



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Efecto de la densidad de abejas (*Apis mellifera* L.) sobre la polinización y el cuajado de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass.

Juan Felipe Peña Mojica

Universidad Nacional de Colombia
Agronomía, Ciencias agrarias.
Palmira, Colombia
2017

Efecto de la densidad de abejas (*Apis mellifera* L.) sobre la polinización y el cuajado de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass.

Juan Felipe Peña Mojica

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencias Agrarias**

Director (a):
Ph.D. Arturo Carabali Muñoz

Codirector (a):
Ph.D. Nora Cristina Mesa

Línea de Investigación:
Protección de cultivos

Universidad Nacional de Colombia
Agronomía, Ciencias agrarias
Palmira, Colombia
2017

Resumen

Evidencia acumulada muestra que la polinización en el aguacate requiere de insectos vectores y que la abeja melífera *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) es el principal polinizador. Una mayor comprensión del comportamiento de las abejas y de su interacción con flores mejoraría la efectividad de estas en los huertos. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la densidad de abejas sobre la polinización y el cuajado de frutos de aguacate cv. Hass. La investigación se realizó en el municipio de Popayán (Colombia). Se seleccionaron tres huertos de aguacate, cada uno con un área de una hectárea y edad en promedio de 6 años. Los tratamientos fueron: 1) cuatro colmenas/ha, 2) seis colmenas/ha, y 3) testigo sin colmenas. La densidad de abejas por árbol (APA) se cuantificó contando la presencia de las abejas por un minuto, los registros se llevaron a cabo cada hora a partir de las 8 a las 16 h, la tasa de polinización (TP) (porcentaje de estigmas polinizados sobre el total de estigmas recolectados) y la eficiencia de polinización (EP) (número promedio de granos de polen en el estigma) fue medida usando muestras de 600 estigmas en la fase de floración femenina, el porcentaje de frutos cuajados iniciales (PFCi) registrado cuatro semanas después de finalizada la floración, porcentaje de frutos formados (PFF), número de frutos/árbol (NFTA) y peso de frutos/árbol (PFTA) registrados 40 semanas después de finalizada la floración, fueron medidos en 20 árboles por tratamiento. Para el análisis estadístico se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas y los valores promedio de los tratamientos evaluados, se compararon mediante la prueba de Duncan. Los tratamientos de seis y cuatro colmenas/ha presentaron diferencias significativas con respecto al testigo, con un APA de 7.72, 6.04 y 2.72, TP de 60, 55 y 50%, EP de 7.57, 6.04 y 5.98 granos de polen por estigma, 6.11, 4.13 y 3.54% PFCi, 0.058, 0.048 y 0.028% PFF, 231, 212 y 137 NFTA, 46.2, 38.2 y 21.6 Kg PFTA, respectivamente. Los resultados obtenidos muestran un incremento del APA, TP, EP, PFCi, PFF, NFTA y PFTA cuando se introducen seis y cuatro colmenas de abejas/ha en el cultivo de aguacate.

Palabras clave: Tasa de polinización, eficiencia de polinización, aguacate, *Apis mellifera*.

Abstract

Cumulative evidence shows that pollination in the avocado requires insect vectors and that the honeybee *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) is the main pollinator. Greater understanding of bees behavior and their interaction with flowers would improve the effectiveness of bees in orchards. The objective of this research was to determine the effect of bee density on pollination and fruit set of avocado cv. Hass. The research was carried out in the municipality of Popayán (Colombia). Three avocado orchards were selected, each with an area of one hectare and an average age of six years. The treatments were: 1) four hives/ha, 2) six hives/ha, and 3) control without hives. Bee density per tree (BPT) was quantified by counting the presence of the bees for one minute; the records were carried out every hour from 8 to 16 h, the pollination rate (PR) (percentage of stigmas pollinated on the total stigmas collected), and the pollination efficiency (PE) (average number of pollen grains on the stigma) was measured using samples of 600 stigmas in the female flowering phase; the percentage fruit set initial (PFSi) was recorded four weeks after the end of flowering, the percentage formed fruits (PFF), number of fruits/tree (NFTT) and fruit/tree weight (WFTT) registered 40 weeks after the end of flowering, were measured on 20 trees per treatment. For the statistical analysis, a completely randomized design was applied according to divided plots, and the mean values of the evaluated treatments were compared using the Duncan test. Treatments of six and four hives/ha presented significant differences with respect to the control, with a BPT of 7.72, 6.04 and 2.72, PR of 60, 55 and 50%, PE of 7.57, 6.04 and 5.98 grains of pollen per stigma, 6.11, 4.13 and 3.54% PFSi, 0.058, 0.048% and 0.028 PFF, 231, 212 and 137 NFTT, 46.2, 38.2 and 21.6 kg WFTA, respectively. The results obtained show an increase of BPT, PR, PE, PFSi, PFF, NFTT and WFTT when six and four bee hives/ha is introduced in the avocado crop.

Keywords: Rate pollination, pollination efficiency, avocado, *Apis mellifera*.

Contenido

Resumen	III
Abstract.....	IV
Lista de figuras.....	VII
Lista de tablas	VIII
Introducción	1
1. Relación de la densidad de abejas (<i>Apis mellifera</i> L.) con la tasa y eficiencia de polinización en el cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) cv. Hass.....	5
1.1 Generalidades del cultivo	5
1.2 Fenología del aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.).....	6
1.3 Biología floral	7
1.4 Polinización	10
1.5 Insectos polinizadores del aguacate.....	13
1.6 <i>A. mellifera</i> como polinizador del aguacate	14
1.7 Posición de la abeja en la flor de aguacate	17
1.8 Eficiencia de polinización	19
1.9 Materiales y métodos	20
1.10 Localización y tratamientos	20
1.11 Material vegetal.....	22
1.12 Características de las colmenas.....	22
1.13 Especie de abeja utilizada.....	22
1.14 Densidad de abejas por árbol (APA)	23
1.15 Tasa y eficiencia de polinización (TP y EP)	23
1.16 Diseño estadístico	25
1.17 Resultados	25
1.18 Número de abejas por árbol (APA).....	25
1.19 Tasa de polinización (TP).....	28
1.20 Eficiencia de polinización (EP)	30
1.21 Discusión	32
2. Relación de la densidad de abejas (<i>Apis mellifera</i> L.) con el cuajado de frutos en el cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) cv. Hass.	35
2.1 Taxonomía abeja melífera (<i>A. mellifera</i>)	35
2.2 Morfología.....	36

2.3 Ciclo de vida y características	37
2.4 Recolección de recursos	39
2.5 Cuajado de frutos del aguacate cv. Hass y <i>A. mellifera</i> L.	41
2.6 Materiales y métodos.....	42
2.7 Localización y tratamientos	42
2.8 Material vegetal	43
2.9 Características de las colmenas	43
2.10 Especie de abeja utilizada	43
2.11 Porcentaje de frutos cuajados (PFC)	43
2.12 Porcentaje de frutos formados (PFF)	43
2.13 Peso y número total de frutos por árbol (PFTA y NFTA).....	44
2.14 Diseño estadístico	44
2.15 Resultados	45
2.16 Porcentaje de frutos cuajados iniciales (PFCi).....	45
2.17 Porcentaje de frutos formados (PFF)	47
2.18 Número de frutos totales por árbol (NFTA)	52
2.19 Peso de frutos totales por árbol (PFTA).....	53
2.20 Correlación y regresión lineal entre APA y las variables evaluadas	55
2.21 Discusión.....	59
3. Conclusiones y recomendaciones	63
3.1 Conclusiones	63
3.2 Recomendaciones	63
Bibliografía	65

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. A) Flor del aguacate y B) Diagrama floral aguacate.	7
Figura 2-1. A) y B) Flor fase masculina y C) y D) Flor fase femenina.	8
Figura 3-1. Regiones sobre el cuerpo de la abeja y los “zonas de colecta” de polen de aguacate.	17
Figura 4-1. Posición de la abeja melífera cuando visita flores de aguacate sobre varios estados.	18
Figura 5-1. Vista aérea de la ubicación de los tratamientos. A) seis colmenas/ha. B) cuatro colmenas/ha. C) Testigo sin colmenas. D) Ubicación tres tratamientos.	21
Figura 6-1. Tratamientos. A) 4 colmenas/ha y B) 6 colmenas/ha.	21
Figura 7-1. Colmenas tipo Langstroth.	22
Figura 8-1. Abejas melíferas visitando flores de aguacate.	23
Figura 9-1. Montaje de estigmas y granos de polen de aguacate.	24
Figura 10-1. Comparación de medias entre el APA con el número de colmenas. Popayán, 2016.	26
Figura 11-1. Comparación de medias entre el APA con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	27
Figura 12-1. Comparación de medias entre el número de abejas/árbol/minuto en las diferentes horas evaluadas. Popayán, 2016.	28
Figura 13-1. Comparación de medias entre la TP con el número de colmenas. Popayán, 2016.	29
Figura 14-1. Comparación de medias entre la tasa de polinización con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	30
Figura 15-1. Comparación de medias entre EP con el número de colmenas. Popayán, 2016.	31
Figura 16-1. Comparación de medias entre la EP con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	32
Figura 1-2. Comparación de medias entre el PFCi con el número de colmenas. Popayán, 2016.	46
Figura 2-2. Comparación de medias entre el PFCi con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	47

Figura 3-2. Comparación de medias entre el PFF en los diferentes tiempos de muestreo. Popayán, 2016.	51
Figura 4-2. Comparación de medias entre el NFTA con el número de colmenas. Popayán, 2016.	52
Figura 5-2. Comparación de medias entre el NFTA con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	53
Figura 6-2. Comparación de medias entre el PFTA con el número de colmenas. Popayán, 2016.	54
Figura 7-2. Comparación de medias entre el PFTA con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	55
Figura 8-2. Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y la eficiencia de polinización.	56
Figura 9-2. Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y el peso de frutos totales por árbol.	57
Figura 10-2. Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y el número de frutos totales por árbol.	57
Figura 11-2. Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y la tasa de polinización.	58
Figura 12-2. Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y el porcentaje de frutos cuajados finales.	59

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Grupos de floración A y B.	9
Tabla 2-2. Comparación de medias entre el PFF en los tiempos de muestreo con el número de colmenas. Popayán, 2016.	48
Tabla 3-2. Comparación de medias entre el PFF en los tiempos de muestreo con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.	48
Tabla 4-2. Correlación entre APA y las variables evaluadas.	55

Introducción

Los agroecosistemas poseen una variedad de organismos que contribuyen a su productividad y sostenibilidad, entre ellos están los polinizadores, animales que trasladan el polen de las estructuras masculinas a las femeninas de las plantas, garantizando la formación de semillas y/o frutos (FAO, 2009). La polinización entomófila es un servicio ecosistémico y una práctica agronómica utilizada por agricultores (APOLO, 2010). En el mundo, 1500 cultivos requieren de insectos para la polinización (Klein *et al.*, 2007; Hanley *et al.*, 2014) y de 3 a 8% de la producción mundial de cultivos (en toneladas) depende de la polinización por insectos (Aizen *et al.*, 2009).

Durante los últimos años, se ha reportado un declive de las poblaciones de polinizadores (Dewenter *et al.*, 2005), varios autores han documentado reducciones regionales en la abundancia y diversidad de abejas silvestres y disminuciones locales en otras poblaciones de polinizadores, como sírfidos y mariposas (Aizen y Harder, 2009; Biesmeijer *et al.*, 2006; Carvalheiro *et al.*, 2013; Potts *et al.*, 2015). Por otra parte, se ha reportado una disminución significativa en el número de colonias de abejas melíferas en una escala regional en Europa y Norteamérica. Esta situación puede tener consecuencias graves, que limitaría la producción futura de cultivos dependientes de polinizadores lo cual pone en peligro a los agroecosistemas, la sostenibilidad de la diversidad de plantas silvestres y el equilibrio de los ecosistemas naturales (Van-Engelsdorp y Meixner, 2010). La disminución se debe principalmente a la pérdida y la homogeneización del hábitat, plaguicidas, parásitos y patógenos, especies invasoras y el cambio climático (Potts *et al.*, 2005; Brown *et al.*, 2016).

Se estima que el 73% de los cultivos son polinizados por abejas (Zych y Jakubieg, 2006). Biesmeijer *et al.* (2006) estimaron que el servicio prestado por las abejas en beneficio de los ecosistemas mediante la polinización supera 40 billones de dólares anuales.

El aguacate es una especie frutícola que posee ciertas particularidades en su polinización relacionado al comportamiento de su floración, el cual a pesar de tener flores hermafroditas, exhiben el fenómeno de dicogamia protogínea sincronizada (Valdés, 2002), por lo tanto, presentan un desarrollo secuencial de las funciones reproductoras, primero se presenta la apertura femenina y posterior a esto la fase masculina (Alcaraz y Hormasa, 2011; Jardón, 2011).

La flor del aguacate es visitada por una gran diversidad de insectos donde se incluyen Hymenópteros, Dípteros y Coleópteros (Vithanage, 1990). En Centroamérica el aguacate es polinizado por abejas meliponas y avispas (Is-Am y Eisikowitch, 1993). En Colombia Vásquez *et al.*, (2011) estableció que las hormigas, las abejas (*A. mellifera* y *trigonas*), moscas y avispas son las especies de mayor frecuencia como visitantes florales. En el mundo la abeja melífera *Apis mellifera* L., es reportada como el insecto con mayor actividad polinizadora del aguacate (Stout, 1923; Free, 1970; Nieto, 1984; Davenport, 1986; Is-Am y Eisikowitch, 1990; Goodwin, 2012).

Existe información sobre la importancia de la polinización como factor que puede afectar los rendimientos del aguacate. Por ejemplo, cuando el porcentaje de flores polinizadas es inferior al 10-20%, los rendimientos son bajos (Malerbo *et al.*, 2000; Wysoki *et al.*, 2002). En huertos de aguacate, una práctica común es introducir colonias de abejas melíferas (*A. mellifera*) para promover la polinización (Pérez *et al.*, 2012). En Nueva Zelanda, se recomienda de cuatro a diez colmenas/ha (Evans *et al.*, 2011). En Israel, se ha encontrado que la cantidad óptima de colmenas/ha es de ocho, colocadas a distancias no menores de 100 m entre ellas (Bergh, 1975). Dixon (2006) recomienda ocho colmenas/ha cuando los árboles tienen una altura entre 6 y 10 m y diez colmenas/ha cuando los árboles tienen más de 10 m de altura. Arpaia y Hofshi (2004) recomiendan de dos a cuatro colmenas/ha en años secos y diez o más colmenas/ha si la cantidad de flores competidoras es alta. En Colombia Vásquez *et al.* (2011) determinó que con tres colmenas/ha se puede obtener un incremento en el número de aguacates por árbol entre un 21 a un 96%. Goodwin (2012) recomienda la introducción de colmenas cuando el cultivo presenta entre un 5 y 10% de floración, garantizando su persistencia en las flores.

Los insectos polinizadores del aguacate en Colombia no han sido ampliamente estudiados, poco se sabe sobre la mayor o menor incidencia que la actividad de abejas y

otros polinizadores pueda tener sobre los rendimientos del aguacate, debido a esto se debe fomentar la investigación sobre los polinizadores y su funcionalidad en los agroecosistemas como objetos de conservación y fomento. La investigación está orientada a llenar este vacío de información mediante la generación de conocimientos útiles sobre el desarrollo de técnicas que faciliten y aumenten las tasas de polinización en el cultivo de aguacate.

Atendiendo a los problemas de la polinización en el aguacate el objetivo de esta investigación es determinar el efecto de la densidad de abejas (*A. mellifera* L.) sobre la polinización y el cuajado de frutos de aguacate (*P. americana* Mill.) cv. Hass

1.Relación de la densidad de abejas (*Apis mellifera* L.) con la tasa y eficiencia de polinización en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass.

1.1 Generalidades del cultivo

El aguacate se ubica taxonómicamente en la familia Lauracea, conformada por 52 géneros y aproximadamente 3500 especies, distribuidas en regiones tropicales y subtropicales (Alcaraz *et al.*, 2011). El género *Persea* está conformado por 150 especies, distribuido en el trópico y subtrópico, donde se reportan 80 especies (Bernal *et al.*, 2014).

Registros han revelado que el centro de dispersión del aguacate sería la región de América Central y el sur de México. El origen en Mesoamérica incluye hábitats desde los cero hasta más de 3000 msnm (Cerdas *et al.*, 2006; Granados, 2013).

En el aguacate existen tres razas: Antillana, Mexicana y Guatemalteca, estas presentan diferentes adaptaciones medio ambientales (temperatura y altura), y poseen diferentes características (Davenport, 1986). Cada raza tiene un origen geográfico determinado y se han adaptado a diferentes condiciones ambientales; los cultivares de raza Antillana se adaptado a regiones situadas entre los 0 a 800 msnm. La raza Mexicana se ha adaptado a regiones entre los 1400 a 2500 msnm. La raza Guatemalteca se ha adaptado a regiones entre los 500 a 2000 msnm (Papadakis, 1966). Debido a su amplia distribución y desplazada de sus centros de origen, se han efectuado frecuentes cruces interraciales,

y en la actualidad, los cultivares de importancia económica son híbridos interraciales (Arango y Saldamando, 2015).

El cv. Hass, se originó en Habra Heights, California, atribuyéndose el desarrollo de este cultivar al Señor R.G Hass, en los años veinte (Whiley *et al.*, 2002). El fruto posee características de la raza guatemalteca y Antillana, principalmente de la primera, está adaptada a condiciones climáticas subtropicales (temperatura entre 5 a 19°C y altitudes entre 1700 y 2600 msnm). Se recomienda como polinizador de los cultivares Fuerte o Ettinger. Se caracteriza por la calidad de sus frutos, alta producción y tardía maduración (Calabrese, 1992).

Actualmente el cv. Hass es el de mayor importancia económica debido a sus características organolépticas (Calabrese, 1992; Gardiazabal y Rosenberg, 1991). Resaltan sus propiedades nutritivas, con altos contenidos de calorías, proteínas, grasa natural, vitaminas y minerales (Teliz, 2000).

1.2 Fenología del aguacate (*Persea americana* Mill.)

La fenología se refiere a una serie de procesos fisiológicos que se llevan a cabo en la planta durante un ciclo de tiempo en función de las condiciones climáticas, depende de la interacción con el ambiente y manejo, presentándose diferentes cambios según la zona donde este situada (Mena, 2004). Los cambios en el tiempo y la calidad de luz percibida, humedad y temperatura, entre otros, están asociados con manifestaciones periódicas o estacionales de las plantas como el crecimiento vegetativo, la aparición, desarrollo y caída de flores y frutos, así como la maduración de frutos (Schwartz, 2004).

Salazar *et al.* (1998) describieron para el aguacate una escala macro y microscópica de once estados de la flor, desde yema cerrada hasta antesis. Cabezas *et al.* (2003) identificaron estados - tipo en las fases de floración y fructificación del aguacate, teniendo en cuenta el comportamiento de la floración respecto a la dicogamia y caracteres morfológicos de las yemas.

1.3 Biología floral

Las flores de aguacate son hermafroditas, acopladas en racimos subterminales los cuales contienen de 200 a 545 flores (Silva, 1997; Cossio *et al.*, 2007; Romero, 2012), Durante el periodo de floración, un árbol puede producir más de un millón de flores, que en su mayoría caen sin producir fruto. Se ha estimado que solo entre el 0,001 y el 0,23% de las flores llegan al cuajado (Gazit y Degani 2002).

Las flores poseen un tamaño pequeño de un cm de ancho por siete mm de longitud, presentan una coloración clara amarillo verdosa, está constituida por nueve periantos, nueve estambres y un pistilo, en la parte interior de los filamentos de los estambres existe dos nectarios, las anteras poseen cuatro sacos polínicos (Scora *et al.*, 2002) (Figura 1-1).

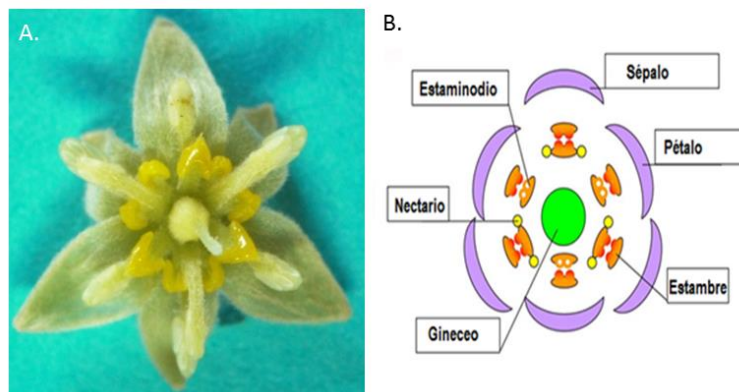


Figura 1-1. A) Flor del aguacate y B) Diagrama floral aguacate. Elaboración propia.

