

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA CON MENCIÓN EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

PROYECTO DE TESIS

**EFFECTO DE LOS ÁFIDOS, LAS HORMIGAS Y SU ASOCIACIÓN SOBRE EL ABORTO
DE LOS COJINES FLORALES ENHÍBRIDOS DE *THEOBROMA CACAO***

**POR:
CRISTIAN GARITA ROJAS**

**PROFESOR GUÍA:
MSc. RAFAEL ARIAS TORRES**

HEREDIA, COSTA RICA, NOVIEMBRE 2016

**EFFECTO DE LOS ÁFIDOS, LAS HORMIGAS Y SU ASOCIACIÓN SOBRE EL ABORTO
DE LOS COJINES FLORALES EN HÍBRIDOS DE *THEOBROMA CACAO***

Cristian Garita Rojas

RESUMEN

Con el fin de determinar el efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre el aborto de los cojines florales en híbridos de *Theobroma cacao*, se llevó a cabo un experimento en la finca “Cacao Cántaro” en Pavones, Turrialba, Cartago, Costa Rica. En él se efectuó un muestreo de insectos durante el periodo de floración que transcurrió entre Febrero y Marzo de 2016, el mismo llevó a cabo inspecciones dirigidas a los cojines florales para identificar los diferentes morfotipos de áfidos y las hormigas de interés agrícola presentes en ellos. De cada morfotipo se obtuvieron dos submuestras, una se trasladó al Laboratorio de Entomología del INTA, Costa Rica, para obtener evidencia fotográfica de cada una de las estructuras anatómicas de los insectos y la segunda se envió a las Universidades de Barcelona y León en España con el fin de realizar la identificación taxonómica de los individuos. Durante las semanas 14 a 30 de 2016, se llevó a cabo un ensayo en la finca de Cacao Cántaro para evaluar el efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre la pérdida de los cojines florales en el cultivo, el mismo se estableció con un Diseño Completamente al Azar (DCA) con doce repeticiones por tratamiento. La unidad experimental correspondió a un árbol de cacao, 48 árboles en total fueron utilizados en el experimento. El diseño de tratamientos fue factorial con dos factores (áfidos y hormigas) y dos niveles (presencia y ausencia). Por lo que se evaluaron cuatro tratamientos: árboles sin insectos, árboles sólo con áfidos, árboles sólo con hormigas y árboles con áfidos y hormigas. Semanalmente, se monitoreó la incidencia y la severidad de áfidos, hormigas y su asociación en cada uno de los árboles incluidos en el experimento, a su vez se llevó un registro semanal de las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa y precipitaciones) con el fin de determinar si estas últimas tenían algún impacto sobre la incidencia de insectos en la época de floración. La identificación taxonómica detectó una única especie de áfido, una de zompopa y cinco especies de hormigas, de tres géneros distintos, asociadas a los cojines florales de cacao. Se determinó que los áfidos y las hormigas causaron alrededor del 6,6% de las pérdidas totales de estructuras florales en los árboles, siendo esta la tercera causa de pérdida de estructuras florales por debajo de las patologías causadas por hongos y por las fisiopatías. Aunque no se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que exista correlación entre las condiciones climáticas del periodo en estudio y la incidencia de áfidos y hormigas, se determinó que los áfidos son la plaga principal para el cultivo, mientras que las hormigas identificadas proveyeron servicios ecosistémicos en términos de fitoprotección y polinización. Finalmente, la implementación de un programa de manejo integrado de áfidos en Cacao Cántaro podría llegar a aumentar la producción de cacao en baba hasta en 67,0 Kg/ha.

Palabras clave: *Theobroma cacao*, asociación áfido-hormiga, *Toxoptera aurantii*, *Camponotus* sp., *Dolichoderus validus* y *Ectatomma ruidum*.

