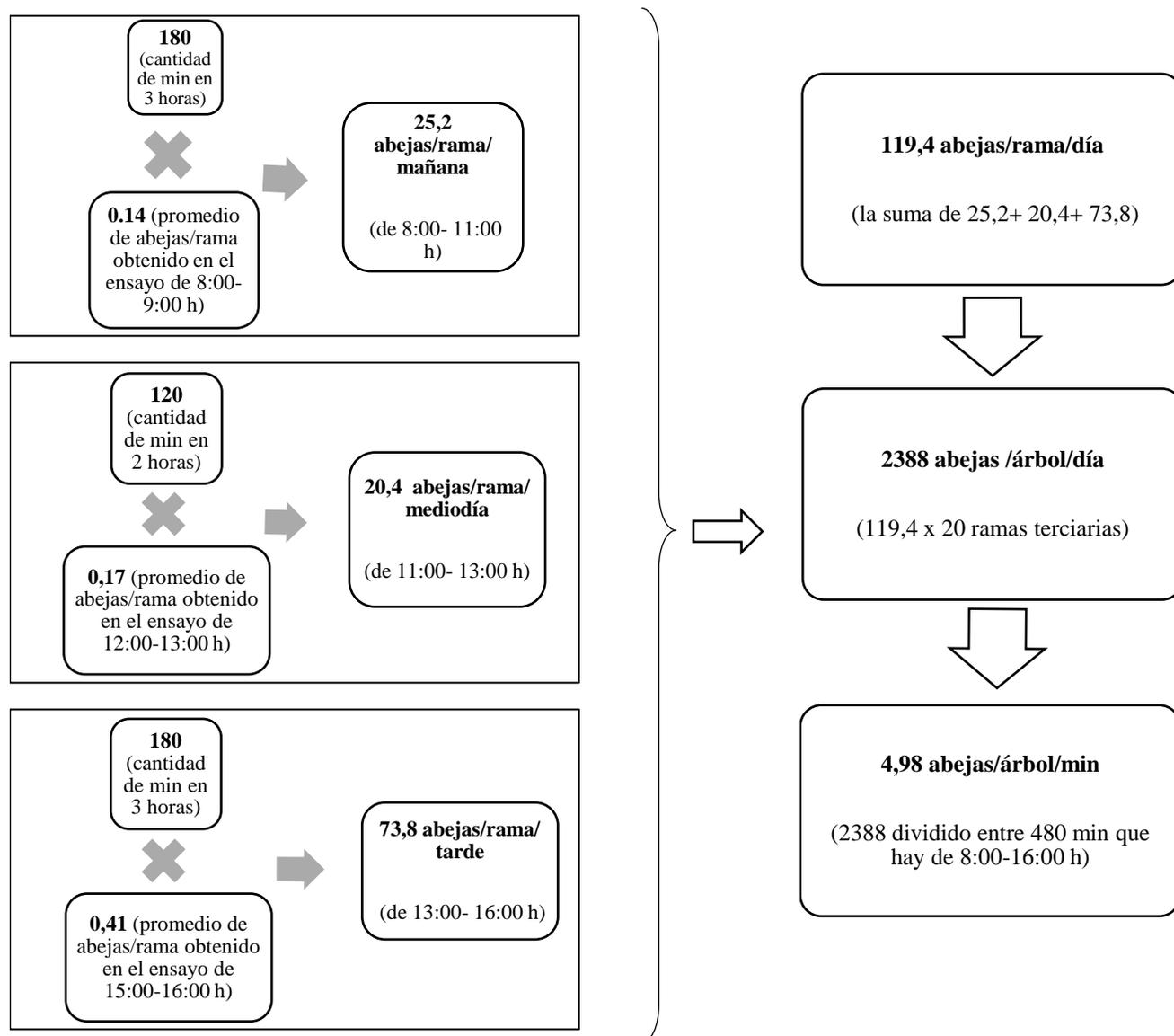
A) Sarcophagidae y B) Tachinidae *Archytas* sp.