El aguacate presenta dos tipos de inflorescencias: las determinadas e indeterminadas, en las primeras se forma una flor en el meristemo del eje primario, en las segundas en el eje primario se forma una yema en el ápice que continúa creciendo como brote (Salazar, 2000). En California, se encontró que la mayoría de los brotes florales de aguacate cv. Hass fueron indeterminados y sólo del 5 al 20% fueron determinados (Schroeder, 1944). Salazar y Lovatt (1998) determinaron que el número de flores producidas por brotes florales indeterminados (120.4) y determinados (105.2) del cv. Hass. No obstante, se ha reportado que en las inflorescencias determinadas pueden estar presentes yemas

vegetativas en forma latente, que pueden brotar después del cuajado del fruto o permanecer en estado de latencia o morir, por lo cual se podría concluir que los dos tipos de inflorescencia son indeterminados, pero con diferencias en el tiempo (Bernal *et al.*, 2014).









El aguacate posee una floración particular, es auto compatible pero presenta el fenómeno de dicogamia protoginea sincronizada. Por lo tanto, es su fase femenina el estigma no es receptivo al polen, sin embargo las anteras si lo producen, mecanismo que evita la autopolinización. En la fase masculina se presenta lo contrario el estigma no es receptivo pero las anteras si producen polen. Cada una de las flores presenta dos periodos de apertura; una femenina y otra masculina, en el intercambio de las fases se presenta un cierre intermedio y posteriormente cierra completamente (Romero, 2012) (Figura 2-1).



Figura 2-1. **A) y B) Flor fase masculina y C) y D) Flor fase femenina.** Elaboración propia.

El aguacate presenta dos tipos de floración, A y B, en función de su frecuencia de floración diaria (Ish-Am, 2004). En los tipo A las flores femeninas abren en la mañana y las masculinas en la tarde. En los tipos B las flores abren como femeninas en la tarde y en la mañana como masculinas (Alcaraz *et al.*, 2011) (Tabla 1-1). Para que se realice una transferencia eficaz de polen, la fase masculina y femenina de la flor debe ser visitada por insectos (Cabezas *et al.*, 2003).

Tabla 1-1. Grupos de floración A y B.

Periodo de tiempo		Estado	
		Tipo A	Tipo B
Día uno	Mañana		
	Tarde		
Día dos	Mañana		
	Tarde		

Fuente: Adatado de Carabalí *et al.*, 2017.

Es común sembrar en un mismo huerto cultivares tipo A y B, esto promueve la polinización y un incremento en la producción. Por ejemplo dentro de esta clasificación, los cultivares Zutano y Lamat corresponden al tipo B y Zutano y Collinred al tipo A (Gardiazabal y Rosenberg, 1991).

1.4 Polinización

La polinización es el traslado del polen desde las partes masculinas a las femeninas de la flor, es clave para la reproducción de las plantas que presentan flores, requisito necesario para el cuajado de frutos, posteriormente a la polinización se da la fertilización (Valdés, 2002; Alcaraz *et al.*, 2011). Existen tres caminos de transferencia de polen de la parte masculina a la femenina de la flor. La primera llevada a cabo por animales (polinización zoófila), la segunda por el viento (polinización anemófila) y la tercera por el agua (polinización hidrófila) (Mc-Gregor, 1976; Westwood, 1982).

La producción de atractivos florales y la morfología de la flor, atraen a insectos polinizadores (Cabezas y Cuevas, 2007). Cuando la flor es visitada por insectos el polen producido por las anteras se pega a sus cuerpos, posteriormente el polen es depositado sobre los estigmas. Si la polinización es efectiva los granos de polen rompen el estigma mediante la formación del tubo polínico, posteriormente logran alcanzar los óvulos en el ovario. Luego los gametos femeninos que contienen los óvulos son fertilizados. Estos se convierten en semilla y el ovario en fruto (Garibaldi *et al.*, 2012).

La polinización ineficiente se ha considerado como una de los principales motivos de los bajos rendimientos en el aguacate en países productores (Alcaraz *et al.*, 2011). Este presenta un mecanismo de polinización abierta que puede limitar donde se puede limitar la producción de frutos debido a la ausencia de polinización (Vithanage, 1990).

El comportamiento de floración del aguacate es un mecanismo sofisticado, el cual evita la autogamia, faculta la polinización cerrada y fomenta la polinización cruzada. Se presentan tres mecanismos de polinización (Alcaraz *et al.*, 2011).

a) Autogamia, se refiere a la polinización que es realizada por polen que poliniza el estambre de una misma flor (Richards, 1997). Considerando que, en las flores del aguacate existe el fenómeno de dicogamia protógina sincronizada, la autopolinización

solo es posible durante un periodo corto de tiempo en la fase masculina, solo si el estigma permanece receptivo y sea posible la germinación del tubo polínico (Jardon *et al.*, 2013). Sin embargo, en huertos de zonas subtropicales el tubo polínico detiene su crecimiento al llegar al estilo, por consiguiente no alcanza a fertilizar el ovulo, por lo tanto este tipo de polinización es considerada poco eficiente para la formación de frutos (Gazit y Degani, 2002). Contrariamente en cultivos ubicados algunas regiones tropicales este mecanismo de polinización es eficiente. Por este motivo, dependiendo de la región donde esté ubicado el cultivo la autogamia puede ser o no efectiva (Gazit y Degani, 2002).

b) La polinización cerrada es un tipo de polinización, donde el polen es producido por anteras de otra flor del mismo árbol o de otros árboles cercanos que pertenezcan al mismo cultivar. Sucede cuando tiene lugar el traslape entre la fase masculina y femenina (Alcaraz *et al.*, 2011). En el subtrópico la geitonogamia se da en el momento en que las fases florales se traslapan teniendo en cuenta la viabilidad del polen (Davenport, 1991). Gazit y Degani (2002) determinan que en cultivos ubicados en México entre los 1400 a los 2500 msnm se presenta el traslape efectivo de las fases florales, este es favorecido por temperaturas de 10 a 27°C.

c) Polinización cruzada, es definida como la transferencia de polen de la flor perteneciente a un cultivar, a otra flor de un cultivar genéticamente diferente (Root, 1976). Para que este mecanismo sea eficiente las plantas deben producir atractivos florales (néctar y polen), poseer colores y olores llamativos, para que los insectos las visiten (Rallo, 1986). Adicionalmente se debe asegurar la adhesión del polen al insecto polinizador, en estos casos lo más efectivo es que el grano de polen sea pegajoso (Gazit y Degani, 2002). Neira *et al.* (1997) determinan que el atractivo que ejercen las flores de una planta sobre los insectos polinizadores está dado por el color, aroma, cantidad del néctar, tipos de azúcar y su concentración. Además la cantidad de flores presentes en la fase de floración (Valdés, 2002). Este mecanismo de floración es relevante cuando no existe el traslape de fases florales y la autopolinización (Gazit y Degani, 2002).

Experimentos que examinaron los beneficios de la polinización cruzada por diferentes cultivares de aguacate sobre los rendimientos en cv. Hass han demostrado que ciertos cultivares son mejores para aumentar el rendimiento que otros (Robbertse *et al.*, 1996). En particular, el cv. Ettinger ha sido utilizado como un donante de polen tanto en

Sudáfrica e Israel para aumentar el rendimiento (Robbertse *et al.*, 1996; Ish-Am y Eisikowitch, 1998).

Los insectos polinizadores son los principales vectores de polen, relevantes en la reproducción de plantas (Bergh, 1977; Gazit y Degani, 2002). Se ha determinado que el polen del aguacate es pesado y pegajoso y que solo mediante los insectos polinizadores es posible el transporte de polen desde las anteras a los estigmas de las flores (Visscher y Sherman, 1998).

En la polinización del aguacate los factores ambientales ejercen un rol fundamental (Valdés, 2002). Estudios realizados por Davenport *et al.* (1994) en USA determinaron que la autopolinización en la fase masculina es efectiva, descartando a los insectos polinizadores, esto es posible por condiciones medioambientales presentes en la región de estudio, debido a que el estigma bajo estas condiciones prolonga su receptividad (Cabezas y Cuevas, 2007). En otras regiones donde se cultiva el aguacate como Sudáfrica, España, Israel y Australia el proceso de autopolinización no es eficiente o es nulo, dándole a los insectos polinizadores el rol principal los cuales realizan la polinización cruzada y la geitonogamia, confiriéndole a la abeja melífera un papel fundamental (Ish-Am y Eisikowitch, 1998). En el centro de origen del aguacate (México y centro América) investigaciones realizadas por Ish-Am *et al.* (1999) concluyeron que son necesarios los insectos polinizadores para realizar esta labor.

El estigma de aguacate es húmedo, contiene exudados con altos contenidos de lípidos, carbohidratos, proteínas y minerales, características que confieren condiciones óptimas para la germinación (Alcaraz *et al.*, 2011).

En la fase masculina investigadores han logrado determinar que los granos de polen ubicados en los estigmas logran germinar, pero no fertilizar (Segdley, 1977; Shoval, 1987). Sin embargo, investigaciones realizadas en Florida encontraron que los tubos polínicos fertilizan el ovulo, esto dado por condiciones ambientales presentes en la zona de estudio que favorecen la fecundación (Papademetriou, 1976; Davenport *et al.*, 1994).

1.5 Insectos polinizadores del aguacate

Por lo general en aguacate, la polinización requiere de insectos vectores (Ish-Am y Eisikowitch, 1993). Una reducción del 81% en el cuajado de frutos se observó en Brasil donde los insectos habían sido excluidos de las flores de aguacate (Malerbo *et al.*, 2000). En la mayoría de los países, la abeja melífera (*A. mellifera*) es considerada el polinizador más importante (Evans *et al.*, 2011). En América Central, donde es originario el aguacate, es polinado por abejas meliponas y avispas (Free y Williams, 1976; Papademetriou, 1976; Davenport, 1986).

Se han reportado diversas familias de insectos que llevan a cabo la polinización en el aguacate, por ejemplo en investigaciones realizadas en México determinaron que familias como Apidae, Vespidae, Tachinidae, Ichneumonidae, Sarcophagidae, Syrphidae, Lampyridae y Carabidae son las más abundantes y frecuentes (Nieto, 1984; Osuna *et al.* 1985). Vithanage (1990) reportó que Syrphidae y Calliphoridae son polinizadores eficientes debido a las altas cantidades de polen que transportan.

En cuanto a las especies investigaciones realizadas por Eardley y Mansell (1996) reportan a las especies *A. mellifera*, *Allodapes microsticta* Cockrerell, *Belenois aurata* Fabricius, *Camponotus cinctellus* Gerstacker, *Musca domestica* Linnaeus y *Rhyncomyia forcipata* Villen como las más abundantes. No obstante solo consideran a *A. mellifera*, *A. microsticta* y *R. forcipata* como polinizadores eficientes. Castañeda *et al.* (1999) en México determinan que las especies *Geotrigona acapulconis* Strand, *Brachygastra mellifica* Say, *Chrysomya megacephala* Fabricius, y *A. mellifera*, poseían la mayor cantidad de granos de polen en su cuerpo, distribuidos en su vertex, torax y patas.

Cabezas y Cuevas (2007) en España determinan que la abeja melífera (*A. mellifera*) y el abejorro (*Bombus terrestris* L.) son los principales insectos polinizadores de las flores del aguacate. Can *et al.* (2005) determinan que *Nannotrigona perilampoides* Cresson y *Trigona nigra* Lepeletier, especies nativas de los trópicos pueden ser polinizadores efectivos debido a que su frecuencia y carga polínica es alta. Evans *et al.* (2011) en Nueva Zelanda determinan que la mayoría de polinizadores observados (97.4%) fueron abejas melíferas y el único polinizador potencial fue la mosca azul marrón (*Calliphora stygia* Fabricius) y en Australia como polinizadores reportan a dípteros con una mayor

frecuencia de sirphidos, himenópteros en particular las abejas melíferas y una especie de abeja sin aguijón.

Diversos estudios concluyen que el insecto polinizador por excelencia de este frutal es la abeja melífera, debido a su gran abundancia y frecuencia de visita de flores, por ejemplo una abeja visita 12 flores por minuto (Nieto, 1984; Eardley y Mansell, 1996; Visscher, 1997).

1.6 *A. mellifera* como polinizador del aguacate

Su importancia en la polinización del aguacate es evidente a partir de la fuerte correlación positiva que existe entre la actividad de las abejas y el rendimiento del cultivo (Gazit y Degani, 2002). Sin embargo, la polinización inadecuada sigue siendo común en el aguacate, incluso cuando las colonias de abejas melíferas se introducen en un huerto. Este fenómeno se ha atribuido a la predilección de *A. mellifera* por otras especies de flores como de arvenses y cítricos, y a los altos niveles de potasio y fosforo del néctar de la flor (Stout, 1923; Bergh, 1967; Ish-Am, 1994; Gazit y Degani, 2002).

En huertos de aguacate, es una práctica común introducir colonias de abejas (*A. mellifera*) para promover la polinización (Pérez *et al.*, 2012). Degani y Gazit (1984) estudiaron diferentes progenies de aguacate y encontraron que con la presencia de colmenas, el porcentaje de la polinización cruzada varió de 7 a 92%. Vithanage (1990) estudio la introducción de colmenas en el aguacate, encontró un aumento significativo en la producción, en promedio, 227.2 frutos por árbol en huertos sin colmenas, y 788.2 en huertos con colmenas, evidenciando un aumento de 247% en la producción. Popenoe (1963) encontró que las abejas son necesarias para una buena polinización. Stout (1923) recomienda la introducción de abejas en abundancia y el control de otras plantas presentes en zonas cercanas que podrían atraer a estas abejas, desviándolas de la floración del cultivo principal.

Gardiazabal (1998) indica, que al introducir colmenas en un huerto la producción es más alta que sin ellas y que dependiendo del número de colmenas y la distribución en el huerto depende el éxito de la polinización. Ruehle (1958) sugiere que un aumento en

producción puede ser obtenido cuando en el cultivo están ubicadas colmenas. Stout (1933) recomienda 2.5 colmenas/ha para una satisfactoria producción. Lecomte (1961) propone dos colmenas/ha. En Nueva Zelanda, se recomienda de cuatro a diez colmenas de abejas por hectárea (Evans *et al.*, 2010). Dixon (2006) recomienda ocho colmenas/ha cuando los árboles tienen una altura entre 6 y 10 m y diez colmenas/ha cuando los árboles tienen más de 10 m de altura. En Sudáfrica la investigación ha demostrado que para lograr el máximo potencial de polinización debe haber de seis a diez colmenas/ha situadas a 400 m de distancia (Robbertse *et al.*, 1998), Arpaia y Hofshi (2004) recomiendan de dos a cuatro colmenas/ha en años secos y diez o más colmenas si la cantidad de flores competidoras es alta. En Colombia Vásquez *et al.*, (2011) encontró que con 3.2 colmenas/ha se puede obtener un incremento en el número de aguacates por árbol entre un 21 a un 96%. Es recomendable la instalación de las colmenas cuando el cultivo se encuentre en floración, de un 5 a un 10% de flores abiertas, para garantizar la fidelidad de la abejas hacia las flores del aguacate (De la Cuadra, 2001).

Las abejas visitan las flores de aguacate debido a la amplia oferta de recurso alimenticios que esta planta les ofrece, consumiendo néctar de la fase femenina y néctar y polen de la fase masculina (Ish-Am, 2004). Cuando se presenta el traslape de las fases florales visitan ambas de alternada. Sólo alrededor del 20-30% de las abejas son colectores de polen mientras que el resto de colectoras son para el néctar o agua (Du-Toit y Swart, 1993). Las abejas que colectan polen tienen una frecuencia de visita de siete a 15 flores por minuto, esta frecuencia varía con respecto a la necesidad de alimentación que requiere la colmena, de los recursos alimenticios con los que cuentan las flores y de los factores ambientales (Gazit y Degani, 2002), las abejas que colectan néctar de ambas fases de la flor su frecuencia de visita es de dos a 10 segundos (Castillo, 2002).

Suelen ser más activas en los periodos de tiempo comprendidos entre las once y 14 h, tiempo en el cual se da el traslape de las fases florales (Cautín, 1996). Su movilidad está directamente relacionada con el éxito que se presente en la polinización cruzada. Se ha reportado que su movilidad en los huertos es limitada y que trabajan en un radio pequeño, de 150 a 250 m teniendo como referencia la colmena. Por otra parte, suelen quedarse visitando las flores de un mismo árbol, lo que conlleva a que la polinización cruzada se vea afectada, por tal motivo es recomendable la distribución de las colmenas

en el huerto, logrando de esta manera una mayor dispersión de las abejas (Castillo, 2002).

Ish-Am, (2004) en investigaciones realizadas en Israel reporta que las abejas obreras trabajan en un área limitada. No obstante, un limitado grupo de abejas conocidas como exploradores puede efectuar un transporte de polen a distancias más amplias. Referente a la eficiencia de polinización si es cruzada o geitonogamia la diferencia es poca, todo depende de donde esté ubicada la fuente de polen del cultivar donador de polen porque esta se reduce a medida que se aumenta la distancia referente a este (Ish-Am y Lahav, 2011). Investigaciones desarrolladas en Australia donde se evaluó el radio de acción de las abejas referente a la ubicación de las colmenas encontraron que podía desplazarse hasta 300 m en sentido de las hileras en el huerto y entre hileras solo 200 m. Las abejas prefieren forrajear entre árboles contiguos a favor del viento (Ish-Am y Eisikowitch, 1998).

Como recomendación el investigador Ish-Am *et al.* (1999) propone que antes de implementar abejas melíferas en los huertos de aguacate, es recomendable conocer los insectos polinizadores nativos presentes en las zonas de origen del aguacate, cita como ejemplo a las abejas meliponas, ya que estas han coevolucionado con el aguacate desde su origen, adicionalmente, el tamaño de su cuerpo es más eficiente a la hora de visitar las flores y suelen visitar alternadamente las flores en sus ambas fases, además, estas especies de abejas han sido reportadas como polinizadores eficientes en México en diferentes cultivares evaluados. Y a pesar que *A. mellifera* es utilizada ampliamente en polinización dirigida en este frutal, no es un polinizador natural del aguacate esto conlleva a que reduzca su efectividad (Vithanage 1990; Eardley y Mansell 1993; Afik *et al.*, 2006; Afik *et al.*, 2014).

En países donde el aguacate es originario existe un desconocimiento sobre los insectos polinizadores y su influencia en la producción de frutos, si se considera que esta planta ha coevolucionado con insectos desde sus orígenes, es probable que estas especies ejerzan un efecto significativo en la polinización (Castañeda *et al.*, 1999).

1.7 Posición de la abeja en la flor de aguacate

La posición de la abeja visitando flores en estado femeninas y masculinas es similar. Solo una limitada y definidas zonas del cuerpo de la abeja, denominada “zona de colecta (ZC)”, toman contacto con los órganos reproductivos de las flores. La gran mayoría de granos de polen se encuentran ubicados y agrupados en las ZC y pocos granos distribuidos aleatoriamente en el cuerpo de la abeja (Wysoki, *et al.*, 2002) (Figura 3-1).