ABSTRACT

In order to determine the effect of the aphids, ants and their association on the abortion of their floral structures in *Theobroma cacao* hybrids, a trial was conducted in “Cacao Cantaro” farm, Pavones, Turrialba, Cartago, Costa Rica. An insect sampling was carried out during the flowering period that elapsed between February and March 2016, it made inspections aimed at the floral structures to identify different species of aphids and ants established in them. Each specie of aphids and ants was divided in two samples, one of them was sent to the Entomology Laboratory in INTA, Costa Rica to take pictures of each of the anatomical structures of the insects, and the second simple was sent to the Universities of Barcelona and León in Spain in order to perform the taxonomic identification of the insects. During weeks 14-30, 2016, a trial was conducted in “Cacao Cantaro” farm to the effect of aphids, ants and their association on flower structures losses in cocoa crop. The trial was established as a Completely Randomized Design (CRD) with twelve repetitions per treatment. The experimental unit was a cocoa tree, 48 trees were used in the trial. Treatments were established as a Factorial Design with two factors (aphids and ants) and two levels (presence and absence) in each factor. Four treatments were evaluated: trees without insects, trees only with aphids, trees only with ants and trees with aphids and ants. Weekly, the incidence of aphids, ants and their association was recorded in each tree included in the trial, also a weekly record of the climate conditions (temperature, relative humidity and rainfall) was took in order to determine if whether had an impact on the insect incidence during flowering season of the crop. Taxonomic identification reported one single aphid specie, only one leaf-cutter ant and five species of three different genera of ants associated to flower structures in cocoa trees. It was determined that aphids and ants caused about 6.6% of total losses of flower structures in the trees, so it became the third cause of floral losses after the diseases caused by phytopathogenic fungi and physiological disorders. Even not enough statiscal evidence was found to assure that there was correlation between wheather conditions during the trial and the incidence of aphids and ants, it was determined that aphids were the main pests in cocoa plantations, while the identified ants provided ecosystemic services such as crop protection and pollination. Finally, the implementation of an integrated management program of aphids in “Cacao Cantaro” could increase fresh cocoa production up to 67,0 Kg/ha.

Key words: *Theobroma cacao*, ant-aphid association, *Toxoptera aurantii*, *Camponotus* sp., *Dolichoderus validus* and *Ectatomma ruidum*.

EFFECTO DE LOS ÁFIDOS, LAS HORMIGAS Y SU ASOCIACIÓN SOBRE EL ABORTO DE LOS COJINES FLORALES EN HÍBRIDOS DE *THEOBROMA CACAO*

Proyecto de tesis presentado al Comité de Gestión Académica (CGA) de la Maestría en Agricultura Alternativa con mención en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Costa Rica como requisito parcial para la obtención del título de *Magister Scientiae*.

Miembros del Tribunal

M.Sc. Rafael Arias Torres

Tutor de tesis

M.Sc. Rosalía Rodríguez Porras

Asesora de tesis

M.Sc. William Villalobos Müller

Asesor de tesis

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su amistad, su amor, su misericordia y por la oportunidad de cursar este posgrado.

A Tesoro quien desde el cielo me aconseja, me llena de paz y me da mucha fortaleza para vencer cualquier adversidad.

A mi familia por su apoyo incondicional, principalmente a abuelo Carlos y a mis primos quienes fueron mis compañeros de viaje y mis colaboradores durante el desarrollo del experimento.

A las familias Studt Solano y Solano Fuentes, por su amistad, su hospitalidad y por hacer de Cacao Cántaro un segundo hogar para mí.

A la MSc. Gabriela Soto Muñoz quien, en momentos difíciles, me brindó su amistad y su apoyo para continuar cursando la Maestría.

Al Dr. Óscar Arias Moreira por darme la oportunidad de continuar cursando mis estudios mientras laboré en Agrobiotecnología de Costa Rica.

Al Laboratorio de Entomología del INTA, Costa Rica, principalmente a las Ing. Ruth León y Katherine Bonillo, por todo su apoyo durante el proceso de montaje, conservación y fotografía de los especímenes.

Al Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular de la UCR, principalmente al MSc. William Villalobos y a la MSc. Lisela Moreira por todas las facilidades que me brindaron para llevar a cabo la investigación.

Al Dr. Nicolás Pérez, Universidad de León, España y al Dr. Xavier Espadaler, Universidad de Barcelona, España por su cooperación con la identificación taxonómica de los insectos en estudio.

Al MSc. Rafael Arias y a la MSc. Rosalía Rodríguez por su apoyo incondicional para sacar adelante esta investigación.

Al Dr. Eduardo Salas por la retroalimentación brindada durante las distintas etapas de la investigación.

A mis compañeros y profesores del posgrado de quienes aprendí muchísimo en lo personal y en lo académico.

DEDICATORIA

A Dios por continuar bendiciéndome día a día.
A Tesoro quien me inculcó el valor de la humildad, del trabajo,
y ahora me llena de fortaleza y coraje para alcanzar mis metas.
¡Hasta el cielo con todo el amor del mundo!