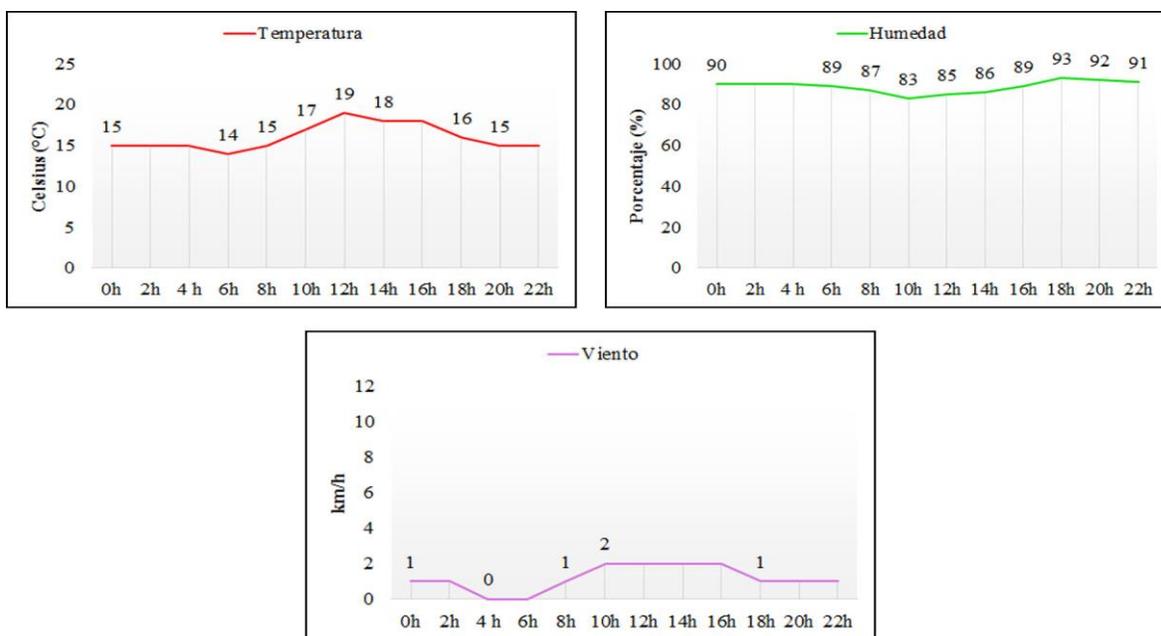
ANEXO 14. Coleóptero de la familia Mordellidae recolectado en APACOOOP.



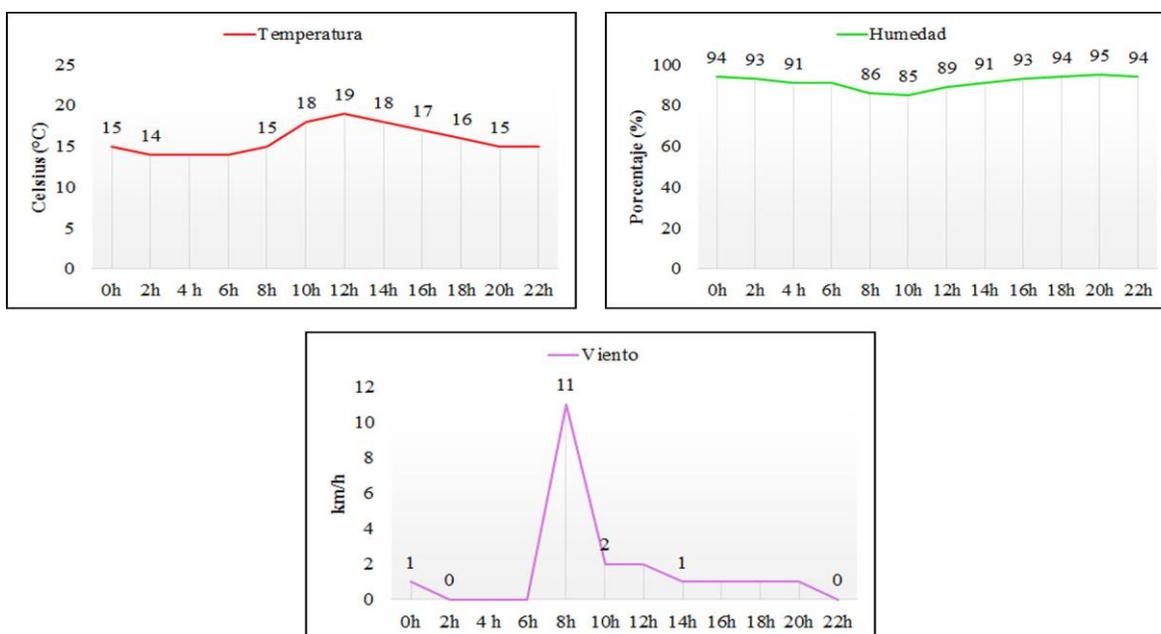
ANEXO 15. Cálculo del número aproximado de abejas/árbol/minuto, obtenido bajo diversas suposiciones tomando como referencia los datos de campo.



ANEXO 16. Datos promedio de temperatura, humedad y viento, durante los ensayos de autopolinización en el mes de agosto, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP.



ANEXO 17. Datos promedio de temperatura, humedad y viento, durante los ensayos de polinización con abejas melíferas en el mes de septiembre, 2014. Estación meteorológica de APACOOOP.



ANEXO 18. Datos promedio de temperatura, humedad y viento, durante la estación seca (febrero, 2014) para el ensayo de polinización abierta. Estación meteorológica de APACOOOP.