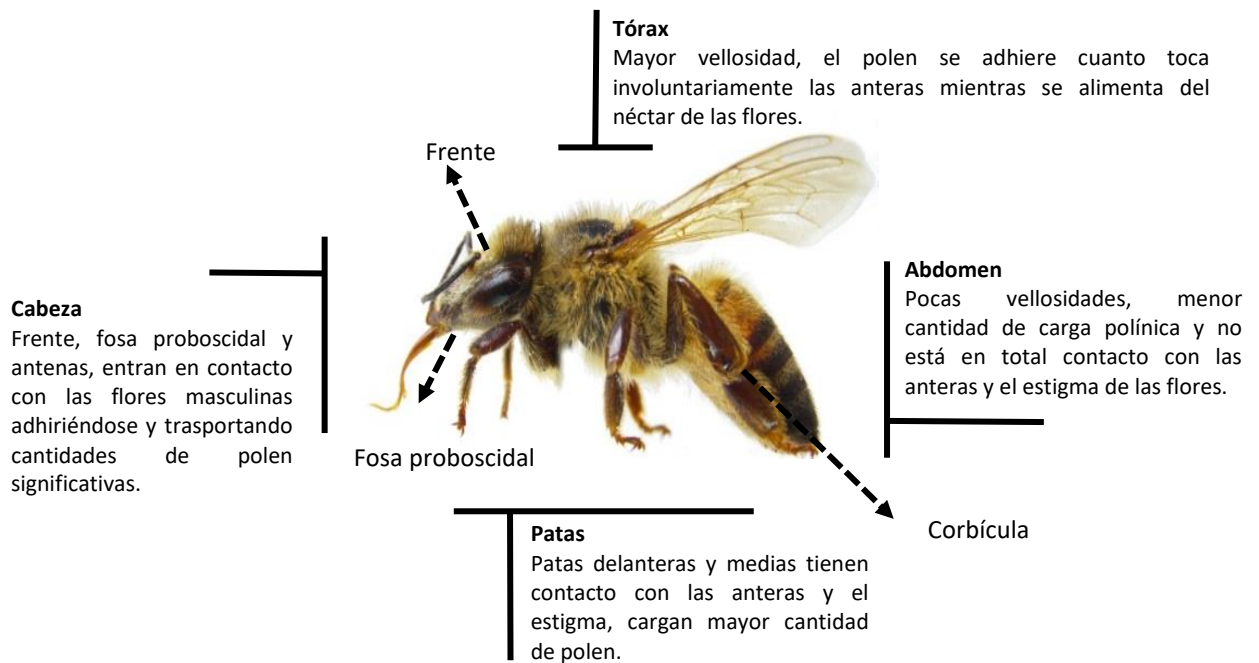


Figura 3-1. **Regiones sobre el cuerpo de la abeja y los “zonas de colecta” de polen de aguacate.** Carabali *et al.*, 2017.

Mientras visita el estado masculino de la flor, la abeja toma contacto con el polen expuesto cuando se produce la apertura de las valvas de los estambres con su vertex, la fosa proboscival, patas y algunas regiones ventrales, recogen grandes cantidades de polen en estas regiones. Las mismas zonas de recolección también tocan el estigma de las flores femeninas, debido a la similitud de la fase femenina y masculina de la flor, y a la localización similar del estigma y los estambres interiores (Ish-Am y Eisikowitch, 1993) (Figura 4-1).

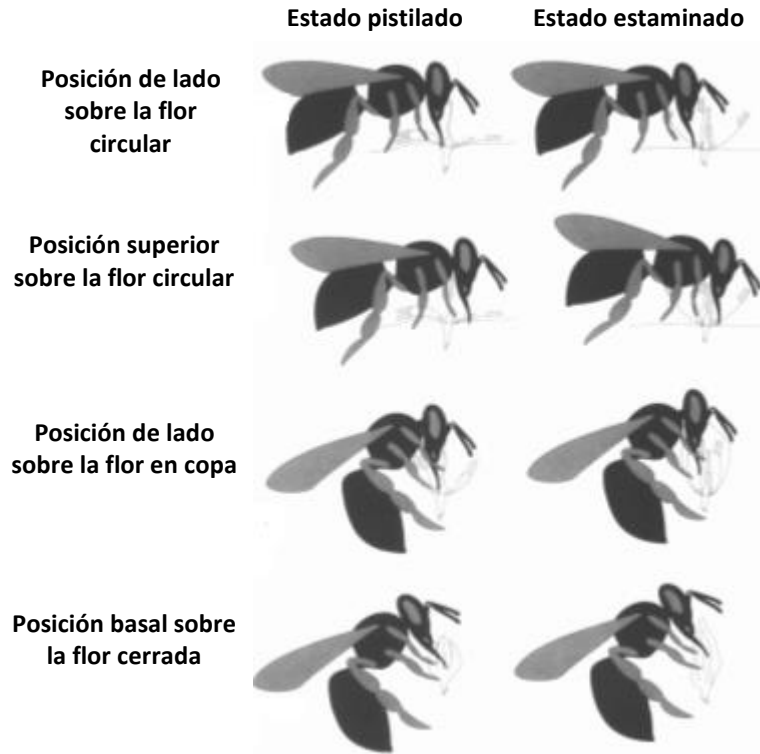


Figura 4-1. **Posición de la abeja melífera cuando visita flores de aguacate sobre varios estados.** Adaptado de Ish-Am y Eisikowitch, 1993.

El polen que es transportado en las ZC cuando la abeja visita las flores en la fase de floración femenina está disponible para polinizar. El número de granos de polen que está distribuido en forma aleatoria en el cuerpo de la abeja es de cero a cinco de granos por región. Lo que explicaría solo una pequeña fracción de la polinización. Adicionalmente, el intercambio de polen que se realiza en la colmena es demasiado bajo, aproximadamente del 10% (Ish-Am y Eisikowitch, 1998).

La disposición que toma la abeja al visitar las flores del aguacate en fase masculina y femenina para recolectar néctar o polen más néctar es similar. Cuando la flor está en forma circular la abeja toma dos posiciones, de lado y por encima. En la primera toma contacto con los nectarios cuando se desplaza de izquierda a derecha. En la segunda toma contacto con los otros nectarios girando en torno al pistilo, incluso se ha visto que en esta posición puede tomar contacto con todos los nectarios. Las abejas giran en una sola dirección en torno a la flor de izquierda a derecha o viceversa, al visitar las flores en

fase masculina toma contacto solo con los tres nectarios estaminoidales, razón por la cual es mucho más rápida comparada cuando visita las flores femeninas que poseen seis nectarios (Ish-Am y Eisikowitch, 1998) (Figura 4-1).

1.8 Eficiencia de polinización

El éxito de la polinización se mide en términos de porcentaje de frutos – semillas cuajadas, es la proporción de fruta madura o semillas en relación con el número inicial de flores u óvulos disponibles, respectivamente. Esta relación es rara vez del 100 % debido a factores tales como los niveles normales de aborto fruta, condiciones sub óptimas de la polinización, herbivoría, o problemas de manejo del cultivo (Delaplane *et al.*, 2013).

Gross (2005) describe cómo deben ser tomadas las medidas directas e indirectas para determinar la efectividad de los polinizadores y la eficiencia de polinización. En la directa, incluye la comparación del número semillas con respecto a la visita de insectos polinizadores comparada con plantas expuestas a polinización manual o abierta.

Las medidas indirectas no determina la contribución realizada en la polinización por cada animal polinizador, incluyen técnicas que tienen en cuenta la abundancia de granos de polen que están presentes en el animal polinizador, las frecuencias de visita y la cantidad de granos de polen que fueron transferidos al estigma.

Ish-Am y Eisikowitch (1995) en Israel determinaron para cinco cultivares de aguacate las tasas de polinización y estos valores los correlacionaron con la actividad de *A. mellifera*, cuando se encontraron 20 abejas el porcentaje de estigmas polinizados fue del 60 al 80% con 10 granos de polen. Con menos de 5 abejas el porcentaje de polinización de polinización fue de dos al 10% con uno a dos granos de polen en el estigma. La tasa de polinización se incrementó al aumentar el número de abejas/árbol, en la autopolinización y polinización cruzada.

En México la tasa de polinización de las flores de aguacate, en su estado femenino, fue determinada en algunas localidades. Las tasas fluctuaban extensamente, desde cero hasta 52%, en relación a la densidad de polinizadores, en muchos casos, la abeja melífera, las abejas sin aguijón, avispa y otros polinizadores visitaron la floración del aguacate (Ish-Am *et al.*, 1999).

1.9 Materiales y métodos

1.10 Localización y tratamientos

La investigación se realizó en el municipio de Popayán, departamento del Cauca (Colombia), se seleccionaron tres huertos de *P. americana* cv. Hass, ubicados geográficamente a los 02° 27' 44.0" Norte y 76° 34' 03.8" Oeste, 02° 27' 17.1" Norte y 76° 34' 05.5" Oeste y 02° 27' 32.4" Norte y 76° 34' 03.7" Oeste, con una altitud en promedio de 1735 msnm y las siguientes condiciones climáticas: temperatura promedio anual de 19 °C y precipitación promedio anual de 1941 mm (Figura 5-1).

Los tratamientos fueron: 1) cuatro colmenas/ha, 2) seis colmenas/ha y 3) testigo sin colmenas. Las colmenas de abejas de *A. mellifera*, utilizadas fueron de tipo Langstroth, ubicadas en el centro de cada huerto (Figura 6-1). Dentro de cada huerto se seleccionaron cinco sitios, cubriendo un rango de distancia a las colmenas: 50, 100, 150, 200 y 250 m. En cada sitio se muestreo un árbol, dando lugar a un total de 5 árboles por huerto.



Figura 5-1. Vista aérea de la ubicación de los tratamientos. A) seis colmenas/ha. B) cuatro colmenas/ha. C) Testigo sin colmenas. D) Ubicación tres tratamientos. Elaboración propia.



Figura 6-1. Tratamientos. A) 4 colmenas/ha y B) 6 colmenas/ha. Elaboración propia.

1.11 Material vegetal

Se seleccionaron tres huertos de *P. americana* cv. Hass, con un extensión de una hectárea cada uno, sembrados a una distancia de 6 x 6 m entre árboles, altura promedio de árboles de cuatro m y edad en promedio de seis años, localizados a distancias considerables (mínimo a 1 km) entre los tratamientos y a los cuales se les aplico manejo agronómico homogéneo.

1.12 Características de las colmenas

Las colmenas utilizadas fueron de tipo Langstroth, con una cámara de cría de diez marcos, cinco poblados con abejas adulta, tres con cría en sus diferentes estados, cría libre de síntomas de enfermedades y patologías, un marco con miel y/o polen y un marco vacío para el desarrollo de la colmena, abeja reina joven menor de un año de edad (Figura 7-1). Las colmenas fueron alquiladas a un proveedor del Valle del Cauca a un costo de \$40.000 colmena por mes.



Figura 7-1. Colmenas tipo Langstroth. Elaboración propia.

1.13 Especie de abeja utilizada

Las abejas utilizadas fueron un híbrido de *A. mellifera scutellata* x *A. mellifera caucasica*. *A. m. caucasica* es originaria de los valles del Cáucaso, de color oscuro a negro con bandas grises en el abdomen, bastante dócil y no defensiva de la colonia, buena

producción de crías, fuertes colmenas, tienden a la deriva y al pillaje, pero no a la excesiva enjambrazón.

1.14 Densidad de abejas por árbol (APA)

La densidad de las abejas por árbol se cuantificó contando la presencia de las abejas por 1 minuto, tiempo en el cual una persona caminó alrededor de un árbol usando un contador manual (Free y Spencer, 1963; Mayer *et al.*, 1986; Ish-Am y Eisikowitch, 1991a; Ish-Am y Eisikowitch, 1995; Ish-Am y Lahav, 2011) (Figura 8-1).

Se seleccionaron cinco árboles en floración por cada tratamiento, en estos se registró el APA, se documentó para cada día de observación y para cada tratamiento, los registros se llevaron a cabo cada hora a partir de las 8 a 16 h, se realizaron cuatro registros (uno por semana) por tratamiento durante la fase de floración.

El APA se registró durante el segundo semestre del 2015, entre el 1 y 30 septiembre, la temperatura promedio para este periodo de tiempo fue de 20.3°C y humedad relativa en promedio de 68.7%.



Figura 8-1. Abejas melíferas visitando flores de aguacate. Elaboración propia.

1.15 Tasa y eficiencia de polinización (TP y EP)

Muestras de estigmas por árbol se recolectaron en la fase de floración femenina, fueron colectados con una pinza y colocados en un portaobjetos de microscopio cubierto con gel de fijación [2% (w/v) de carboximetil celulosa en una proporción 1:2:7 (v/v/v) mezcla de

etanol: glicerol: agua, con adición de azul de anilina, para crear una solución de color azul claro] el número de granos de polen por estigma se registró bajo un microscopio óptico (Ish-Am *et al.*, 1991a; Ish-Am *et al.*, 1991b; Ish-Am y Eisikowitch, 1995; Ish-Am y Lahav, 2011).

Se seleccionaron cinco árboles en floración por huerto. Se colectaron 600 muestras de estigmas, 200 por tratamiento, 40 estigmas por árbol, se realizaron 4 registros por tratamiento (1 por semana) durante la fase de floración femenina. Se cuantifico la tasa de polinización (porcentaje de estigmas polinizados sobre el total de estigmas recolectados) y la eficiencia de polinización (número promedio de granos de polen en el estigma) para cada tratamiento (Figura 9-1).

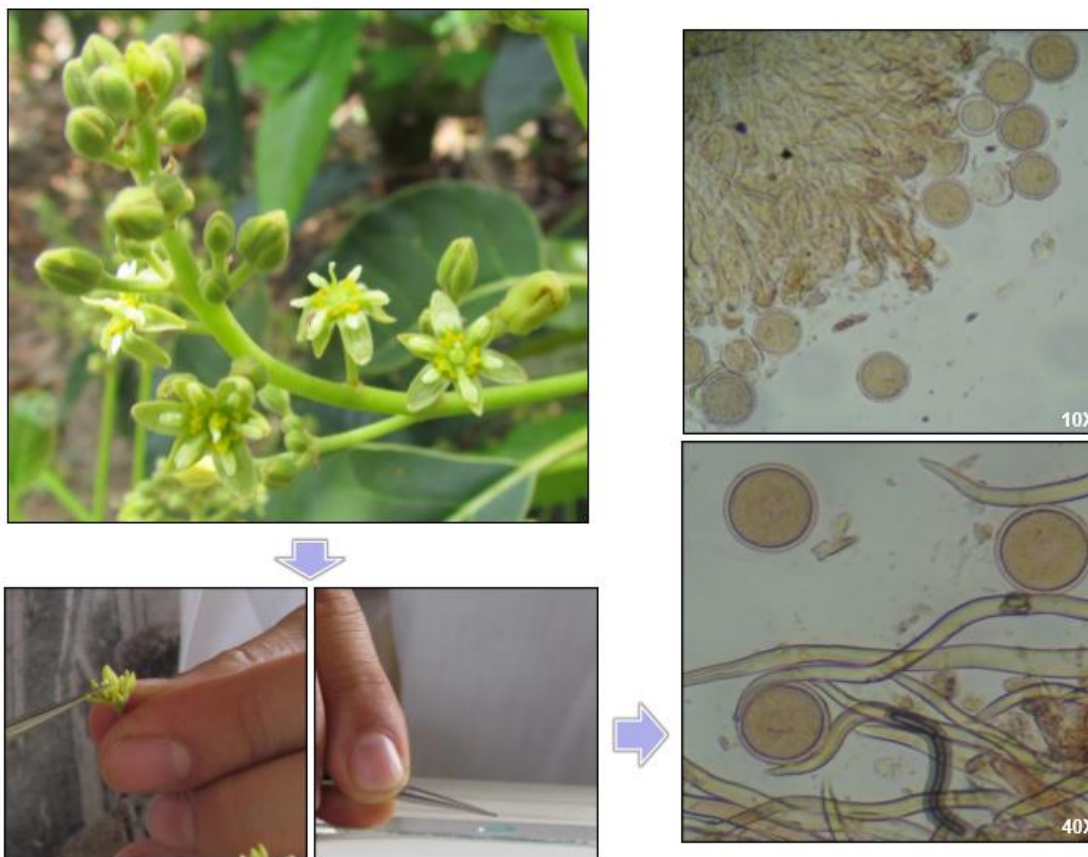


Figura 9-1. **Montaje de estigmas y granos de polen de aguacate.** Elaboración propia.

1.16 Diseño estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Los tratamientos con diferentes densidades de colmenas de abejas (cuatro, seis colmenas/ha y testigo sin colmenas) constituyeron la parcela principal; las distancias desde el apiario a los árboles seleccionados como unidad de muestreo (50, 100, 150, 200 y 250m) las sub-parcelas, por cada distancia de siembra se evaluó un árbol para la tasa y eficiencia de polinización, y el número de abejas por árbol.

Se realizó un análisis de varianza de dos factores (número de colmenas y distancia desde el apiario) para cada una de las siguientes variables: número de abejas por árbol, tasa y eficiencia de polinización. Para la comparación de medias para cada uno de los factores se utilizó la prueba de Duncan. Todos los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System Versión 9.4).

1.17 Resultados

1.18 Número de abejas por árbol (APA)

El APA presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en los tres tratamientos. Los huertos con seis y cuatro colmenas/ha presentaron un APA mayor, con medias de 7.72 y 6.04, en comparación al testigo con una media de 2.73 (Figura 10-1). Al introducir seis y cuatro colmenas/ha aumenta el APA en 4.93 y 3.26, en comparación a un huerto sin colmenas.

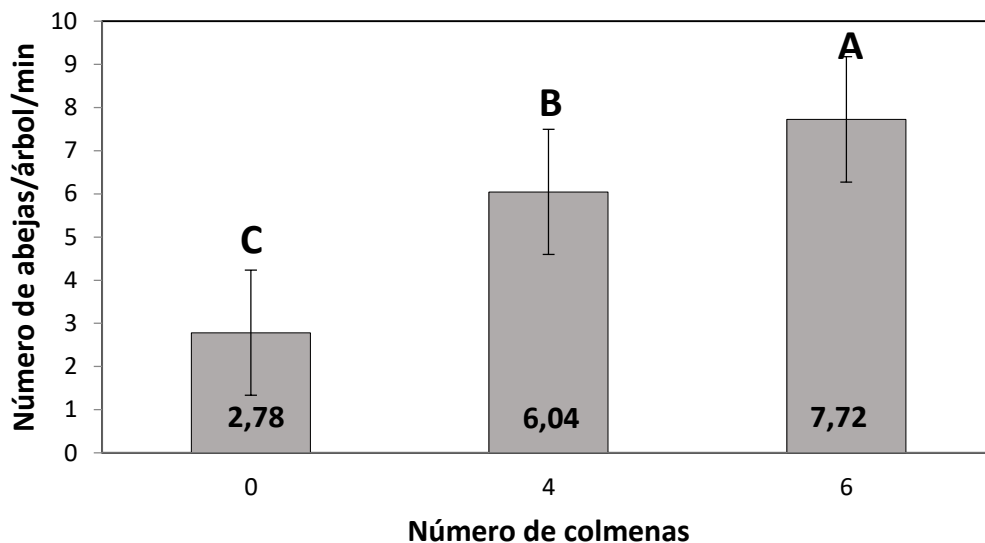


Figura 10-1. Comparación de medias entre el APA con el número de colmenas.

Popayán, 2016. Elaboración propia.

El APA presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en las cinco distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), presentándose un mayor APA en las distancias de 50, 100 y 150m, con medias de 6.48, 6.21 y 6.20, en comparación con las distancias de 200 y 250m, con medias de 4.62 y 4.05 (Figura 11-1).

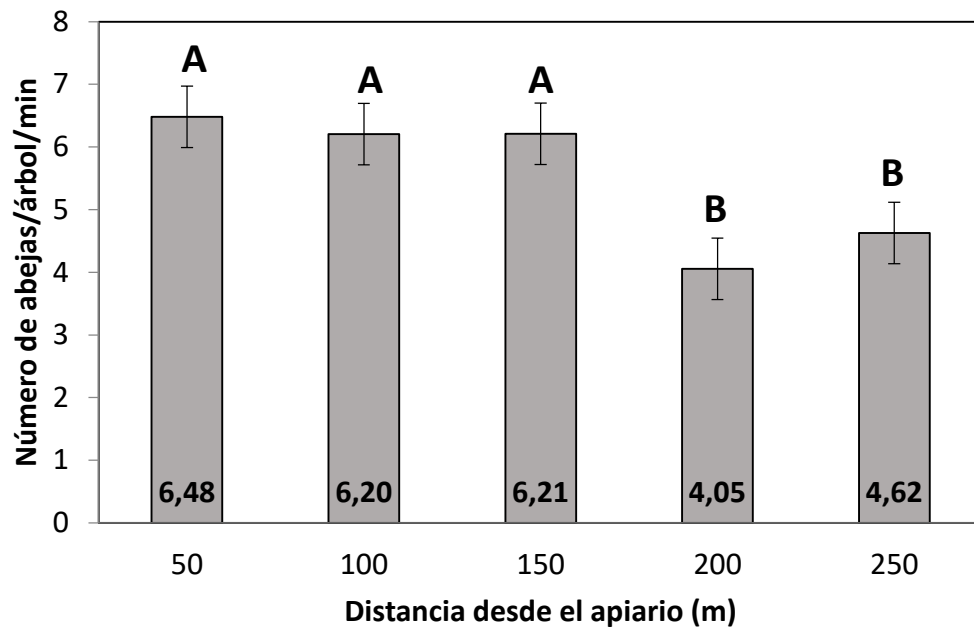


Figura 11-1. Comparación de medias entre el APA con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

El APA presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en las diferentes horas del día evaluadas, presentándose una mayor APA a las 14, 13, 12 y 11 h con medias de 7.46, 6.23, 5.76 y 5.83, en comparación con los registros de las 10, 9, 8, 15 y 16 h, con medias 5.35, 4.93, 4.60, 5.26 y 4.20. La actividad de *A. mellifera* es más alta en el intervalo comprendido entre las 11 y 14 h del día (Figura 12-1).