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS.....	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIV
CAPÍTULO I	15
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	19
OBJETIVO GENERAL.....	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
CAPÍTULO II	20
REVISIÓN DE LITERATURA	21
1. Cacao	21
1.1 Descripción botánica y taxonómica.....	21
1.2 La flor.....	22
1.3 Diversidad genética	23
2. Plagas.....	26
2.1 Áfidos.....	26
2.2 Hormigas.....	27
2.3 Relación áfidos-hormigas-hospedero.....	27
CAPÍTULO III	30
METODOLOGÍA.....	31
1. Localización de la investigación.....	31
2. Muestreo de áfidos y hormigas.....	31
3. Identificación de insectos.....	32
4. Efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre la pérdida de flores de cacao.....	32
5. Variables a medir.....	34
5.1 Pérdida de cojines florales: causas.....	34

5.2	Datos climáticos	34
5.3	Monitoreo poblacional de áfidos y hormigas	35
6.	Análisis de datos.....	36
CAPÍTULO IV	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		38
1.	Identificación taxonómica de áfidos y hormigas.....	38
1.1.	<i>Atta cephalotes</i>	38
1.2.	<i>Camponotus spp.</i>	40
1.3.	<i>Dolichoderus validus</i>	42
1.4.	<i>Ectatomma ruidum</i>	44
1.5.	<i>Toxoptera aurantii</i>	45
2.	Efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre la pérdida de botones y flores de <i>T.cacao</i>	47
2.1.	Botones florales.....	50
2.2.	Flores	55
2.3.	Severidad de las infestaciones	60
3.	Análisis del efecto del tiempo atmosférico (temperatura, humedad relativa y precipitación) sobre la incidencia de áfidos y hormigas en los cojines florales de <i>T. cacao</i>	62
CONCLUSIONES		65
RECOMENDACIONES		66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		67
ANEXOS		75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Identificación taxonómica de los artrópodos de interés asociados a los cojines florales de los árboles de cacao.....	38
Cuadro 2. Efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre las diferentes causas de pérdida de estructuras florales.	50
Cuadro 3. Distribución porcentual de los índices de severidad de botones y flores infestados con áfidos o con la asociación áfidos-hormigas.	61
Cuadro 4. Efecto del tiempo atmosférico sobre la incidencia de áfidos, hormigas y su interacción en botones florales de <i>T. cacao</i>	63
Cuadro 5. Efecto del tiempo atmosférico sobre la incidencia de áfidos, hormigas y su interacción en flores de <i>T. cacao</i>	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Barrera plástica con pegamento para reducir el riesgo de la llegada de las hormigas a los cojines florales.....	35
Figura 2. Escala de empleada para evaluar la severidad de los ataques de <i>T. aurantii</i>	36
Figura 3. Sistema de aspirado para hormigas dentro del cacaotal.	37
Figura 4. Daños causados por <i>A. cephalotes</i> en la plantación de cacao. A- Defoliación de la copa del árbol. B- Obreras de <i>A. cephalotes</i> cortando y transportando flores del árbol hacia el nido. C y D- Frutos dañados por las zompopas.	40
Figura 5. Obreras del género <i>Camponotus</i> spp., asociadas a los áfidos presentes en los cojines florales de los árboles de cacao.	42
Figura 6. Fluctuación poblacional de las obreras de <i>Camponotus</i> spp., según el tratamiento aplicado a los árboles de cacao.	42
Figura 7. Nidos de <i>D. validus</i> en ramas y frutos dentro del cacaotal. A y B- Nido de <i>D. validus</i> en las ramas del árbol. C- Nido de <i>D. validus</i> sobre un fruto de cacao.....	44
Figura 8. Fluctuación poblacional de las obreras de <i>D. validus</i> de acuerdo con el tratamiento aplicado a los árboles de cacao.	45
Figura 9. Fluctuación poblacional de las obreras de <i>E. ruidum</i> de acuerdo con el tratamiento aplicado a los árboles de cacao.	46
Figura 10. <i>T. aurantii</i> en árboles de cacao. A- Brotes infestados con áfidos. B- Botones infestados con áfidos. C- Flores infestadas con áfidos.	47
Figura 11. Curva de floración y polinización de <i>Theobroma cacao</i> durante semana 15 a 30 de 2016. .	48
Figura 12. Incidencia de estructuras florales enfermas durante semana 15 a 30 de 2016.	49
Figura 13. Estructuras florales infestadas con áfidos, hormigas o ambos artrópodos durante semana 15 a 30 de 2016.....	50
Figura 14. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones infestados con y sin áfidos.	52
Figura 15. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones infestados con áfidos y hormigas.....	53
Figura 16. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones infestados con hormigas.	54
Figura 17. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones enfermos.....	55
Figura 18. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores infestadas con áfidos.	56
Figura 19. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores infestadas con áfidos y hormigas.....	57
Figura 20. Efecto de cada uno de sus factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores infestadas con hormigas.	58
Figura 21. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores enfermas.....	60
Figura 22. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores polinizadas.	61