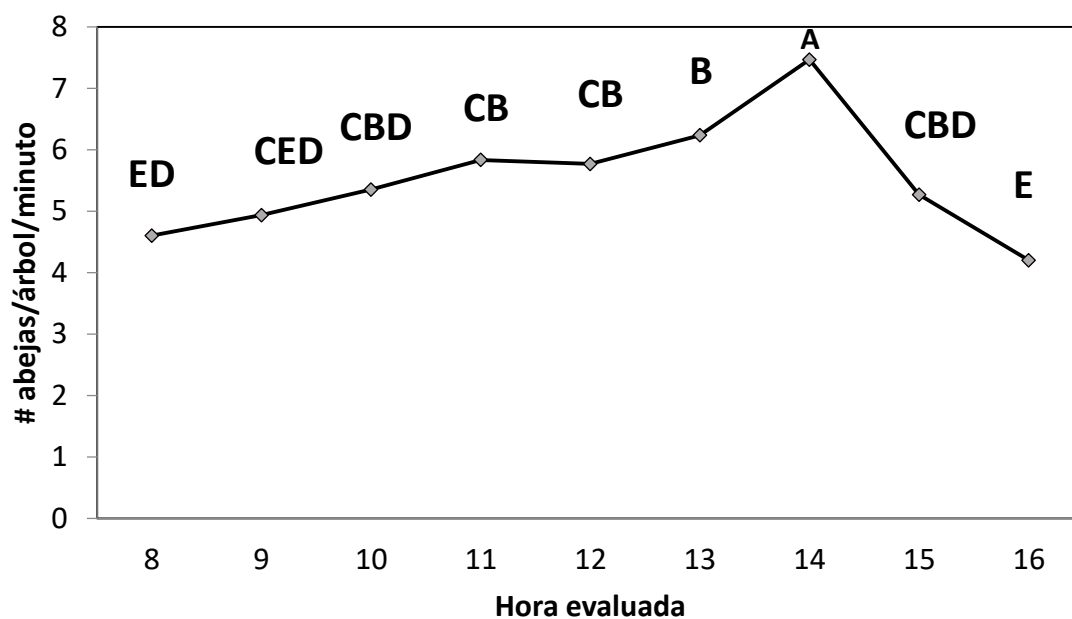


Figura 12-1. Comparación de medias entre el número de abejas/árbol/minuto en las diferentes horas evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

1.19 Tasa de polinización (TP)

La TP presentó diferencias significativas ($P=0.0041$) en los tres tratamientos, presentándose una mayor TP en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 66%, en comparación al tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con medias de 54 y 50% (Figura 13-1). Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la TP en 12 y 4%, en comparación a un huerto sin colmenas.

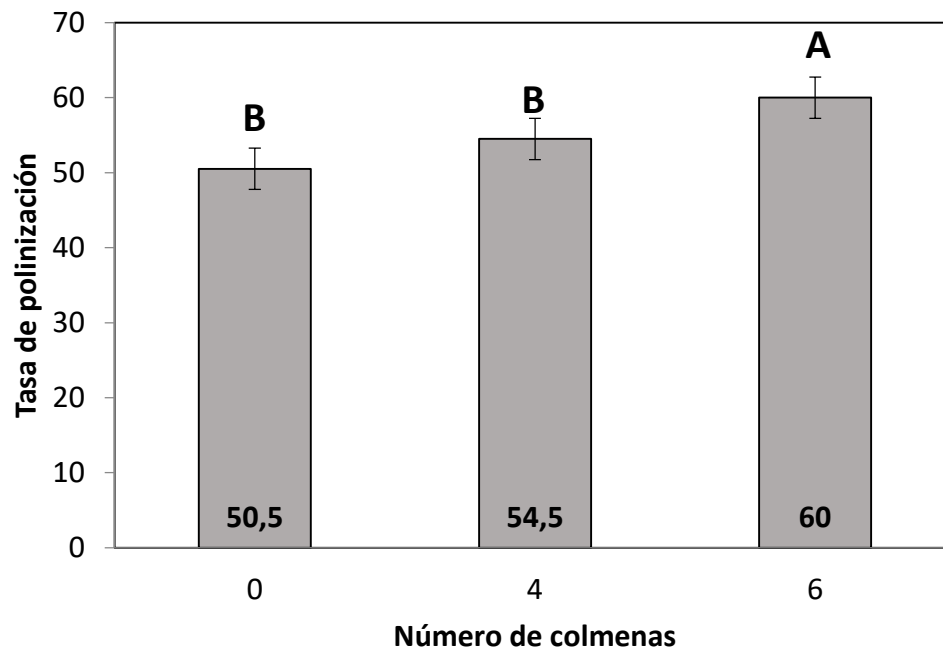


Figura 13-1. Comparación de medias entre la TP con el número de colmenas.

Popayán, 2016. Elaboración propia.

La TP no presentó diferencias significativas ($P < 0.9509$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias están en los rangos de 52.5 a 58.3% (Figura 14-1).

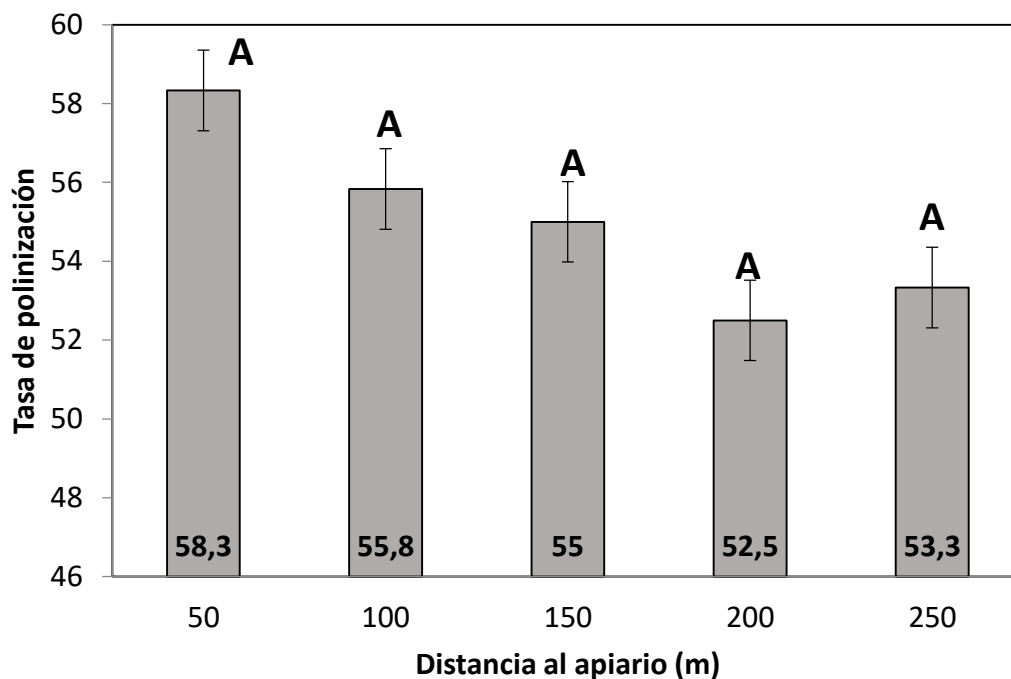


Figura 14-1. Comparación de medias entre la tasa de polinización con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

1.20 Eficiencia de polinización (EP)

La EP presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en los tres tratamientos, presentándose una mayor EP en los tratamientos de seis y cuatro colmenas/ha con medias de 7.55 y 7.36 granos de polen por estigma, en comparación al testigo con una media de 5.87 granos de polen por estigma (Figura 15-1). Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la EP en 2.29 y 1.32 granos de polen en el estigma, en comparación a un huerto sin colmenas.

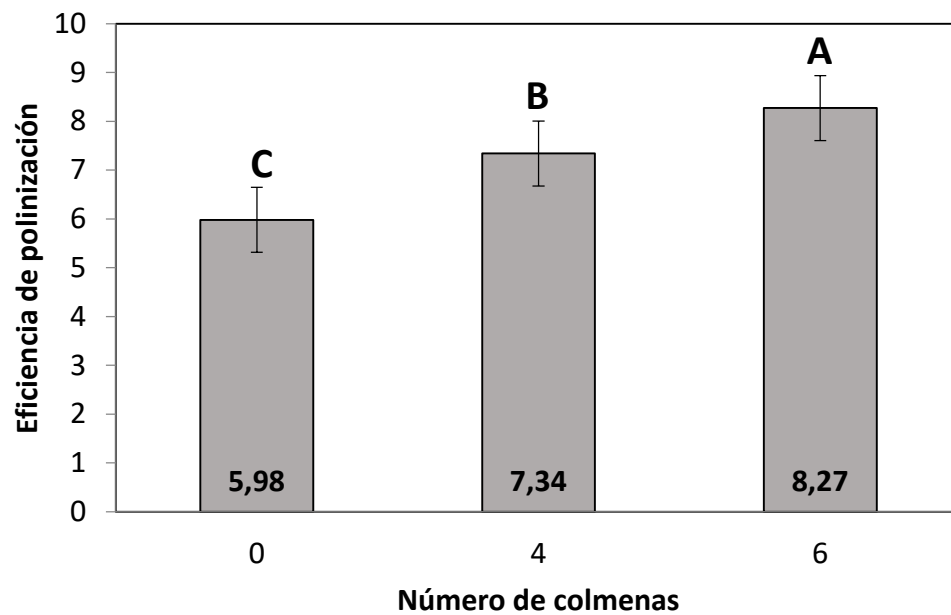


Figura 15-1. **Comparación de medias entre EP con el número de colmenas.**
Popayán, 2016. Elaboración propia.

La EP presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), presentándose una mayor EP en las distancias de 50 y 100m, con medias de 9.32 y 8.04 granos de polen en el estigma, en comparación con las distancias de 150, 200 y 250m, con medias de 6.81, 5.95 y 5.84 (Figura 16-1).

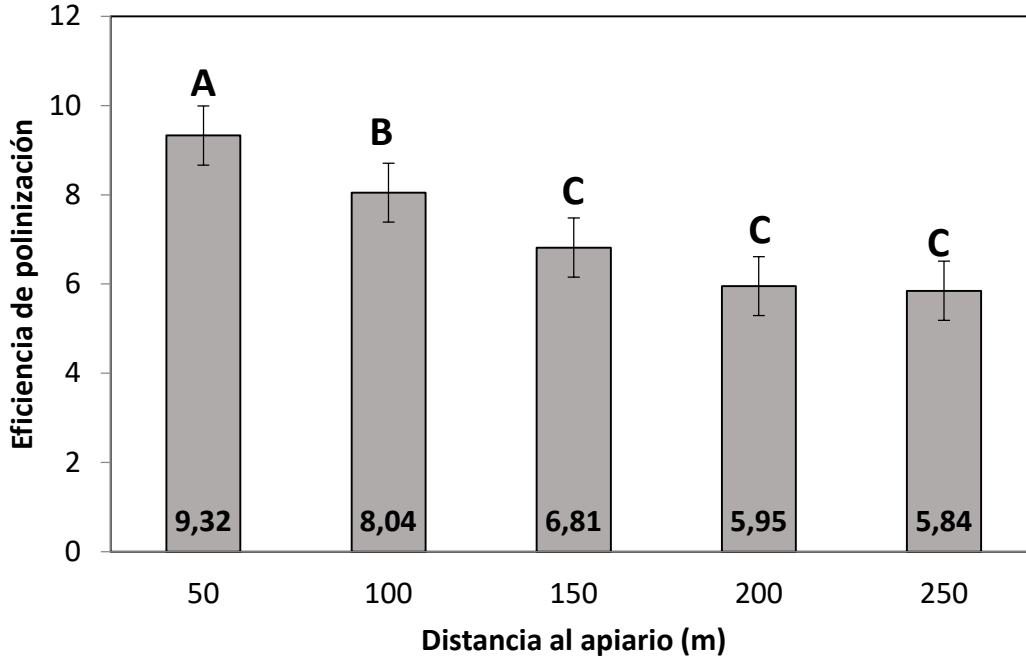


Figura 16-1. Comparación de medias entre la EP con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

1.21 Discusión

Los frutos del aguacate son producto de la polinización y de la fertilización, a causa de que no se ha reseñado efecto partenocárpico, el requisito de polinizadores es uno de los principales factores limitantes en su producción (Ish-Am, 2004). Es originario del neotrópico donde se encuentra de forma natural y es polinado por una amplia variedad de insectos, principalmente *A. mellifera*, abejas meliponas y avispas (Can-Alonso *et al.*, 2005).

Ish-Am (2004) reporta que son necesarias entre cinco y diez APA para lograr una polinización razonable. Sin embargo, la demanda óptima es de al menos 10 a 20 APA, en esta investigación con la introducción de cuatro y seis colmenas/ha, se registraron seis y ocho APA en promedio, basándose en este supuesto el APA en los huertos donde se introdujeron colmenas se estaría presentando una polinización razonable. No obstante,

los datos reportados por Ish-Am hacen referencia a huertos ubicados en Israel donde no existen polinizadores originales nativos del aguacate y son pocas las especies polinizadoras, siendo considerada a *A. mellifera* como el principal polinizador. En Colombia Carabali *et al.* (2017) encontraron un gran número de familias de insectos polinizadores, en su mayoría pertenecientes a los órdenes Diptera, Hymenoptera, Coleoptera y Hemiptera. Con esta amplia diversidad de polinizadores en Colombia, es posible que el número de abejas requeridas sea menor que en Israel, ya que estas especies están aportando a la polinización. Esta información se corrobora con las altas tasas de polinización que se presentaron en los tres tratamientos, mayores al 50%. Adicionalmente resultados similares fueron encontrados por De la Cuadra (1998) quien determino un APA de 4.6 y 3.2 en dos localidades de Chile y Yarita (2014) quien determino de APA 5 para cv. Zutano en Perú.

El número de APA fue mayor en el rango de distancia de 0 a 150 m, este resultado señala que la distancia que existe de las colmenas a los árboles influye en el número de abejas que visitan las flores de los árboles. Esto coincide con lo encontrado por Ish-Am (2004) quien determino que la movilidad de las abejas durante el forrajeo es limitada, la mayor parte de las abejas obreras actúan dentro de un área de uno a tres árboles y pueden realizar la polinización cruzada sólo entre árboles de cultivares con floración opuesta, a una distancia de hasta dos hileras de árboles. En las distancias comprendidas entre los 200 y 250 m el APA fue menor, estas abejas pueden ser exploradoras que tienen un rango de vuelo más amplio cuyo objetivo es el de recoger información de las fuentes de alimento disponibles, transportando el polen del aguacate a distancias considerables teniendo como referencia la colmena. Con base en estos resultados se recomienda la instalación de las colmenas en el huerto distanciadas cada una a 150 m. Concuera con el encontrado por Bergh (1977), que recomienda colocar las colmenas de abejas en grupos distantes a no más de 160 m.

La actividad de las abejas fue más alta en el periodo comprendido entre las 11 y 14 h, periodo en el cual el traslape de las fases masculina y femenina tiene una mayor probabilidad de ocurrir, donde *A. mellifera* traslada el polen de una fase masculina a la femenina. Estos resultados coinciden con los encontrados por Cautin (1996) que determina que el periodo de mayor actividad de abejas melíferas en huertos de aguacate es de las 11 a las 14 h, similares resultados fueron encontrados por Castañeda *et al.* (1999) en México quien determino que la máxima actividad de las abejas estuvo entre las

11 a las 14 h. Valdés (2002) en Chile determina que la mayor actividad de las abejas es entre las 13 a las 16 h. Este mismo comportamiento se ha descrito en cultivos de pera y almendro donde se determinó que el mayor número de abejas visitando las flores fue en el periodo comprendido entre 12 y 15 h (Martínez 2003).

Aunque el ovario de flor de aguacate tiene solo un óvulo, se demostró en el cv. Hass, que cuando un solo grano de polen alcanza el estigma la probabilidad de fertilización es muy baja. En realidad, para que exista una alta probabilidad de polinización son necesarios 20 o más granos de polen. Por lo tanto, entre mayor sea el número de granos de polen existe una mayor probabilidad de fertilización, debido a que existe un efecto cooperativo entre los granos de polen para llegar al ovario (Ish-Am, 2005; Arpaia y Hofshi, 2004).

En esta investigación, el número de granos de polen en el estigma mostró un aumento en los huertos donde se introdujeron cuatro y seis colmenas/ha, con siete y ocho granos de polen en el estigma en promedio, respectivamente. Sin embargo, algunos estigmas recolectados contenían más de 20 granos de polen por estigma que son los necesarios para asegurar una fertilización óptima.

Existe información sobre la importancia de la polinización como factor que puede afectar los rendimientos del aguacate. Por ejemplo, cuando el porcentaje de flores polinizadas es inferior al 10-20%, los rendimientos son bajos (Malerbo *et al.*, 2000; Wysoki *et al.*, 2002), en este estudio la tasa de polinización presentó un aumento en los huertos donde se introdujeron cuatro y seis colmenas/ha, superiores al 55 %.

Los resultados obtenidos en los huertos permiten afirmar que al introducir un número diferencial de colmenas (seis y cuatro) comparadas con un huerto sin colmenas, el APA aumenta en 4.9 y 3.26, la TP en 16.5 y 5.5%, y la EP en 1.36 y 24.4 granos de polen por estigma, respectivamente.

2.Relación de la densidad de abejas (*Apis mellifera* L.) con el cuajado de frutos en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass.

2.1 Taxonomía abeja melífera (*A. mellifera*)

Las especies de *Apis* se clasifican en dos grupos, basándose en su anidación. El primer grupo se basa solo en especies que realizan nidos al aire libre: *A. andreniformis*, *A. florea*, *A. dorsata*, *A. breviligula*, *A. binghami* y *A. laboriosa*. Estas abejas se limitan a zonas asiáticas tropicales y subtropicales. El segundo grupo está formado por las especies que anidan en el interior de las cavidades donde construyen sus nidos: *A. cerana*, *A. koschevnikovi*, *A. nigrocincta*, *A. nuluensis* y *A. mellifera*, (Padilla *et al.*, 1992; Engel, 1999; Michener, 2000; Arias y Sheppard, 2005; Hepburn y Radloff, 2011), en los últimos años, en base a la morfometría, 26 especies de *A. mellifera*, se han identificado y agrupado en cuatro linajes evolutivos (Engel, 1999; Miguel *et al.*, 2011), distribuidas en Europa, África y Asia (Brizuela, 2003).

Alrededor del 70% de subespecies de *A. mellifera* están en África tropical y subtropical, distribuyéndose en una diversidad de ecosistemas (bosque, montañas, sabanas, pantanos y matorrales), lo cual refleja su amplia diversidad (Ruttner, 1975), es la especie

más reconocida a nivel mundial, fueron introducidas a América en el siglo XVI (FAO, 2014).

Las abejas han sido seleccionadas por los apicultores por su comportamiento de almacenamiento de miel, su docilidad, la poca tendencia a la enjambrazón y por su papel fundamental en la polinización de plantas silvestres y de cultivos agrícolas (O'Malley *et al.*, 2013). Forman colonias muy densas de aproximadamente 50000 individuos, recolectan altas cantidades de néctar y polen principalmente, y se diferencian por sus castas presentando abejas reinas, obreras y zánganos, poseen un alto grado de organización (APOLO, 2010).

Las responsabilidades de cada individuo en las colmenas están dadas según la casta a que pertenezca, contribuyendo a su funcionamiento. Según lo anterior las abejas obreras tienen la función de limpieza, alimentación de la reina y de las larvas, construcción de celdas, almacenamiento de miel, regulación de la temperatura, defensa del nido y colecta de recursos alimenticios. Los zánganos cuando son sexualmente maduros fecundan a la reina. La reina que ha sido fecundada tiene la función de la puesta de huevos de los cuales emergen zánganos obreras, esto depende de si los huevos son si fecundados o no (Calle y Portes, 2015).

Las abejas son uno de los principales grupos de polinizadores de las regiones tropicales. Aportan a la naturaleza a través de la polinización, aumentando la producción de frutos, en algunos ecosistemas la abeja es responsable del 90% de la polinización y esto es crucial para el mantenimiento de estos ecosistemas (Storer, 1998). La mayor eficiencia de las abejas como polinizadores se da por su alto número en la naturaleza, como por su mejor adaptación al complejo de estructuras florales, tales como, órganos y piezas bucales adaptadas a recolectar el néctar de las flores y recolectar el polen (Storer, 1998).

2.2 Morfología

La cabeza de la abeja es triangular y cóncava, en esta parte se encuentran dos antenas, tres ojos simples, dos ojos compuestos, dos mandíbulas, un labro, un clípeo y la

probosis. En la parte interior se encuentran la bomba de succión, cibarium, glándulas de alimento, glándulas de la hipofaringe, glándulas salivares, cerebro y tentorium (Pensante, 2003).

Las antenas perciben y analizan sustancias altamente volátiles que son responsables del olor, sabor, las vibraciones y el movimiento del aire, temperatura y humedad. Los ojos simples registran la intensidad de la longitud de onda y la duración de la luz. Los ojos compuestos los utilizan para la visión a distancia fuera de la colmena, así como la orientación del vuelo en relación con el sol. Los ojos no perciben las formas claramente, son receptivos a la luz ultravioleta, pero menos receptivo a los rojos, reconocen azul, amarillo, blanco y negro (Stone, 2005). El cípeo y el labrum protegen las partes bucales más delicadas. La probosis tiene una función de ingerir y regurgitar, néctar, agua o miel. La bomba de succión es un saco muscular, mediante el cual se succiona el néctar, agua o miel. Las glándulas secretoras de alimento producen la jalea real. Las glándulas salivares descargan la saliva al ducto salivar (Pensante, 2003).

En el tórax están localizadas las alas, patas y las conexiones externas del sistema respiratorio. Las patas se encargan de la locomoción, llevan a cabo funciones como recolectoras de alimento (propóleo y polen) y limpieza de las antenas (Pensante, 2003). El primer par de patas tiene una muesca en su primer segmento terminal para la limpieza de las antenas. El par medio tiene espinas en uno de los lados, especialmente para la eliminación de las masas de polen en la colmena. El tercer par de patas posee simetría bilateral, la corbícula en el que se acumula la masa de polen durante el transporte a la colmena. La parte inferior de este par de patas también posee una fila de pelos rígidos llamados el peine de polen (Stone, 2005).

El abdomen contiene las vísceras, en éste se encuentra ubicado el aparato digestivo, sistema reproductivo y glándulas accesorias. Las glándulas ceríparas son las encargadas de la producción de cera. Las glándulas aromáticas producen secreciones que tienen la función de alterar el comportamiento de la abeja. El aguijón es un ovipositor modificado, por lo que sólo se encuentra en las hembras (Stone, 2005).

2.3 Ciclo de vida y características

A. mellifera pasa por cuatro etapas de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto.

Abeja reina

Es el único miembro de colmena fértil, eclosiona del huevo al transcurrir 16 días, es alimentada durante seis días con jalea real, este alimento determina los cambios morfológicos y anatómicos que la hacen distinguir de los otros miembros de la colmena, luego se opércula la celda donde ocurre la metamorfosis. La celda donde cumple la fase larval es de tamaño más grande con respecto a la de los otros miembros de la colmena, se denomina realera, están dispuestas en la periferia de los panales (Quero, 2004).

Su ciclo de vida puede tardar hasta cinco años, desde el nacimiento hasta en celo transcurren de cinco a 10 días, en los cuales, la reina y las obreras eliminan las realeras existentes. Después del décimo día la reina virgen sale al vuelo nupcial y obtiene espermatozoides de una docena o más zánganos, para guardar en su espmateca, a los cinco días del apareamiento comienza la puesta (Carón, 1999).

Es la abeja más importante en la colonia, su función es la poner huevos y propagar la especie, puede ovipositar más de 1000 huevos en un día (Goodwin, 2012; Carón, 1999). Es el único miembro que produce huevos diploides de los cuales se originan las obreras y huevos haploides de donde se originan los zánganos. Mientras que las abejas obreras son pueden producir huevos haploides debido a que no han sido fecundadas, y solo pueden producir huevos diploides cuando la reina ha muerto (Vaquero y Vargas, 2010).

Por medio de la segregación de feromonas por las glándulas mandibulares mantiene unida a la colmena, esta feromona es recogida y distribuida por las abejas obreras, la cual permite saber que la reina está presente, evita la construcción de celdas reales y no permite que las obreras se vuelvan ponedoras (Quero, 2004).

En cuanto a su morfología, la reina tiene un cuerpo más largo, alas más cortas que las obreras y el abdomen es más puntiagudo. Poseen una lengua corta por lo cual deben ser alimentadas durante toda su vida con jalea real (Gould y Gould, 1988).

Abeja zángano

Es el único macho de la colmena, su única función biológica es la de copular y fecundar a la reina. El tiempo que lleva su metamorfosis es de 24 días a partir de la postura de un huevo del huevo (Goodwin, 2012; Vásquez y Vargas, 2010).

Puede existir aproximadamente de 200 a 500 zánganos en una colmena, en tiempos de escasez de recursos alimenticios las obreras expulsan a los zánganos, las colmenas sin reina o con reinas vírgenes continúan tolerándolos, incluso alimentándolos, desde que la copulación sea todavía posible (Kangave *et al.*, 2012; Quero, 2004). No poseen aguijón, tienen ojos muy grandes que utilizan para detectar la reina durante apareamiento y son dependientes de las obreras para la consecución de recursos alimenticios.

Abeja obrera

Difieren en tamaño comparadas con la reina y los zánganos, son más pequeñas, el aparato reproductor esta atrofiado, solo en situaciones ponen huevos haploides, no obstante, estos zánganos son de menor tamaño comparados con los que coloca la reina (Quero, 2004; Garau, 1990).

Luego de la postura del huevo y trascurridos tres días eclosionan y surge la larva que es alimentada con jalea real durante tres días, luego son alimentadas con néctar y polen hasta que se sella la celda, para que realice la metamorfosis. Transcurridos 21 días las glándulas que producen la cera se les atrofian y se convierten en abejas pecoreadoras, las cuales se encargan de recolectar néctar, polen, agua y propóleos (Quero, 2004).

Tienen a cargo diferentes trabajos dentro de la colmena, limpieza, alimentación de larvas, maduración de néctar, defensa, recolección de fuentes alimenticias y labores de construcción (Ros, 2009). El aparato bucal de las obreras posee una lengua larga con el cual pueden coleccionar néctar para llevarlo a la colmena.

En las patas posteriores presentan unas canastillas denominadas corbículas en la cual transportan el polen y el propóleo que han recolectado para posteriormente ser guardado en la colmena, presentan estructuras en forma de cepillos en los cuales son almacenados los granos de polen para posteriormente ser ubicados en las corbículas. Una característica importante de las obreras es que presenta glándulas que se encargan de producir cera, con la cual construyen y arreglan los panales (Quero, 2004).

2.4 Recolección de recursos

La recolección de recursos es una de las tareas que las abejas obreras realizan de manera coordinada y eficiente (Ramírez, 2014). La estrategia de pecoreo de una colonia

de abejas comienza con una primera inspección de las zonas fuente de alimento dentro de un área cercana a su nido (Montero y Tormo, 1993). El radio de acción de esta área varía según los autores, de 400 m según Percival (1947), de 1.7 km según Visscher y Seeley (1982) y de 2.5 km según Goulo y Goulo (1988). Lo cierto es que el rendimiento de la colmena aumenta a medida que aumenta la cercanía a la fuente de alimento (Pechhacker, 1977).

El néctar es acuoso con un contenido de azúcares de un cinco al 80%, los azúcares más frecuentes encontrados la sacarosa, glucosa y fructosa, sus concentraciones determinan la calidad del néctar. Esta relación determina la preferencia de las abejas por este recurso en algunas plantas. Cuando las concentraciones de sacarosa son más altas las abejas prefieren esta fuente. Puede ser usado para la alimentación de crías y la producción de miel (Pankiw, 2004).

El polen es la principal fuente de minerales, vitaminas y aminoácidos, importante para el desarrollo de las glándulas cereras y hipofaríngeas, de los ovarios y los cuerpos adiposos. Posee propiedades que favorecen la secreción de la jalea real (Ibrahim, 1974).

Estos recursos son almacenados en el interior de la colmena para luego ser consumidos, el polen se reserva fundamentalmente para alimentar a las crías. Las abejas jóvenes (las nodrizas) se alimentan del polen almacenado en las celdas. El mismo le brinda las proteínas necesarias para producir secreciones glandulares proteicas que utilizarán luego para alimentar a las larvas (Crailsheim *et al.*, 1992). Por otro lado, la presencia de larvas dentro del nido influye en la actividad recolectora afectando la proporción de recolectoras de polen. Si la cantidad de larvas aumenta también se incrementa la recolección de este recurso (Free, 1967; 1979). Las colonias con gran cantidad de cría presentan una mayor proporción de abejas recolectoras de polen, las cuales regresan con cargas de polen más pesadas y realizan mayor cantidad de viajes de recolección por unidad de tiempo, a la vez que la edad del primer viaje de recolección es significativamente menor (Pankiw 2004, Pankiw *et al.*, 2008). Es sabido que la feromona de cría es la responsable en regular la recolección de polen (Free, 1967).

Por otro lado, el néctar es transportado por las abejas recolectoras dentro de su buche hasta la colmena, donde es transferido a otras obreras e incluso a la cría (Nixon y

Ribbands, 1952). Dentro de la colonia, se distribuye rápidamente y se inicia su procesamiento a miel.

Con respecto a la comunicación, *A. mellifera*, es la mejor estudiada de todas las especies de abejas (Suwannapong, 2011). Todas las especies de abejas poseen la habilidad de “danzar”. Las danzas son una serie de movimientos que el recolector realiza en los panales después de identificar una fuente de néctar interesante y tras haber recogido un poco de néctar para hacerlo degustar a sus compañeros. Cuando la distancia de la fuente es menor que 100 m de la colmena, el recolector realiza la danza “circular”, es decir, describe algunos movimientos circulares casi completos, variando a menudo la dirección (Barbattini, 2015).

2.5 Cuajado de frutos del aguacate cv. Hass y *A. mellifera* L.

El cuajado del fruto es una fase de transición entre el ovario de la flor y el fruto en desarrollo. Se define como el conjunto de cambios iniciales que experimenta una flor hasta convertirse en fruto, y estos cambios son: la marchitez y caída, en muchos casos, de los órganos de la flor implicados en la polinización; la expansión del ovario para acomodar las semillas en su interior; y además el cuajado incluye también la persistencia del pequeño fruto en desarrollo (Hueso, 2001).

En la mayoría de las especies frutales, un alto porcentaje de flores y de frutos recién cuajados caen, concentrándose estas caídas en determinadas épocas. Estas caídas de flores y frutos se producen de forma natural, es un proceso de autorregulación de la planta, propio de la especie, y los frutos que permanecen en el árbol se benefician del autoaclareo. El cuajado final de frutos es el porcentaje de flores que se convierten en frutos y es variable entre las distintas especies (Westwood, 1993).

El aguacate se caracteriza por tener un bajo cuajado de frutos, lo que significa que de la mayoría de las flores muy pocas forman fruto. Bekey (1986) en California reporta que un árbol de aguacate puede producir aproximadamente un millón de flores y de las cuales cuajan el 0.02%. Gazit y Degani (2002) en Israel reportan que un árbol puede producir 1,6 millones de flores y que el cuajado está entre 0.001 a 0.23%. Gardiazabal y Rosenberg (1991) en Chile encontraron un cuajado de 0.12 a 0.13%. Cossio *et al.*,

(2007) encontraron que el cuajado fue 0.015%. Lahav y Zamet (1999) reportan un cuajado de 0.015%. En California, el cuajado en brotes florales indeterminados fue de 0.05% (Salazar y Lovatt, 1998). En Nueva Zelanda, Evans *et al.*, (2010) reportan un cuajado de 0.03%. Se ha demostrado que las visitas de insectos aumentan significativamente el cuajado en la mayoría de los cultivares en todo el mundo (Vithanage, 1990; Ish-Am y Eisenkowitch, 1998).

Estudios en Israel han demostrado altas correlaciones entre la actividad de la abeja melífera, la polinización y el cuajado del fruto en aguacates (Ish-Am y Eisikowitz 1993). Una alta densidad de abejas melíferas es necesaria para garantizar que un número suficiente de granos de polen se transfieren sobre cada estigma. Flores de cv. Hass requieren 20-30 granos de polen por estigma para promover la fertilización. Ish-Am y Eisikowitz (1995) demostraron que cuando se observaron 20 abejas en un árbol, el 24% de estigmas presentaban más de 20 granos de polen por estigma.

2.6 Materiales y métodos

2.7 Localización y tratamientos

La investigación se realizó en el municipio de Popayán, departamento del Cauca (Colombia), se seleccionaron tres huertos de *P. americana* cv. Hass, ubicados geográficamente a los 02° 27' 44.0" Norte y 76° 34' 03.8" Oeste, 02° 27' 17.1" Norte y 76° 34' 05.5" Oeste y 02° 27' 32.4" Norte y 76° 34' 03.7" Oeste, con una altitud en promedio de 1735 msnm y las siguientes condiciones climáticas: temperatura promedio anual de 19 °C y precipitación promedio anual de 1941 mm (Figura 5-1).

Los tratamientos fueron: 1) cuatro colmenas/ha, 2) seis colmenas/ha y 3) testigo sin colmenas. Las colmenas de abejas de *A. mellifera*, utilizadas fueron de tipo Langstroth, ubicadas en el centro de cada huerto (Figura 6-1). Dentro de cada huerto se seleccionaron cinco sitios, cubriendo un rango de distancia a las colmenas: 50, 100, 150, 200 y 250 m. En cada sitio se muestrearon cuatro árboles, dando lugar a un total de 20 árboles por huerto.

2.8 Material vegetal

Se seleccionaron tres huertos de *P. americana* cv. Hass, con una extensión de una hectárea cada uno, sembrados a una distancia de 6 x 6 m entre árboles, altura promedio de árboles de 4 m y edad en promedio de seis años, localizados a distancias considerables (mínimo a 1 km) entre los tratamientos y a los cuales se les realizara un manejo agronómico homogéneo.

2.9 Características de las colmenas

Las colmenas utilizadas fueron de tipo Langstroth, con una cámara de cría de 10 marcos.

2.10 Especie de abeja utilizada

Las abejas utilizadas fueron un híbrido de *A. mellifera scutellata* x *A. mellifera caucasica*.

2.11 Porcentaje de frutos cuajados (PFC)

Para el registro del porcentaje de frutos cuajados se seleccionaron 20 árboles por tratamiento, en cada árbol se marcaron cinco inflorescencias en las cuales se registró el número de flores (floración) y el número de frutos cuajados (cuatro semanas después de finalizada la floración).

Para determinar el porcentaje de frutos cuajados se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{— PFC} = \frac{\text{Número de frutos cuajados}}{\text{Número de flores}} * 100$$

2.12 Porcentaje de frutos formados (PFF)

El número de frutos formados fue cuantificado a las 8, 12, 16, 20, 24, 30, 34 y 40 semanas después de finalizada la floración.

Para determinar el porcentaje de frutos formados se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{— PFF} = \frac{\text{Número de frutos formados}}{\text{Número de flores}} * 100$$

2.13 Peso y número total de frutos por árbol (PFTA y NFTA)

El peso total de frutos/árbol y número de frutos totales/árbol fueron registrados 40 semanas después de finalizada la floración, en la fase cosecha.

2.14 Diseño estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas. Los tratamientos con diferentes densidades de colmenas de abejas (cuatro, seis colmenas/ha y testigo sin colmenas) constituyeron la parcela principal; las distancias desde el apiario a los árboles seleccionados como unidad de muestreo (50, 100, 150, 200 y 250m) las sub-parcelas, por cada distancia de siembra se evaluaron cuatro árboles (repeticiones) para el porcentaje de frutos cuajados, porcentaje de frutos formados, número de frutos/árbol y peso de frutos/árbol.

Se realizó un análisis de varianza de dos factores (número de colmenas y distancia desde el apiario) para cada una de las siguientes variables: Porcentaje de frutos cuajados, porcentaje de frutos desarrollados, número de frutos totales/árbol, peso de frutos totales/árbol. Para la comparación de medias para cada uno de los factores se utilizó la prueba de Duncan. Posteriormente se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables evaluadas para entender las relaciones existentes entre los factores número de colmenas y distancia al apiario con las variables respuesta. Todos los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando el paquete estadístico SAS® (Statistical Analysis System Versión 9.4).

2.15 Resultados

2.16 Porcentaje de frutos cuajados iniciales (PFCi)

El número de frutos cuajados se registró 4 semanas después de finalizada la floración, el número de flores fue cuantificado al inicio de la floración, estos datos fueron registrados en 5 inflorescencias por árbol en 20 árboles. Se utilizó la siguiente formula:

$$\text{— PFC: Número de frutos cuajados/número de flores} * 100$$

El PFC presentó diferencias significativas ($P=0.0004$), en los tres tratamientos, con un mayor PFCi en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 6.11%, en comparación al tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con medias de 4.13 y 3.54% (Figura 1-2).

Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta el PFCi en 2.57 y 0.59%, en comparación a un huerto sin colmenas.

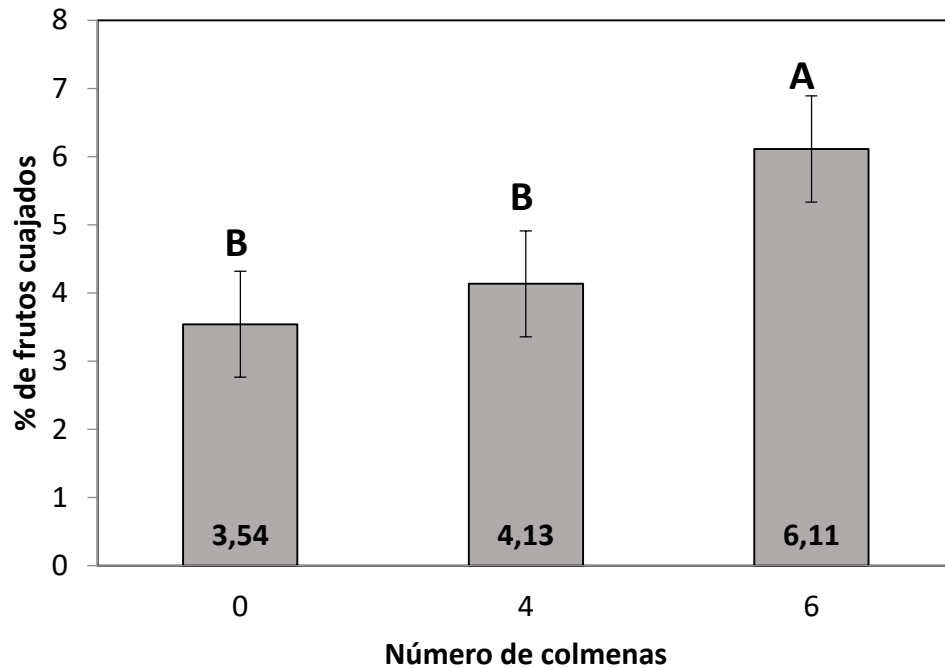


Figura 1-2. **Comparación de medias entre el PFCi con el número de colmenas.**
Popayán, 2016. Elaboración propia.

El PFCi presentó diferencias significativas ($P=0.0401$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), el mayor PFCi se presentó en las distancias de 50 y 100m, con 5.14 y 5.82% (Figura 2-2).