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Vista dorsal de un espécimen adulto de <i>A. cephalotes</i> (12X).....	75
Anexo 2. Vista lateral y dorsal de un espécimen adulto de <i>C. novogranadensis</i> (12X).....	75
Anexo 3. Vista dorsal y lateral de un espécimen adulto de <i>C. planatus</i> (12X).	75
Anexo 4. Vista dorsal y lateral de un espécimen adulto de <i>C. fastigatus</i> (12X).	76
Anexo 5. Vista dorsal y lateral de un espécimen adulto de <i>D. validus</i> (12X).....	76
Anexo 6. Vista lateral y dorsal de un espécimen adulto de <i>E. ruidum</i> (12X).	76
Anexo 7. Vista dorsal y ventral de un espécimen adulto de <i>T. aurantii</i> (12X).....	77
Anexo 8. Datos climáticos de la estación meteorológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Cartago, Costa Rica.....	77
Anexo 9. Estructuras florales infectadas por hongos. A- Necrosis severa en un botón inmaduro. B- Flores con diferentes estados de avance de la infección.....	78
Anexo 10. Estructuras florales infestadas con áfidos durante semana 15 a 30 de 2016.	78
Anexo 11. Estructuras florales infestadas con áfidos y hormigas durante semana 15 a 30 de 2016.....	79
Anexo 12. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de flores polinizadas.	79
Anexo 13. Análisis de datos del porcentaje de estructuras infestadas con áfidos según el tratamiento.....	80
Anexo 14. Análisis de datos del porcentaje de estructuras infestadas con áfidos y hormigas según el tratamiento.	80
Anexo 15. Análisis de datos del porcentaje de estructuras infestadas con hormigas según el tratamiento.	80
Anexo 16. Análisis de datos del porcentaje de estructuras florales enfermas según el tratamiento.	81
Anexo 17. Análisis de datos del porcentaje de flores polinizadas según el tratamiento.	81

LISTA DE ABREVIATURAS

°C: grados Celcius

CCN 51: Colección Castro Naranjal

ha: hectárea

Ing: Ingeniero

IMC 67: Iquitos Manaos Collection

Kg: kilogramos

mm: milímetro

sp: especie

ssp: sub-especie

TM: tonelada métrica

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de cacao (*Theobroma cacao* L.) alcanzó 4,1 millones de toneladas para la temporada 2013-2014, en América Latina se cultivó el 16% de la producción mundial de cacao (ICCO 2014). Durante la temporada 2009-2010, la actividad cacaotera generó empleo para 50 millones de personas alrededor del mundo, mientras que del total de productores, el 95% eran pequeños (ICCO 2010). Solo en Mesoamérica se estima que 80.000 pequeños agricultores están involucrados en la producción de cacao en áreas de siembra que no exceden las 5 ha (Phillips y Galindo 2006, ICCO 2013). La producción anual de esta región asciende a 6000 TM con un valor bruto aproximado de \$7 millones/año (CATIE 2010).

En Costa Rica, la producción de cacao también es desarrollada por pequeños productores. En 2010, con el impulso al Programa Nacional de Cacao, el área de siembra en el país alcanzó 4500 ha, aproximadamente, en las que participan alrededor de 2200 productores (Barrantes y Foster 2010); no obstante, de acuerdo con el INEC (2015) el VI Censo Agropecuario Nacional determinó que el país cuenta con 3170 ha sembradas con cacao, de las cuales 2561 ha se encuentran en edad de producción. Costa Rica cuenta con 3041 fincas, la mayoría están ubicadas en áreas rurales alejadas, emplean sistemas agroforestales tradicionales y sus familias son el recurso humano que desarrolla el proceso productivo.

En las regiones Huetar Atlántica y Norte existen varias asociaciones y cooperativas de productores con fincas de alta productividad, con sistemas sostenibles, algunas certificadas como orgánicas o en proceso. Por el contrario, en la región Brunca los productores se encuentran dispersos, sin ningún tipo de capacidad organizativa y la mayoría produce bajo esquemas orgánicos no certificados o convencionales (Nadurille 2010).

Cabe destacar que Costa Rica se sitúa como el productor mundial de cacao número 41, sin embargo, la importancia y renombre que ha adquirido el cacao nacional le han asegurado la distinción de ser un cacao fino y con aroma que pocos países ofrecen (Adria 2010).