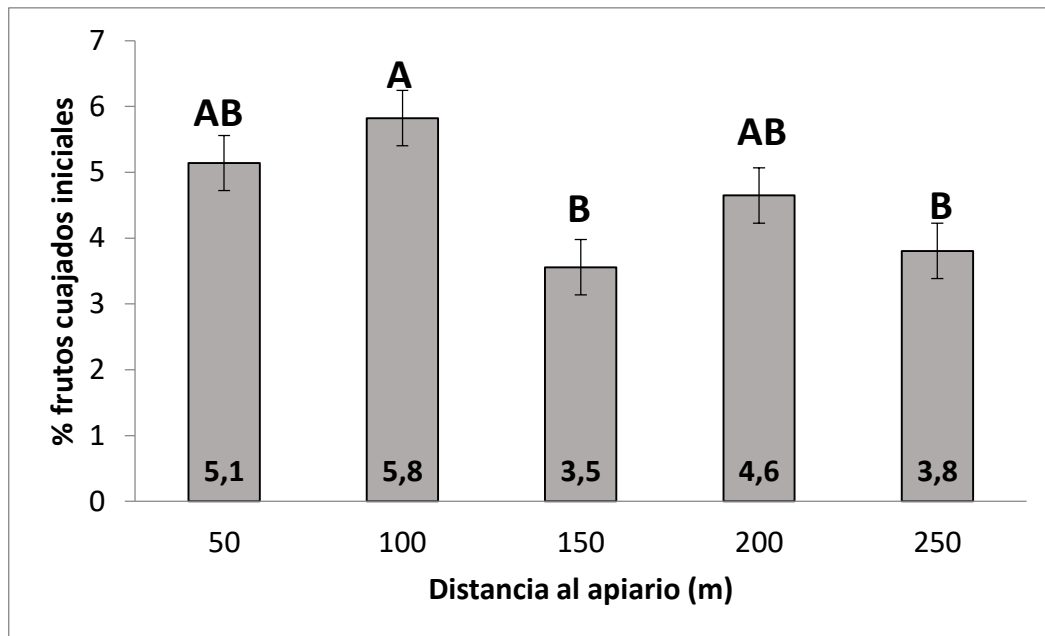


Figura 2-2. Comparación de medias entre el PFCi con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

2.17 Porcentaje de frutos formados (PFF)

El número de frutos formados se registraron a las 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 y 40 semanas después de finalizada la floración.

En las tablas 2-2 y 2-3 se resumen los resultados de comparación de medias entre el PFF en los tiempos de muestreo con el número de colmenas y comparación de medias entre el PFF en los tiempos de muestreo con las cinco distancias evaluadas.

Tabla 2-2. . Comparación de medias entre el PFF en los tiempos de muestreo con el número de colmenas. Popayán, 2016.

Variable	Número de colmenas/ha			Pr > F
	0	4	6	
PFF (8 semanas)	0.39 B	0.49 B	0.70 A	<.0001
PFF (12 semanas)	0.30 B	0.38 B	0.60 A	<0.0001
PFF (16 semanas)	0.19 B	0.25 B	0.40 A	0.0001
PFF (20 semanas)	0.19 B	0.25 B	0.40 A	0.0001
PFF (24 semanas)	0.04 B	0.07 B	0.14 A	<.0001
PFF (28 semanas)	0.02 B	0.05 B	0.08 A	0.0001
PFF (32 semanas)	0.02 B	0.04 B	0.06 A	0.0091
PFF (36 semanas)	0.02 B	0.04 B	0.05 A	0.0159
PFF (40 semanas)	0.02 B	0.04 B	0.05 A	0.0159

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3-2. Comparación de medias entre el PFF en los tiempos de muestreo con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016.

Variables	Distancia al apiario (metros)					Pr > F
	50m	100m	150m	200m	250m	
PFF (8 semanas)	0.59 A	0.58 A	0.53 A	0.49 A	0.47 A	0.3326
PFF (12 semanas)	0.40 A	0.51 A	0.39 A	0.46 A	0.38 A	0.3774
PFF (16 semanas)	0.29 A	0.33 A	0.23 A	0.28 A	0.25 A	0.3326
PFF (20 semanas)	0.29 A	0.33 A	0.23 A	0.28 A	0.25 A	0.4448
PFF (24 semanas)	0.12 A	0.09 AB	0.08 AB	0.06 B	0.07 AB	0.1675
PFF (28 semanas)	0.05 A	0.05 A	0.04 A	0.05 A	0.05 A	0.8989
PFF (32 semanas)	0.05 A	0.04 A	0.04 A	0.04 A	0.04 A	0.9566
PFF (36 semanas)	0.05 A	0.04 A	0.04 A	0.04 A	0.03 A	0.3335
PFF (40 semanas)	0.05 A	0.04 A	0.04 A	0.04 A	0.03 A	0.8300

Fuente: elaboración propia.

El PFF a las 8 semanas presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de 6 colmenas/ha con una media de 0.70%, en comparación con el tratamiento de 4 colmenas/ha y el testigo con medias de 0.49 y 0.39%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 8 semanas en 0.30 y 0.10%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 8 semanas después de finalizada la floración no presentó diferencias significativas ($P=0.3326$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 0.59 a 0.47% (Tabla 3-2).

El PFF a las 12 semanas presentó diferencias significativas ($P<0.0001$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.60%, en comparación al de 4 colmenas/ha y testigo con medias de 0.38 y 0.30%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 12 semanas en 0.30 y 0.38%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 12 semanas después de finalizada la floración no presentó diferencias significativas ($P<0.3774$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 0.38 a 0.51% (Tabla 3-2).

El PFF a las 16 semanas presentó diferencias significativas ($P=0.0001$) en los tres tratamientos, con una mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.40%, en comparación con el tratamiento de 4 colmenas/ha y el testigo con una media de 0.25 y 0.19%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 16 semanas en 0.21 y 0.06%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 16 semanas después de finalizada la floración no presentó diferencias significativas ($P=0.3326$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 0.23 a 0.33% (Tabla 3-2).

El PFF a las 20 semanas presentó diferencias significativas ($P=0.0001$), en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.40%, en comparación con el tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con una media de 0.25 y 0.19%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 20 semanas en 0.21 y 0.06%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 20 semanas después de finalizada la floración no presentó diferencias significativas ($P=0.4448$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 0.23 a 0.33% (Tabla 3-2).

El PFF a las 24 semanas presentó diferencias significativas ($P<0.0001$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.14%, en comparación con el tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con medias

de 0.07 y 0.04%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 24 semanas en 0.10 y 0.03%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 24 semanas después de finalizada la floración no presentó diferencias significativas ($P=0.1675$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias están en los rangos de 0.12 a 0.06% (Tabla 3-2).

El PFF a las 28 semanas presentó diferencias significativas ($P=0.0001$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.08%, en comparación con el tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con una media de 0.05 y 0.02%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 28 semanas en 0.05 y 0.02%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 28 semanas no presentó diferencias significativas ($P=0.8989$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m) las medias estuvieron en los rangos de 0.05 a 0.04% (Tabla 3-2).

El PFF a las 32 semanas presentó diferencias significativas ($P=0.0091$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.06%, en comparación con los tratamientos de cuatro colmenas/ha y el testigo con una media de 0.04 y 0.02%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 32 semanas en 0.03 y 0.02%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 32 semanas después de finalizada la floración no presentó diferencias significativas ($P=0.9566$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 0.05 a 0.04% (Tabla 3-2).

El PFF a las 36 semanas presentó diferencias significativas ($P=0.0159$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.05%, en comparación con el tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con una media de 0.04 y 0.02%. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 36 semanas en 0.03 y 0.02%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 36 semanas no presentó diferencias significativas ($P=0.3335$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 0.05 a 0.03% (Tabla 3-2).

El PFF a las 40 semanas presentó diferencias significativas ($P=0.0159$) en los tres tratamientos, con un mayor PFF en el tratamiento de seis colmenas/ha con una media de 0.05, en comparación con el tratamiento de cuatro colmenas/ha y el testigo con una media de 0.04 y 0.02. Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumenta la PFF a las 40 semanas en 0.03 y 0.02%, en comparación a un huerto sin colmenas (Tabla 2-2).

El PFF a las 40 semanas no presentó diferencias significativas ($P=0.8300$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m) las medias estuvieron en los rangos de 0.05 a 0.03% (Tabla 3-2).

En la figura 3-2 se resume el PFF en los tiempos de muestreo con un número diferencial de colmenas/ha.

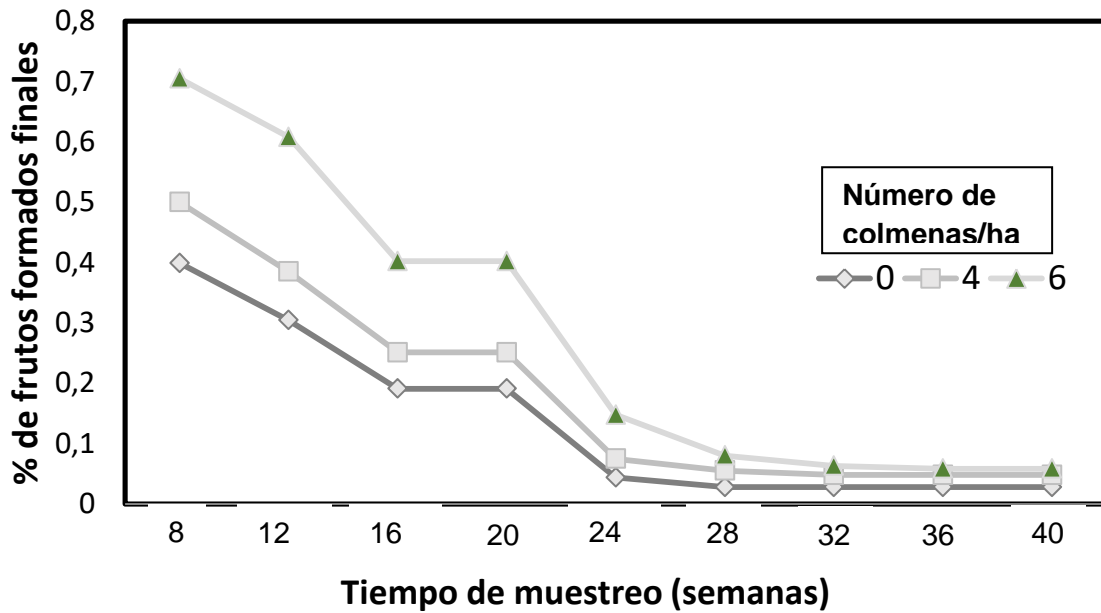


Figura 3-2. Comparación de medias entre el PFF en los diferentes tiempos de muestreo. Popayán, 2016. Elaboración propia.

2.18 Número de frutos totales por árbol (NFTA)

El NFTA por árbol se registró 40 semanas después de finalizada la floración. Se totalizó el número de frutos por árbol.

El NFTA presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en los tres tratamientos, con una mayor NFTA en los tratamientos de seis y cuatro colmenas/ha con medias de 231 y 212 frutos/árbol, en comparación al tratamiento testigo con una media de 137 (Figura 4-2). Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumentó el NFTA en 93.4 y 74.4, en comparación a un huerto sin colmenas.

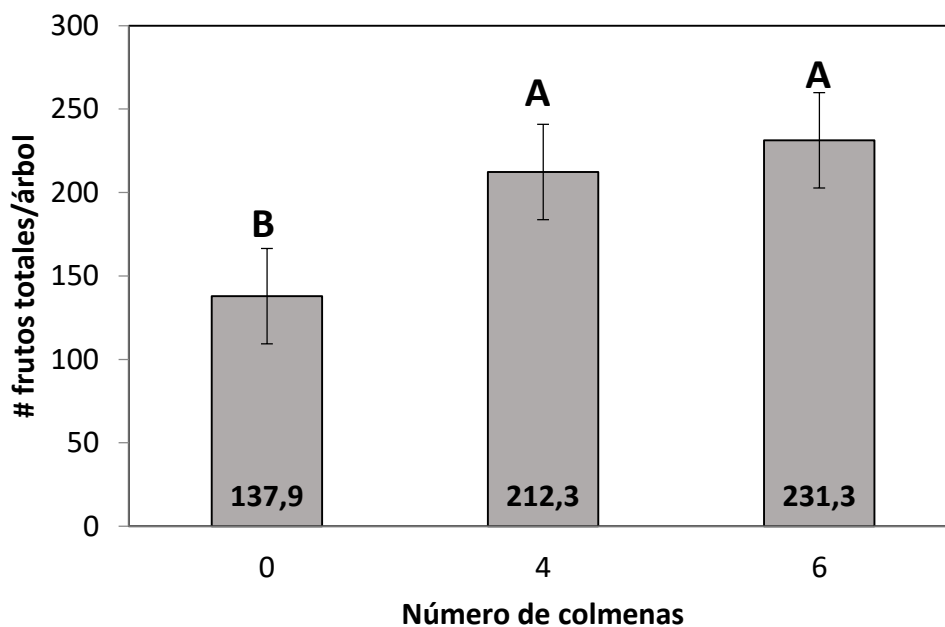


Figura 4-2. Comparación de medias entre el NFTA con el número de colmenas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

El NFTA no presentó diferencias significativas ($P=0.4471$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 182.5 a 210.7 (Figura 5-2).

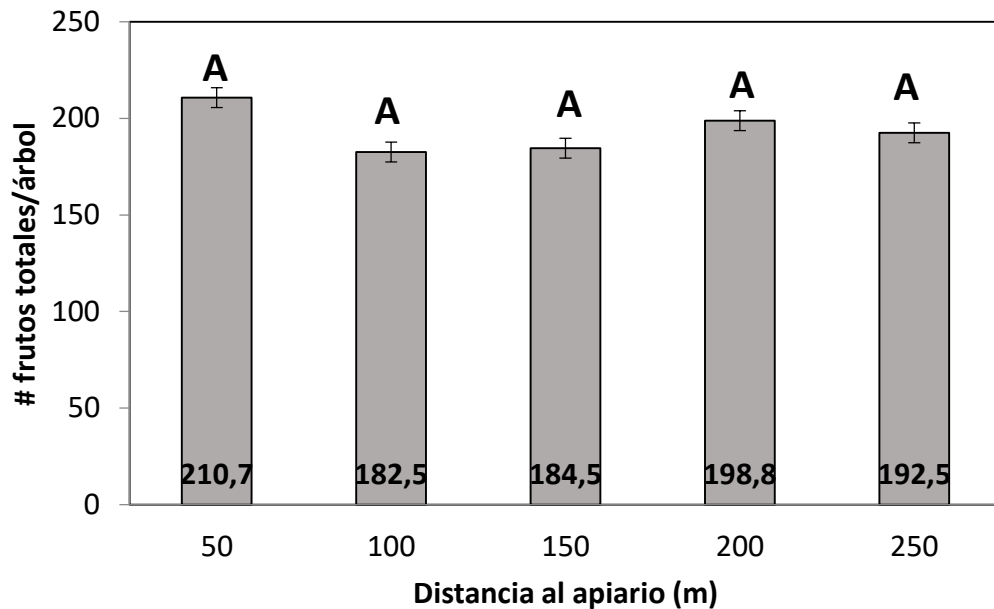


Figura 5-2. Comparación de medias entre el NFTA con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

2.19 Peso de frutos totales por árbol (PFTA)

El PFTA se registró 40 semanas después de finalizada la floración. Se sumaron el peso total de frutos por árbol en Kg.

El PFTA presentó diferencias significativas ($P < .0001$) en los tres tratamientos, con un mayor PFTA en los tratamientos de seis y cuatro colmenas/ha con una media de 46 y 38 Kg, en comparación al tratamiento testigo con una media de 20 Kg (Figura 6-2). Al introducir seis y cuatro colmenas/ha, aumentó el PFTA en 26.4 y 17.5 Kg, en comparación a un huerto sin colmenas.

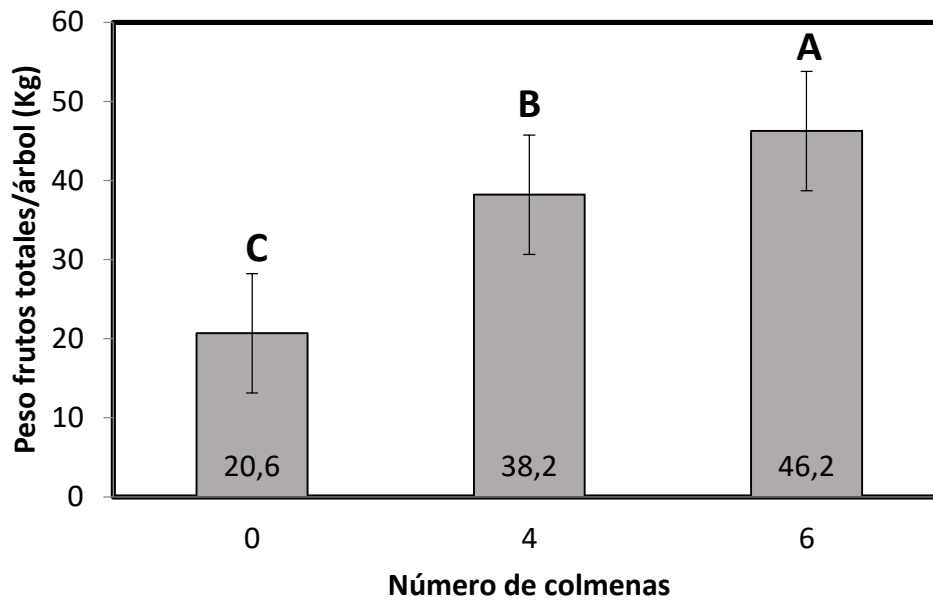


Figura 6-2. Comparación de medias entre el PFTA con el número de colmenas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

El PFTA no presenta diferencias significativas ($P=0.6365$) en las distancias evaluadas (50, 100, 150, 200 y 250m), las medias estuvieron en los rangos de 33.3 a 37.9 Kg (Figura 7-2).

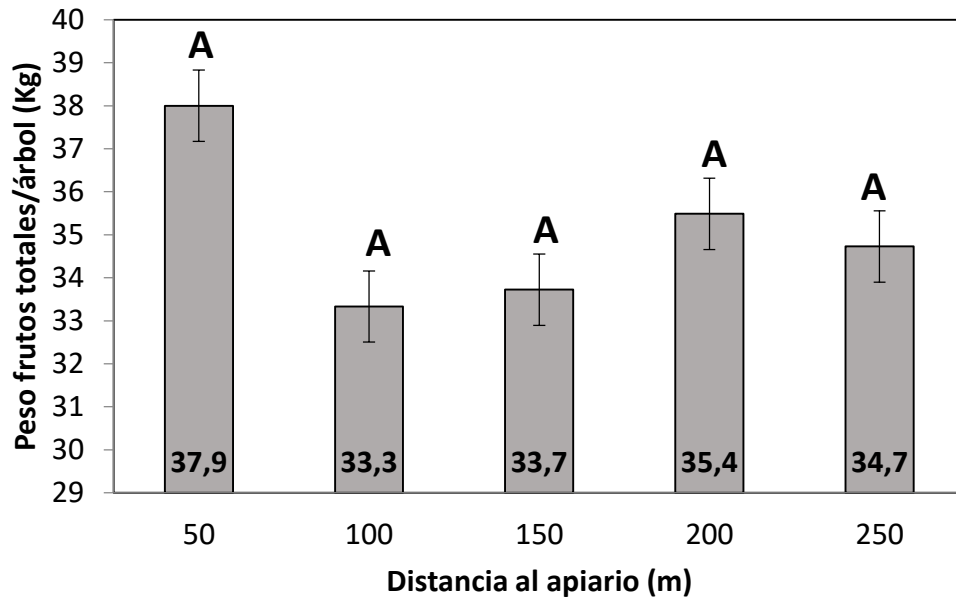


Figura 7-2. Comparación de medias entre el PFTA con las cinco distancias evaluadas. Popayán, 2016. Elaboración propia.

2.20 Correlación y regresión lineal entre APA y las variables evaluadas

Se realizó un análisis de correlación entre APA y las variables evaluadas (Tabla 4-2). La correlación entre APA y TP, EP, PFF, NFTA, PFTA fue significativa. APA presentó una correlación positiva media con EP y PTFA. APA presentó una correlación positiva baja con TP, PFF y NFTA. Para las variables que son significativas se procedió a realizar un análisis de regresión lineal.

Tabla 4-2. Correlación entre APA y las variables evaluadas.

Variable	TP	EP	PFCi	PFCf	NFTA	PTFA
APA	0.35336	0.50465	0.22887	0.27914	0.3926	0.501
R2	0.0056	<.0001	0.0786	0.0308	0.0019	<.0001

Fuente: elaboración propia.

Para las variables APA y EP se presentó una correlación positiva media (0.50465), al realizar la regresión lineal ($r^2=0.2547$, $P<0.0001$) por lo tanto solo el 25% del APA explica la EP, se obtuvo la ecuación $y= 0.3742x + 5.1508$ (Figura 8-2).