Esta distinción se encuentra en riesgo debido al cambio climático, ya que se espera que este fenómeno traiga consigo pérdidas de productividad en los agroecosistemas como consecuencia de las fluctuaciones en los patrones ordinarios de clima en la vertiente Atlántica de los países tropicales (Borrón 2006). Por lo tanto, la resiliencia de los sistemas agroforestales con cacao, está siendo puesta a prueba debido a la sensibilidad del cultivo a los cambios bruscos en múltiples factores climáticos como: el fotoperiodo, las precipitaciones, la sequía, la temperatura y la evapotranspiración (Bae *et al.* 2008).

La proliferación acelerada de plagas y enfermedades del cacao es otra consecuencia palpable del cambio climático, y actualmente, son pocos los estudios que han determinado la existencia

de cambios fisiológicos en la interacción hospedero-plaga. Un ejemplo es el citado por Bos *et al.* (2007), quienes reportaron un incremento en las infecciones patógenas y ataques de insectos en cacao bajo sombra por causa de las variaciones en el clima.

El Centro Agrícola de Turrialba inició en 2009 un proyecto para impulsar la producción de cacao en dicho cantón cartaginés. Actualmente existen 38 productores, los cuales han visto reducidas sus cosechas durante 2015. Tal es el caso de la finca de Cacao Cántaro en Pavones de Turrialba, un proyecto de cacaocultura familiar en proceso de certificación orgánica donde en 2015 se reportó una baja en la productividad de algunas variedades de hasta el 70% respecto a la cosecha de 2014 (Studt, N. Comunicación personal. 2015).

Identificar las causas de la baja en la productividad de los cacaotales no es fácil ya que se cuenta con poca información para ello. El Centro Agrícola carece de datos climáticos y de evaluaciones de campo que permitan dilucidar dichas causas (Studt, N. Comunicación personal. 2015). Sin embargo, con base en un sondeo preliminar mediante entrevistas telefónicas realizado en el marco de la presente investigación, se confirmó que un 84% de los productores (n=38) han notado incrementos en las poblaciones de hormigas y pulgones (*Toxoptera aurantii* Boyer de Foscolombe). Además, el 100% de los entrevistados no ha encontrado formas efectivas de combate para dichos insectos.

La alta incidencia de áfidos y hormigas en los botones florales de los árboles de cacao podría ser consecuencia de las condiciones climáticas que se reportaron el año anterior en la zona. De acuerdo con el historial de datos meteorológicos del CATIE, el 2015 fue el año más cálido del que se tenga registro en Turrialba desde 1942. Además, ha sido un año con más precipitaciones que las registradas en 2014 (Molina, A. Comunicación personal. 2014).

El papel desempeñado por las hormigas en el cultivo de cacao merece ser estudiado con detenimiento Urueta (1975). Aunque un gran número de especies de la familia Formicidae pueden actuar como depredadoras de otros insectos, también pueden ser perjudiciales debido a que se asocian con ciertas plagas del cacao. Existen investigaciones que sugieren que los patrones de distribución de las especies dominantes de hormigas dentro de los cacaotales tienen influencia sobre la incidencia y severidad de las principales plagas y enfermedades del cultivo (Majer 1975, Adenuga y Adeboyeku 1987). Goitia *et al.* (1992) compararon árboles de cacao donde se reportó la presencia de la hormiga *Azteca foreli* (Forel 1899) con árboles donde se excluyó a la hormiga y reportaron una reducción de un 42% en el número de flores polinizadas en comparación con los árboles desprovistos de dichos insectos.

Delabie y Fernández (2003) justificaron la existencia de asociaciones entre las hormigas y otros Hemiptera, la mayoría de ellos pertenecientes a Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha. Estos últimos emiten, a través del recto, gotas de un líquido azucarado conocido como ligamaza.

Esta sustancia, derivada de la savia, está asociada con los productos de los túbulos de Malpighi, y es una fuente rica y estable de nutrientes para las hormigas. Estos himenópteros necesitan este recurso para su colonia, eliminan el exceso de ligamaza de los áfidos y, por ende, les proveen protección frente a los enemigos naturales (parasitoides y depredadores) y a las infecciones fúngicas.