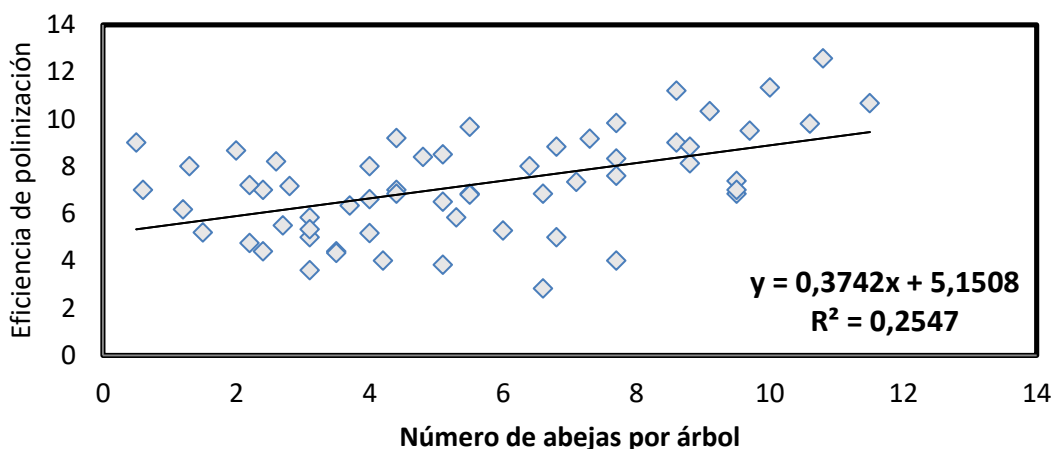


Figura 8-2. **Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y la eficiencia de polinización.** Elaboración propia.

Para las variables APA y PFTA presentó una correlación positiva media (0.501), al realizar la regresión lineal ($r^2=0.2547$, $P<0.0001$) por lo tanto solo el 25% del APA explica el PFTA, se obtuvo la ecuación $y= 0.3742x + 5.1508$ (Figura 9-2).

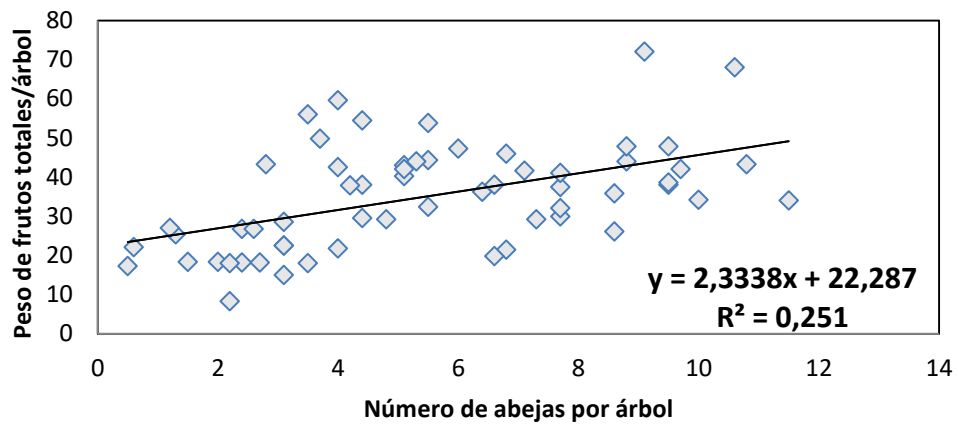


Figura 9-2. **Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y el peso de frutos totales por árbol.** Elaboración propia.

Para las variables APA y NFTA presentó una correlación positiva baja (0.3926), al realizar la regresión lineal ($r^2=0.1541$, $P=0.0019$) por lo tanto solo el 15% del APA explica el PFTA, se obtuvo la ecuación $y= 8.1105x + 149.47$ (Figura 10-2).

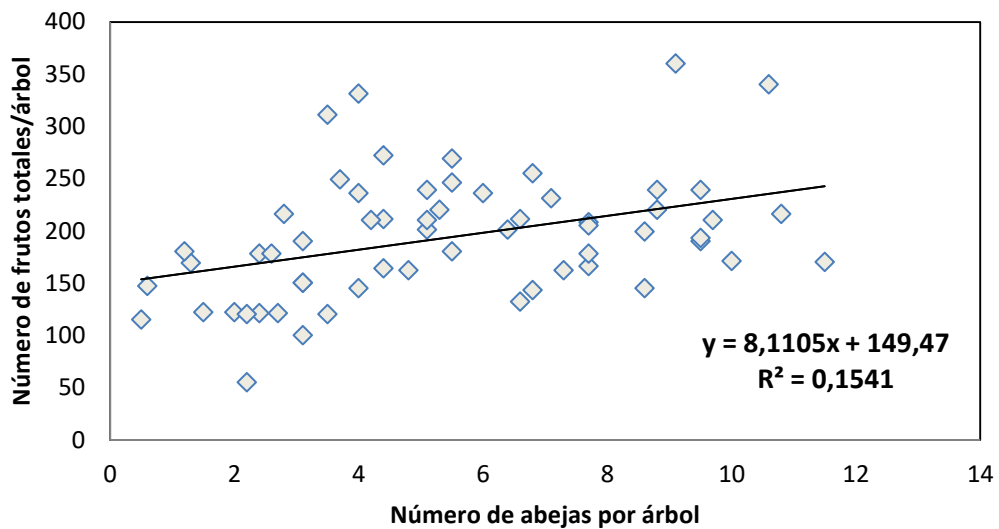


Figura 10-2. **Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y el número de frutos totales por árbol.** Elaboración propia.

Para las variables APA y la TP presentó una correlación positiva baja (0.35336), al realizar la regresión lineal ($r^2=0.1249$, $P=0.0056$) por lo tanto solo el 12.4% del APA explica el PFTA, se obtuvo la ecuación $y = 0.0114x + 0.4875$ (Figura 11-2).

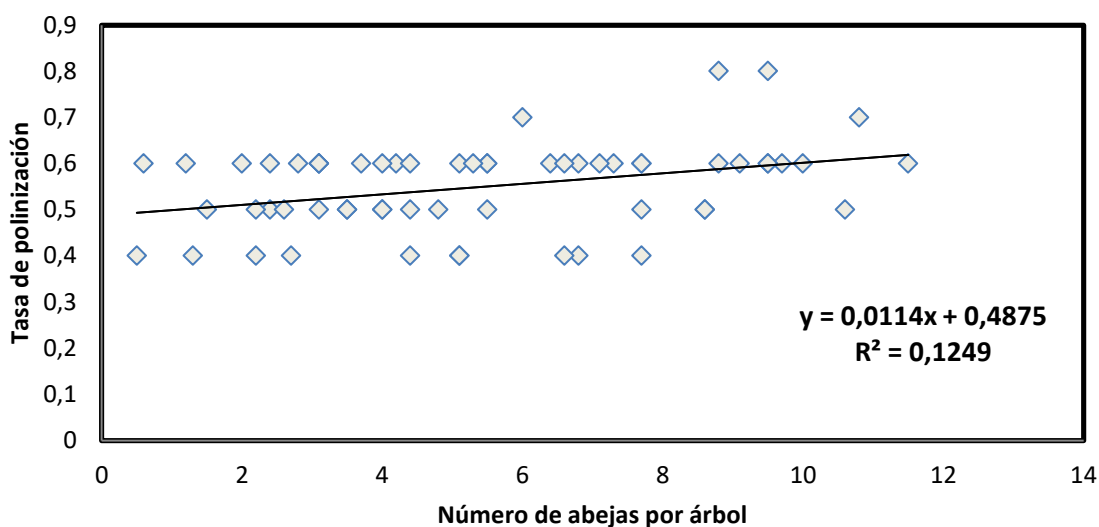


Figura 11-2. **Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y la tasa de polinización.** Elaboración propia.

Para las variables APA y la PCF presentó una correlación positiva baja (0.27914), al realizar la regresión lineal ($r^2=0.0779$, $P=0.0308$) por lo tanto solo el 7.7% del APA explica el PCF, se obtuvo la ecuación $y = 0.0033x + 0.0267$ (Figura 11-2).

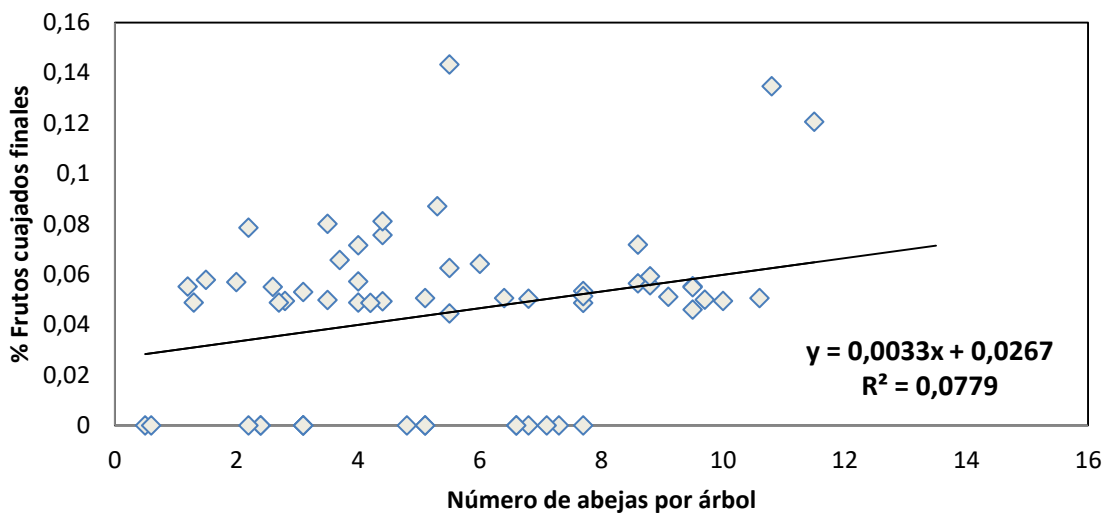


Figura 12-2. **Análisis de regresión lineal para el número de abejas por árbol y el porcentaje de frutos cuajados finales.** Elaboración propia.

2.21 Discusión

El rendimiento del aguacate depende de una iniciación floral exitosa, el desarrollo floral, la polinización y el cuajado de fruto. Los problemas con cualquiera de estos procesos tendrán un efecto sobre la producción de frutos (Sedgley y Grant, 1983). El aguacate posee un gran número de flores, se ha estimado en más de un millón de flores por árbol, de estas solo llegan a cuajar menos del 0.1%, se ha propuesto que una buena cosecha es de 250 frutos/árbol (Alcazar, 2002). Esta exuberante floración tiene un efecto en la atracción de polinizadores, debido a que se ha reportado que las flores individuales resultan poco atractivas para las abejas (Vithanage, 1990).

El aguacate se caracteriza por tener un bajo cuajado de frutos, lo que significa que de la mayoría de las flores muy pocas forman fruto. Los valores a nivel mundial varían del 0,2 al 0,001% (Bekey, 1986; Gardiazabal y Rosenberg, 1991; Salazar y Lovatt, 1998; Lahav y Zamet, 1999; Gazit y Degani; 2002; Cossio *et al.*, 2007; Evans *et al.*, 2010), en el cv. Hass se ha descrito que en años de alta producción el cuajado es de 0,14% mientras que en los de baja producción es de 0.07% (Garner y Lovatt, 2008), Cossio *et al.* 2004 en Chile en el cv. Hass encontraron un cuajado inicial y final fue de 0.04% y 0.01%, en

Colombia, Romero (2011) encontró que en un año de alta producción en el cv. Lorena, de 108 mil flores solo 168 frutos llegan a cuajado. Yarita (2014) en cv. Hass usando colmenas de abejas encontró un cuajado de frutos de 0.03%. En este estudio se determinó que el porcentaje de frutos formados fue de 0.05 y 0.04% cuando se introdujeron 6 y 4 colmenas /ha, respectivamente. Estas proporciones estuvieron dentro de los valores mencionados para otras regiones productoras. Adicionalmente, los tratamientos donde fueron introducidas colmenas de abejas presentaron mayores porcentajes comparados con el testigo sin colmenas. Los bajos porcentajes del cuajado de frutos se deben a una alta caída de frutos en los dos primeros meses después de finalizada la floración, debido a una carencia de fecundación (Sedgley y Grant, 1983; Lahav y Zamet, 1999).

El porcentaje de frutos cuajados a las 8 semanas después de finalizada la floración en promedio en los 3 tratamientos fue del 4.59%, y pasadas las 12 semanas fue de 0.52%, estos resultados coinciden con diferentes investigaciones donde determinan que la abscisión de frutos es alta en los 2 primeros meses después de finalizada la floración (Cameron *et al.*, 1952; Adato y Gazit, 1977; Slabbert, 1981; Sedgley y Grant, 1983; Pérez *et al.*, 1988; Inoue y Takahashi, 1990; Lahav y Zamet, 1999; Garner y Lovatt, 2008).

Vithanage (1990) estudio la introducción de colmenas en el aguacate, encontró un aumento significativo en la producción, en promedio, 227,2 frutos/árbol en huertos sin colmenas, y 788,2 en huertos con dos colmenas, evidenciando un aumento de 247% en la producción. Vásquez *et al.* (2011) utilizaron la polinización dirigida con *A. mellifera* en cuatro variedades de aguacate. Incorporaron un promedio de 3.6 colmenas/ha, encontraron aumentos en la producción entre 21% y 96%. Estos porcentajes difieren con los encontrados en esta investigación donde el número promedio de frutos/árbol fue de 212 y 231, y el incremento en la producción del 54 y 68%, con la introducción de 4 y 6 colmenas/ha. Sin embargo, estos estudios coinciden en que la actividad de las abejas melíferas incrementa el número de frutos.

Robbertse *et al.* (1998) determinó una producción de 28.5 y 1.7 Kg/árbol en cv. Hass en tratamientos con y sin colmenas encerrando árboles en jaulas, en esta investigación se encontró 46.2, 38.2 Kg/ha con cuatro y seis colmenas/ha y el testigo con 21.6 Kg/ha.

Estos valores difieren debido a la metodología utilizada, sin embargo, coinciden en que la visita de la abeja melífera aumenta el peso de frutos por árbol.

La importancia de las abejas melíferas en la polinización del aguacate es evidente a partir de la fuerte correlación positiva que existe entre la actividad de las abejas y el rendimiento del cultivo (Ish-Am y Eisikowitch, 1998; Gazit y Degani, 2002). En este estudio se encontró correlación positiva media entre el APA y la EP, y PFTA, comprobando que la polinización del aguacate en sus centros de origen no solo depende de la abeja melífera sino también de los otros insectos polinizadores.

Los resultados obtenidos en los huertos demostraron que al introducir un número diferencial de colmenas (seis y cuatro) comparadas con un huerto sin colmenas, se presentó un aumento de 68 y 54% en el NFTA y de un 112 y 77% en PFTA.

3. Conclusiones y recomendaciones

3.1 Conclusiones

Con la introducción de colmenas de *A. mellifera* en el cultivo de aguacate se logró un incremento de 68 y 54% en el número de frutos totales/árbol.

Con la introducción de colmenas de *A. mellifera* en el cultivo de aguacate se logró un incremento de 112 y 77% en el peso de frutos totales/árbol.

Introduciendo colmenas de *A. mellifera* en huertos de aguacate se presenta un incremento en el número de abejas por árbol, tasa y eficiencia de polinización, y cuajado de frutos finales.

3.2 Recomendaciones

Realizar ensayos con un número mayor de colmenas de abejas por hectárea para observar si se presentan diferencias significativas en las variables evaluadas con respecto al tratamiento de seis colmenas por hectárea.

Repetir el experimento en 2 ciclos anuales de cultivo para observar las diferencias que presentan las variables evaluadas, debido a la alternancia en la producción que presenta el aguacate.

Bibliografía

Adato, I. & S. Gazit. 1977. Role of ethylene in avocado fruit development and ripening. I. Fruit drop. *J. Expt. Bot.* 28, 636–643.

Afik, O., Dag, A., Kerem, Z., & Shafir, S. (2006). Analyses of avocado (*Persea americana*) nectar properties and their perception by honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of Chemical Ecology*, 32(9), 1949–1963. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9120-1>

Afik, O., Delaplane, K. S., Shafir, S., Moo-Valle, H., & Quezada-Euán, J. J. G. (2014). Nectar Minerals as Regulators of Flower Visitation in Stingless Bees and Nectar Hoarding Wasps. *Journal of Chemical Ecology*, 40(5), 476–483. <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0455-8>

Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103(9), 1579–1588. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>

Aizen, M. A., & Harder, L. D. (2009). The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology*, 19(11), 915–918. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.071>

Alcaraz, M. L. (2009). *Biología reproductiva del aguacate (Persea americana Mill.). Implicaciones para optimización del cuajado*. Universidad de Malaga.

Alcaraz, M. L., & Hormaza, J. I. (2011). Influence of physical distance between cultivars on yield, outcrossing rate and selective fruit drop in avocado (*Persea americana*, Lauraceae). *Annals of Applied Biology*, 158(3), 354–361. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00469.x>

Alcaraz, M. L., Hormaza, J. I., & Rodrigo, J. (2010). Ovary starch reserves and pistil development in avocado (*Persea americana*). *Physiologia Plantarum*, 140(4), 395–404. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01410.x>

APOLO. (2010). Polinizadores y biodiversidad. Observatorio de agentes polinizadores. Cibio. España. 89 p.

Alcaraz, M., J. Rodrigo and J. Hormaza. 2011. Implications of starch content in the flower at anthesis on final fruit set in avocado. p 7. In: Proceedings VII World Avocado Congress. Cairns, Australia.

Arango, R., & Saldamando, C. (2015). Diversidad genética de cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill) en Antioquia, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 26(1): 129-143.

Arias, M., & Sheppard, W. (2005). Phylogenetic relationships of Honeybees (Hymenoptera: Apinae:Apini) inferred from nuclear and mitochondrial DNA sequence data. *Mol Phylogenet Evol* 37(1): 25–35.

Arapia, M., & Hofshi, R. (2004). La flor del palto y el proceso polinización-cuaja: Ideas desde la perspectiva Californiana. In 2° SEMINARIO INTERNACIONAL DE PALTOS (pp. 1–22). Quillota.

Barbattini, R. (2015). El prodigioso lenguaje de las abejas. *Vida Apícola*, 17–20.

Bekey, R. (1986). Pollination of avocado - some new insights with special reference to the 'Hass' variety. California Avocado Society Yearbook 70: 91-97.

Bergh, B. O. (1977). Factors affecting avocado fruitfulness. In Saults, J. Philips, R y Jackson, L. (eds.) Proceedings of the First International Tropical Fruit Short Course: The Avocado. University of Florida; Gainesville, FL, USA; 83-87

Bergh, B. O. (1967). Reasons for Low Yields of Avocados. *California Avocado Association. Annual Report*, 5: 161–172.

Bergh, B. O. (1975). Avocado Research in Israel. *California Avocado Society Yearbook*, 58: 103–127.

Bernal, J., Diaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., Cordoba, O., Londoño, M. (2014). *Manual tecnico actualizacion tecnologia y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Corpoica*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Biesmeijer, J., Roberts, S., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Kunin, W. (2006). Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 5785 (313): 351-354. <https://doi.org/10.1126/science.1129551>

Brizuela, F. (2003). *Flujo génico, comportamiento defensivo y efecto de la temperatura en colonias de Apis mellifera infestadas con Varroa destructor*. Universidad autónoma de nuevo león.

Brown, M. J. F., Dicks, L. V., Paxton, R. J., Baldock, K. C. R., Barron, A. B., Chauzat, M. P., & Stout, J. C. (2016). A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. *PeerJ*, 4, e2249. <https://doi.org/10.7717/peerj.2249>

Cabezas, C., & Cuevas, J. (2007). Vectores de polinización del aguacate en el sureste español. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) 2007. Viña Del Mar, Chile. 12–16 nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.

Cabezas, C., Hueso, J. J., & Cuevas, J. 2003. Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*Persea americana* Mill.). Actas V Congreso Mundial del Aguacate 1: 237-242.

Calabrese, F. 1992. El Aguacate. Ediciones Mundi-Prensa. España. 249.

Calle, R., & Portes, J. (2015). *Establecimiento de la base genética para el desarrollo de programas de mejoramiento en Apis mellifera de tres departamentos de Colombia, a partir de la identificación de parentales con características sanitarias superiores*. Universidad de Cundinamarca.

Cameron, S.H., R.T. Mueller, & A. Wallace. 1952. Nutrient composition and seasonal losses of avocado trees. California Avocado Soc. Yrbk. 37:201–209.

Can, C., Quezada, P., Xiu, H., Moo., & Valodovinos, S. (2005). Pollination of 'criollo' avocados (*Persea americana*) and the behavior of associated bees in subtropical Mexico. *J. Apicultural Res.* 44(1), 3-8.