Lo anterior justifica la necesidad de conocer aquellas especies de áfidos y hormigas que colonizan las flores de los árboles de cacao en Costa Rica, ya que durante años se trabajó en la mejora genética del cultivo, pero se dejó de lado la investigación entomológica y, actualmente, se desconoce el impacto que tienen estos invertebrados sobre la productividad de los cacaotales nacionales. Al conocer la dinámica poblacional de los áfidos y las hormigas durante los periodos de floración del cacao, así como el efecto que tienen los patrones de clima sobre dichos artrópodos, sería posible identificar las causas que propician la proliferación de estos insectos, lo cual podría ser empleado como una herramienta para incrementar la resiliencia de agro-ecosistemas con manejo orgánico o en transición, como es el caso de Cacao Cántaro.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre el aborto de los cojines florales en híbridos de *Theobroma cacao*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, a nivel de género, los áfidos y hormigas que infestan los cojines florales de los árboles de cacao.
- Determinar el efecto de la presencia de áfidos, hormigas y su asociación sobre la pérdida de botones y flores en los árboles de cacao.
- Analizar el efecto de las variables climáticas (precipitación, temperatura y humedad) sobre las poblaciones de áfidos y hormigas que infestan los árboles de cacao durante el primer periodo de floración de 2016.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Cacao

El cacao es una planta autóctona de América y se encuentra distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, por lo que se desarrolla bien hasta los 20° de latitud en ambos hemisferios. De acuerdo con Bartley (2005), la región Amazónica de Sur América es la zona de distribución primaria del cultivo mientras que la zona de distribución secundaria del cacao se ubica en Mesoamérica (México y Centro América), así como en las islas del Caribe.

1.1 Descripción botánica y taxonómica

El género *Theobroma* fue descrito por Linnaeus, y junto con los géneros *Herrania*, *Guazuma* y *Cola* forman parte de la familia Malvaceae. El género está compuesto por 30 especies, pero *Theobroma cacao* es la más utilizada comercialmente (Toxopeus 1985). Esta especie es diploide, posee 20 cromosomas y ha sido subdividida en dos subespecies:

- *Theobroma cacao* spp. *cacao*: corresponde a las poblaciones criollas de Centro y Suramérica.
- *Theobroma cacao* spp. *spherocarpum*: incluye todas las otras poblaciones (Toxopeus 1985).

El cacao es umbrófilo; sin embargo, necesita condiciones especiales de luminosidad, temperatura y humedad (Arévalo *et al.* 2004). Los árboles alcanzan una altura que oscila entre 4 y 7 m, aunque en condiciones silvestres puede superar los 20 m de altura (Enríquez 2004).

Los árboles presentan un marcado dimorfismo de ramas. En las plantas que provienen de semilla se presenta un solo eje vertical ortotrópico cuyo crecimiento se detiene a una altura entre 1,0 y 1,5 m y emite en la parte superior entre tres y cinco ramas laterales con crecimiento plagiotrópico que forman la horqueta. Debajo de la horqueta brotan yemas ortotrópicas que forman nuevas horquetas, las repeticiones sucesivas de este proceso incrementan paulatinamente la altura del árbol (León 2000).

Las plantas obtenidas mediante técnicas de reproducción vegetativa (estacas o acodos) no poseen una raíz pivotante como ocurre con las provenientes de semillas, sino que desarrollan un sistema de raíces adventicias compacto (Mejía y Palencia 2000).

1.2 La flor

El cacao es una especie cauliflora, por lo que las flores se agrupan en inflorescencias llamadas cojines florales que aparecen sobre el tronco y las ramas principales en las posiciones axilares de las hojas. La flor es pentámera y sostenida por un pedicelo largo y fino de uno a tres centímetros de longitud. Posee cinco sépalos agudos de color blanco o rosado que se extienden en forma de estrella. La corola está formada por cinco pétalos blancos compuestos por una base cóncava en forma de concha y una lígula triangular, muy delgada en la base, ancha y cóncava hacia el ápice (León 2000).

Los pétalos poseen como característica distintiva líneas coloreadas en la parte interna que son llamadas líneas guía, pues se presume que facilitan la orientación de los insectos polinizadores hacia las anteras (Bartley 2005).

En el centro de la flor se ubica el tubo estaminal, formado por cinco estambres fértiles cortos y doblados hacia afuera donde se localizan los sacos polínicos, cada uno encerrado en la concha de un pétalo. Además, se encuentran cinco estaminoides agudos y en posición erecta, son de color pardo y con textura pubescente, miden entre cinco y seis milímetros de largo, se ubican alrededor del pistilo (León 2000). De acuerdo con Bartley (2005), estos órganos son estructuras especializadas características del género *Theobroma* que se han desarrollado como estambres estériles con la función específica de proteger el gineceo.

El ovario es un cuerpo ovoide, súpero y con cinco celdas en las que contiene entre 30 y 50 óvulos. El estilo es cilíndrico, de color blanco y se abre en la parte superior o estigma, en cinco ramas, algunas de las cuales permanecen cerradas (León 2000).