Carabalí, A., Pinchao, S., Lamprea, I., Peña, J., & Carabalí, D. 2017. Insectos polinizadores del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en Colombia. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

Carvalho, L. G., Kunin, W. E., Keil, P., Aguirre-Gutiérrez, J., Ellis, W. N., Fox, R., & Biesmeijer, J. C. (2013). Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters*, 16(7), 870–878. <https://doi.org/10.1111/ele.12121>

Carón, D. (1999). *Honey bee biology and beekeeping*. Wicwas Press; Cheshire, CT, USA.

Castañeda, A., Equihua, A., Valdés, J., Barrientos, A., Ish-Am, G., & Gazit, S. (1999). Insectos Polinizadores Del Aguacate En Los Estados De Mexico Y Michoacan. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 129–136. Retrieved from [http://bio-nica.info/Biblioteca/Ish-Am polinizadores Aguacate.pdf](http://bio-nica.info/Biblioteca/Ish-Am%20polinizadores%20Aguacate.pdf)

Castillo, E. (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. 81.

Cautín M. (1996). Nuevos antecedentes sobre requerimientos de polinización y variedades. Universidad de Chile. *Publicaciones Miscelaneas Agrícolas*, 45, 15-29.

Cerdas, M. D. M., Montero Calderón, M., & Díaz Cordero, E. (2006). *Manual de manejo de pre y poscosecha de aguacate (Persea americana)*. San José, Costa Rica. 95.

- Cossio, L. E., Salazar-Garcia, S., Gonzalez-Duran, I. J. L., & Medina-Torres, R. (2007). Algunos aspectos reproductivos del aguacate 'Hass' en clima semicálido. Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Viña Del Mar, Chile. 11.
- Crailsheim, K., Schneider, L. H. W., Hrasnigg, N., Bühlmann, G., Brosch, U., Gmeinbauer, R., & Schöffmann, B. (1992). Pollen consumption and utilization in worker honeybees (*Apis mellifera carnica*): Dependence on individual age and function. *Journal of Insect Physiology*, 38(6), 409–419. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(92\)90117-V](https://doi.org/10.1016/0022-1910(92)90117-V)
- Davenport, T. L., Parnitzki, P., Fricke, S., & Hughes, M. S. (1994). Evidence and Significance of Self-Pollination of Avocados in Florida. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(6), 1200–1207.
- Davenport, T. L. (1986). Avocado flowering. *Horticultural Reviews*, 8, 257–289.
- Degani, C., & Gazit, S. (1984). Selfed and crossed proportions of avocado progenies produced by caged of complementary cultivars. *Hortscience*, 19(2), 258–260.
- De La Cuadra, S. (1998). La polinización con abejas en huertos frutales para exportación en Chile. VI Congreso Iberoamericano de apicultura. XII Seminario Americano de apicultura. México, 17-21 de agosto de 1998. 1-8.
- Delaplane, K. S., Dag, A., Danka, R. G., Freitas, B. M., Garibaldi, L. A., Goodwin, R. M., & Hormaza, J. I. (2013). Standard methods for pollination research with *Apis mellifera* Métodos estándar para el estudio de polinización con *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research*, 4(52), 1–28. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.12>
- Dewenter, S., Potts, S., & Packer, L. (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends Ecol. Evol.* 20, 651–652.
- Dixon, J. (2006). Avocado Pollination, Best practice guidelines. 13 (Avocado Industry Council Ltd).

Dixon, J., & D. Sher. (2002). Pollination of avocados. Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association. 2, 31-40.

Du-Toit, A., & Swart, D. (1993). Notes on foraging activity of honeybees in an avocado orchard. South African Avocado Growers' Association Yearbook. 16, 37-38.

Eardley, C. D., & Mamsell, M. W. (1993). Preliminary report on the natural occurrence of insect pollinators in an avocado orchard. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 16, 127–128.

Eardley, C. D., & Mamsell, M. (1996). The Natural occurrence of Insect Pollinators in an avocado Orchard. South African Avocado Growers Association Yearbook. 19, 36-38.

Engel, M. (1999). The taxonomy of recent and fossil honeybees (Hymenoptera: Apidae; *Apis*). *J Hymen Res* 8(2), 165–196.

Evans, L. J., & Goodwin, R. M. (2011). The role of insect pollinators in avocado (*Persea americana*) pollination in New Zealand and Australia. In *Proceedings VII World Avocado Congress 2011 (Actas VII Congreso Mundial del Aguacate 2011)* (Vol. 2011).

Evans, L. J., Goodwin, R. M., & McBrydie, H. M. (2010). Factors affecting “Hass” avocado (*Persea americana*) fruit set in New Zealand. *Insect Biology*, 63, 214–218.

FAO. (2014). *Sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Principios y avances.*

FAO. (2009). *Los polinizadores: su biodiversidad poco apreciada, pero importante para la alimentación y la agricultura. Sciences-New York.*

Free, J., & Williams, H. (1976). Insect pollination of *Anacardium occidentale* L., *Mangifera indica* L., *Bryghia sapida* Koenig and *Persea americana* Mili. *Tropical Agriculture* 53: 125-136.

Free, J. (1970). *Insect Pollination of crops.* Academic Press, London. 544.

- Free, J., & Spencer, Y. (1963). The foraging areas of honey bee colonies in fruit orchards. *Journal of Horticultural Science*, 38, 129–137.
- Garau, J. (1990). Curso superior de apicultura. Taller Gráfico Ramón Baalnes. Palma de Mallorca. 603.
- Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2008). The Relationship Between Flower and Fruit Abscission and Alternate Bearing of 'Hass' Avocado. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133(1), 3–10.
- Gardiazabal, F., & Rosenberg, G. (1991). El Cultivo del Palto. Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. Quillota, Chile, 201.
- Gardiazabal, F. (1998). Factores agronómicos a considerar en la implantación de un huerto de paltos. Seminario internacional de paltos, Viña del Mar.
- Garibaldi, L. A., Ashworth, L., Chacoff, N., & Aizen, M. (2012). Los polinizadores en la agricultura. *CH*, 21(126), 35–43.
- Gazit, S., & Degani, C. (2002). Reproductive Biology, pp. 101-127. En Whiley AW, B Schaffer y BA Schaffer. *The avocado: botany, production and uses*. CABI Publishing. Oxon.
- Goodwin, M. (2012). Pollination of Crops in Australia and New Zealand. RIRDC Publication. Australia.
- Gould, J., & Gould, C. (1988). The honey bee. Scientific American Library. New York.
- Granados, A. (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*. Universidad Nacional de Colombia.

- Gross, C. L. (2001). The effect of introduced honeybees on native bee visitation and fruit-set in *Dillwynia juniperina* (Fabaceae) in a fragmented ecosystem. *Biological Conservation*, 102, 89–95.
- Hanley, N., Breeze, T. D., Ellis, C., & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosystem Services*, 14, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.09.013>
- Hepburn, H., & Radloff, S. (2011). *Honeybees of Asia*. Springer: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hueso, J. (2012). Crecimiento y maduración del fruto en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. 81.
- Ibrahim, S. (1974). Composition of pollen gathered by honeybees from some major sources. *Agricultural Research Review* 52, 121-123.
- Inoue, H. & B. Takahashi. (1990). Studies on the bearing behavior and yield composition of the avocado tree (in Japanese). *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 59:487–501.
- Ish, G., & Eisikowitch, D. (1993). The behaviour of honey bees (*Apis mellifera*) visiting avocado (*Persea americana*) flowers and their contribution to its pollination. *Journal of Apicultural Research*, 32, 175–186. <https://doi.org/10.1080/00218839.1993.11101303>
- Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1998). Low attractiveness of avocado (*Persea americana* Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(2), 195–204.
- Ish-am, G., Barrientos-Priego, F., Castaneda-Vildozola, A., & Gazit, S. (1999). Avocado (*Persea americana* Mill.) pollinators in its region of origin. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 137–143.
- Ish-Am, G., & Lahav, E. (2011). Evidence for a major role of honeybees (*Apis mellifera*) rather than wind during avocado (*Persea americana* Mill.) pollination. *Journal of*

Horticultural Science & Biotechnology, 86, 589–594.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2011.11512808>

Ish-Am, G. (2004). Principios De La Polinización Del Palto – Una Breve Revisión, 11.

Ish-Am, G. (1994). Interrelationship between avocado flowering and honeybees and its implication on the avocado fruitfulness in Israel. Ph.D. Thesis, Tel Aviv University, Israel (in Hebrew, English Abstract).

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1991a). Possible routes of avocado tree pollination by honeybees. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 77(4), 225–233.
<https://doi.org/10.2307/2399673>

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1991 b). New insight into avocado flowering in relation to its pollination. *California Avocado Society Yearbook* 75, 125-137.

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1995). Quantitative Approach to Avocado Pollination. *Proceedings of the World Avocado Congress III*, 46–51.

Ish-Am, G., & Eisikowitch, D. (1990). Behaviour of honeybees during visits to avocado flowers and their contribution to pollination. *Alon Hanotea*, 44(7), 591-606.

Jardón, B., Valeria, A., Violeta, M., Amparo, G., María de Jesús, X., Daniel, P., & Ana, W. (2013). Análisis para la determinación de los centros de origen, domesticación y diversidad genética del género *Persea* y la especie *Persea americana* (aguacate). *Biodiversidad.Gob.Mx*, 99. Retrieved from <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Persea/Proyecto/ProyectoPersea.pdf>

Kangave, A., Cosmas, B., & Agapitus, K. (2012). The national bee keeping training and extension manual. 144.

Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for

world crops. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 274(1608), 66, 95–96, 191. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>

Lahav, E., & Zamet, D. (1999). Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 95–100.

Lecomte, J. (1961). Observations on pollination of the avocado in the French Antilles. *Fruits*, 16(8), 411-414.

Malerbo, D. T., Alencar, V. De, Toledo, A. De, & Fábio, F. (2000). Polinização em flores de abacateiro (*Persea americana* Mill.). *Acta Scientiarum - Agronomy*, 22(4), 937–941.

Martinez, T. (2006). Diagnóstico de la actividad apícola y de la crianza de abejas en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección de Cadenas Productivas - IICA. 105.

Mayer, D., Johansen, C., & Burgett, D. 1986. Bee Pollination of Tree Fruits. Pacific Northwest Extension Publication No. 0282. Prosser, WA, USA. 10.

Mena, F. 2004. Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo. 2º Seminario Internacional de Paltos. 29 septiembre-1 octubre. Sociedad Gardiazábal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile. <http://www.avocadosource.com>.

Michener, C. (2000). The bees of the world. The Johns Hopkins University Press. 913.

Miguel, I., Baylac, M., Iriondo, M., Manzano, C., y Garnery, L. (2011). Both geometric morphometric and microsatellite data consistently support the differentiation of the *Apis mellifera* M evolutionary branch. *Apidologie*, 42, 150-161.

McGregor, S. (1976). Insect pollinators of cultivated crop plants. Washington Department of Agriculture United States. 441.

Montero, I., & Tormo, R. (1993). Preferencias polínicas de la abeja en un colmenar en el sur de Badajoz. *An. Asoc. Palnol. Leng. Esp.* 5, 93-102.

Neira, M., Palacios, J., Carrillo, R., Pessot, R., & Mundaca, N. (1997). Conducta polinizadora de *Apis mellifera* L. y *Bombus ruderatus* (Hymenóptera: Apidae) sobre dos cultivares de Cranberry, *Vaccinium macrocarpon* Ait. (Ericaceae). *Agro-Ciencia* 13(3), 337-344.

Nieto, A. (1984). Observación preliminar de la polinización entomófila en aguacate *Persea americana* Mill. *Revista chapingo* 9, 54-55.

Nixon, H., & Ribbands C. (1952). Food transmission within the honeybee community. *Proc. R. Soc. B* 140, 43-50.

O'Malley, M., Ellis, J., Zettel, C., & Herrera, P. (2013). Diferencias Entre Abejas Melíferas Europeas y africanas. *Entomology and Nematology*. 4.

Osuna, E., García, V., & Pimienta, B. (1985). Expresión de la dicogamia en la variedad fuerte de aguacate (*Persea americana* Mill.) en la región de atlixco, puebla. *Agrociencia* 62, 69-77.

Padilla, F., Puerta, F., Flores, J., & Bustos, M. (1992). Bees, apiculture and the new world. *Arch. Zootec.*, 41, 563-567.

Papadakis, J. (1966). *Climates of the world and their agricultural potentialities*. DAPCO, Rome, 174.

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

Pankiw, T. (2004). Worker honey bee pheromone regulation of foraging ontogeny. *Naturwissenschaften*, 91, 178-181. <https://doi.org/10.1007/s00114-004-0506-z>

Pankiw, T., Sagili, R. R., & Metz, B. N. (2008). Brood Pheromone Effects on Colony Protein Supplement Consumption and Growth in the Honey Bee (Hymenoptera : Apidae) in a Subtropical Winter Climate. *Entomological Society of America*, 101(6), 1749–1755.

Pechhacker, H. (1977). Importancia económica de la distancia desde el lugar de ubicación de la colmena hasta la fuente nectífera. *Apineta* 12(1), 15-18.

Pensante, D. (2003). Anatomía de la abeja. Notas de las conferencias capítulo 3, anatomía Universidad de Puerto Rico, recinto Universitario de Mayagüez. 27.

Pérez, J., Balam, J., Alfaro, R., Medina, S., McKendrick, L., Soro, A., & Paxton, R. (2012). The contribution of honey bees, flies and wasps to avocado (*Persea americana*) pollination in southern Mexico. *Journal of Pollination Ecology*, 8(6): 42-47.

Percival, M. (1947). Pollen collection by *Apis mellifera* L. *New Phytologist* 46, 142-173.

Popenoe, J. (1963). The ruelle avocado. Fla. Agr. Expt. Sta. Circ. 5-144.

Potts S., Biesmeijer K., Bommarco R., Breeze T., Carvalheiro L., Franzén M., González-Varo J.P., Holzschuh A., Kleijn D., Klein A.-M., Kunin, B., Lecocq T., Lundin O., Michez D., Neumann P., Nieto A., Penev L., Rasmont P., Ratamäki O., & Riedinger V., R. S. O. (2015). *Status and Trends of European Pollinators*. Retrieved from www.step-project.de

Potts, S. G., Vulliamy, B., Roberts, S., & Toole, C., Dafni, A., Neopos;eman, G., & Willmer, P. (2005). Role of nesting resources in organising diverse bee communities in a Mediterranean landscape. *Ecological Entomology*, 30(1), 78–85. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2005.00662.x>

Quero, A. (2004). Las abejas y la apicultura. Universidad de Oviedo. Departamento de Biología.124.

Rallo, G. (1986). Frutales y Abejas. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid, España. 231.

- Ramírez, G. (2014). *Aprendizaje olfativo pre-imaginal en la abeja Apis mellifera: sus efectos luego de la metamorfosis*. Universidad de Buenos Aires.
- Richards, J. (1997). *Plant breeding systems*. Chapman & Hall, Cambridge.
- Robbertse, P. J., Coetzer, L. A., Johannsmeier, M. F., & Swart, D. J. (1996). Hass Yield and Fruit Size as Influenced by Pollination and Pollen Donor — a Joint Progress Report. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 19, 63–67.
- Robbertse, P. J., Johannsmeier, M. F., & Morudu, T. M. (1998). Pollination of Hass Avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 63–68.
- Romero, M. (2012). *Comportamiento fisiológico del aguacate (Persea americana Mill.) Variedad Lorena en la zona de Mariquita, Tolima*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Agronomía.
- Ros, J. (2012). *Iniciación a la apicultura (Comunidad)*. Murcia.
- Root, A. (1976). ABC y XYZ de la Apicultura. Enciclopedia de la cría científica y práctica de las abejas. 15a. ed. Buenos Aires, Argentina, Hachette. 670.
- Ruehle, G. (1958). The Florida avocado industry. *Fla. Agr. Expt. Sta.*, 602:100.
- Ruttner, F. (1975). Races of bees in "The Hive and the Honey Bee". Dadant, Hamilton, Ill. 19-38.
- Salazar, S. (2000). Fisiología reproductiva del aguacate. In: Telíz, D. ed. El aguacate y su manejo integrado. México, Mundi- Prensa. 57-83.
- Salazar, S., & Lovatt, C. (1998). GA3 application alters flowering phenology of the 'Hass' avocado. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 791-797.

Salazar, S., Lord, E. M., & Lovatt, C. J. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "on" and "off" crop years. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123:537-544.

Sedgley, M. (1987). Foraging Strategy of Honeybee Colonies in a Temperate Deciduous Forest. *Ecology*, 63(6), 1790–1801. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1940121>

Sedgley, M. (1977). Reduced pollen tube growth and the presence of callose in the pistil of the male floral stage of the avocado. *Scientia Horticulturae*, 7: 27-36.

Sedgley, M., & Grant, W. (1983). Effect of low temperatures during the flowering on the floral cycle and pollen tube growth in nine avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*, 18, 207-213.

Schwartz, M. (2004). Plant Phenology Programs. USA-National Phenology Network.

Scholefield, P. (1982). A scanning electron microscope study of flowers of avocado, litchi, macadamia and mango. *Scientia Horticulturae*, 16, 263-272.

Shoval, S. (1987). Tasa de polinización y crecimiento del tubo polínico del palto, en relación al rendimiento (En hebreo, Abst. En inglés). Tesis para M.Sc. Universidad Hebrea. Jerusalem. 161.

Slabbert, M.J. 1981. Flower and fruit drop. South African Avocado Growers' Assn. *Yrbk.* 4, 89–91.

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, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 79.

Scora, R., Wolstenholme, B., & Lavi, U. (2002). Taxonomy and Botany. pp. 25-45. En: Whiley, A., B. Schaffer y B. Wolstenholme (ed.). *The avocado, botany, production and uses*. Primera edición. CABI Publishing, Londres.

Stout, A. (1933). The pollinations of avocado. *Fla Agr. Expt. Sta.*, 257:44.

Storer, T.I., Usinger, R. I., Stebbins, R.C., & Nybakken. J. W. (1998). Classe Insecta: Insetos. In: *Zoologia Geral*. São Paulo: Editora Nacional. 5, 504-545.

Stout, A. (1923). A study in cross-pollination of avocados in southern California. California Avocado Association. *Annual Report*, 7, 29-45.

Suwannapong, G., Benbow, M., & Nieh, J. (2001). Biology of Thai honeybees: natural history and threats. In: *Bees: Biology, Threats and Colonies*, 1-98.

Téliz, O.D. 2000, El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi Prensa 1ª edición, México pp 219.

Valdés, C. (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). Chile.

Van-Engelsdorp, D., & Meixner, M. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103, 80–95.

Vaquero, J., & Vargas, P. (2010). Guía práctica sobre Manejo Técnico de Colmenas. 87.

Vásquez, R., Ballesteros, H., Tello, J., Castañeda, S., Calvo, N., Ortega, N., & Riveros, L. (2011). Polinización dirigida con abejas *Apis mellifera*: Tecnología para el mejoramiento de la producción de cultivos con potencial exportador. 82.

Visscher, P., & Shermann. 1998. Insect visitors to avocado. *Subtropical Fruit News*, 6(1): 7-10.

Visscher, P. (1997). Avocado pollination in California growering conditions. California avocado research symposium. 43-44.

Visscher, P., & Seeley, T. (1982). Forging strategy honey bee colonies in a temperae deciduous forest. *Ecology*, 63(6): 1790–1780.

Vithanage, V. (1990). The role of the European honeybee (*Apis mellifera* L.) in avocado pollination. *J. Hort. Sci.* 65(1): 81-86.

Westwood, M. (1982). Fruticultura de Zonas Templadas. Madrid, Mundi-Prensa. 461.

Wysocki, M., Van den Berg, M., Ish-Am, G., Gazit, S., Peña, J., & Waite. (2002). Pests and pollinators of avocado. pp. 223-293 In: Tropical Fruit Pests and Pollinators (Peña, J. E., J. L. Sharp, and M. Wysocki, eds.). CABI Publishing, Wallingford, UK.

Whiley, A. W. (1990). CO₂ assimilation of developing fruiting shoots of cv Hass avocado (*Persea americana* Mill) A preliminary report. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 28–30.

Yarita, Y. (2014). Uso de cultivares complementarios en palto *Persea Americana* Miller var. La libertad. Universidad privada Antenor Orrego. Facultad de Ciencias Agrarias.

Zych, M., & Jakubiec, A. (2006). How much is a bee worth? Economic aspects of pollination of selected crops in Poland. *Acta Agrobotanica*, 59(1), 289–299.