La intensidad de la floración puede variar considerablemente de acuerdo con el genotipo, aunque también es fuertemente influenciado por factores ambientales (Bartley 2005). Según León (2000), del total de flores, menos del 5% es fecundado y produce fruto, lo cual se debe a la autoincompatibilidad de las plantas y a que los mecanismos de polinización tienen poca eficiencia por la influencia de los agentes polinizadores, la estructura de la flor y su biología.

1.2.1 Biología de la floración

Cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables hay floración durante casi todo el año. Sin embargo, hay periodos de floración máxima y mínima fácilmente distinguibles, pero se carece de información precisa acerca de los factores que controlan la periodicidad de la floración (Hardy 1961).

La polinización se efectúa únicamente por medio de insectos. Según datos provenientes de investigaciones sobre cruzamientos, la estructura de la flor es tal que solamente ciertos insectos pueden polinizarla de forma efectiva, y la mayoría son pequeños mosquitos, comenzando por ciertos géneros de Ceratopogonidae. Solamente una pequeña porción de las flores es polinizada e inicia el desarrollo de frutos (Lass 1985).

Si una flor no es polinizada se cae en el transcurso de 24 h y una característica notable de la planta en ciertas épocas es la gran pérdida de flores. Un árbol completamente desarrollado puede producir en un año más de 10 000 flores, de las cuales solo de 10 a 150 llegan a producir frutos maduros (Wood 1985).

Las flores se comienzan a abrir por la tarde y en las primeras horas de la mañana siguiente emiten polen y presentan estilos receptivos, pero la estructura de la flor parece impedir la autopolinización, pues las anteras recurvadas hacia fuera están rodeadas por las conchas de los pétalos y separadas del pistilo por los estaminoides (León 2000).

Según Wood (1985) la estructura de la flor y la adhesividad del polen excluyen la posibilidad de lograr la polinización por el viento; la falta de aroma o néctar y la estructura de la flor, con las anteras ocultas en los pétalos embolsados y el anillo de estaminoides que dificultan el acceso a los estigmas, no son características que faciliten la polinización mediante insectos. Sin embargo, los ácaros son atraídos al tejido carnoso y de color púrpura que forman los estaminoides y a las “líneas de guía” de las conchas de los pétalos de los cuales se alimentan.

El mecanismo de incompatibilidad presente en el cacao hace que en ciertas plantas el polen forme el tubo polínico, pero sin llegar a fecundar los óvulos, esta incompatibilidad puede ser total o parcial. Los tipos de cacao Trinitarios son en su mayoría auto-incompatibles, pero se fecundan con polen de árboles compatibles. Los cacaos Amazónicos son también en su área de origen, pero conforme se alejan de ella, disminuye el grado de incompatibilidad. Estas diferencias hacen necesario tener en una plantación, árboles con distintas clases de compatibilidad (León 2000).

1.3 Diversidad genética

La diversidad genética de las poblaciones de cacao es tan amplia que incluía tres especies distintas: *Theobroma cacao* que agrupa a los Criollos, *Theobroma pentagona* llamados Lagarto y *Theobroma leiocarpa* conocidos como Calacillo (León 2000). Además, existen otras especies que no se cultivan en áreas grandes pero que tienen valor por el uso doméstico que se les asigna en algunos países o regiones, tal es el caso de *Theobroma bicolor*, *Theobroma angustifolium*, *Theobroma grandiflorum* y *Theobroma gileri* (Moreno et al. 1983).

La clasificación del cacao con valor comercial más aceptada diferencia las poblaciones de cacao de la siguiente manera:

- Criollos centroamericanos (*T. cacao* ssp. *cacao*)
- Forasteros amazónicos (*T. cacao* ssp. *sphaerocarpum*)
- Trinitarios (híbridos de los dos grupos anteriores)

1.3.1 Criollos

El centro de origen de este grupo es el Alto Amazonas. Los criollos fueron domesticados por los mayas y de acuerdo con Wood (1985) se subdividen en dos grupos: centro y suramericanos.

Según Moreno *et al.* (1983) este cacao se caracteriza por ser un árbol relativamente alto con ramas que forman ángulos muy agudos hacia arriba; los frutos son grandes y alargados, con cáscara rugosa, delgada y suave, con diez surcos bien marcados. Generalmente el extremo inferior del fruto es puntiagudo y a veces torcido. El color del fruto es verde o rojo antes de madurar. Cada mazorca puede contener entre 20 y 30 semillas de color crema o violeta y son más gruesas que las de los demás cacaos. A pesar de que se considera que este tipo de cacao es el que da el chocolate de mejor calidad a nivel mundial, hoy en día casi no se cultiva ya que son poco vigorosos, con baja productividad, susceptibles a enfermedades y se desarrollan muy lento (Toxopeus 1985).

1.3.2 Forasteros

Este grupo tiene su origen en el Amazonas e incluye poblaciones silvestres, semi-silvestres y cultivadas. Estos se caracterizan por sus mazorcas verdes que al madurar se tornan amarillas, su cáscara es lisa y extremadamente dura, cada mazorca tiene más de 30 semillas de color violeta oscuro o púrpura de forma aplastada (Toxopeus 1985). Este grupo de cacao es el que más se cultiva a nivel mundial por ser árboles muy vigorosos y por poseer resistencia a varias enfermedades (Lanuad *et al.* 2000).

1.3.3 Trinitarios

Este grupo es el resultado del cruzamiento natural entre los tipos criollos y forasteros (Wood 1985). Según Toxopeus (1985) los trinitarios tienen características intermedias entre estos

grupos, y no se encuentran en estado silvestre, el primer cruce que fue encontrado en Trinidad dio árboles muy vigorosos, productivos y resistentes, estas características continuaron por unas pocas generaciones, pero en generaciones posteriores el vigor declinó.

La diversidad del trinitario fue estudiada por Motamayor *et al.* (2000) mediante la utilización de marcadores moleculares y determinaron que la mayoría de los trinitarios (UF, ICS, SCN) son muy heterocigóticos, lo cual coincide con el origen del híbrido; sin embargo, hay algunas otras poblaciones que muestran un alto grado de homocigocidad, debido posiblemente a un aislamiento geográfico.

1.3.4 Híbridos

Mejía y Argüello (2000) y Mejía (2008) describieron los siguientes híbridos de interés:

1.3.4.1 ICS 95

Originario de Trinidad y Tobago, desarrollada por el Imperial College Selection, presenta una arquitectura erecta, auto-compatibilidad, mazorcas rojas y amelonadas con semillas cilíndricas y violetas. Esta variedad puede llegar a producir 41 semillas/mazorca, 18 mazorcas/kg de cacao, 1,4 g/almendra, un promedio anual de 60 frutos por árbol, 3,2 Kg de semilla seca y fermentada/árbol/año. Este cultivar es tolerante a monilia y a escoba de bruja, pero susceptible a *Ceratocystis* sp., *Phytophthora* sp., y *Rosellinia* sp. Se recomienda una altitud que oscile entre 100-1200 msnm para esta variedad.

1.3.4.2 CCN 51

Variedad auto-compatible de origen ecuatoriano, desarrollada en la Colección Castro Naranjal del Ing. Homero Castro producto del cruzamiento entre el cultivar IMC 67 y el clon ICS 95, tiene mazorcas de rojas de forma elíptica con semillas cilíndricas y púrpuras. Este cultivar posee un potencial productivo de hasta 48 semillas/mazorca, 21 mazorcas/kg de cacao, 1,4 g/almendra, un promedio anual de 57 frutos por árbol, 2,5 Kg de semilla seca y fermentada/árbol/año. Este cultivar es tolerante tanto a *Ceratocystis* sp., como a escoba de bruja y monilia; no obstante, presenta susceptibilidad a *Phytophthora* sp.

1.3.4.3 IMC 67

Originaria de Perú y procedente del Iquitos Manaos Collection, esta variedad es auto-incompatible, tiene frutos verdes, amelonados con semillas púrpuras y de forma ovoide. Su potencial productivo puede alcanzar 42 semillas/mazorca, 21 mazorcas/Kg de cacao seco, 1,2 g/almendra, 57 frutos/árbol/año y un rendimiento de 2,6 Kg de cacao seco y fermentado/árbol/año. Este cultivar es tolerante a *Ceratocystis* sp., monilia y *Phytophthora* sp., pero susceptible a escoba de bruja y *Rosellinia* sp.

2. Plagas

Las plagas constituyen un importante factor de riesgo para los cultivos perennes como el cacao ya que pueden causar disminuciones en los rendimientos productivos. Debido a ello los productores tienen un control intensivo de plagas basado exclusivamente en aplicaciones calendarizadas de insecticidas (VIFINEX 2000), lo cual ha provocado una compleja problemática que comprende la resistencia de las plagas, la eliminación de enemigos naturales, la ineficiencia en los controles y los riesgos que existen para la salud humana (Madrigal 1995).

Una alternativa para solucionar este problema ha sido el surgimiento del MIP (Manejo Integrado de plagas) y el MAP (Manejo Agroecológico de Plagas) (Nicholls *et al.* 1999). Estas prácticas contribuyen a lograr un manejo generalizado de las plagas que afectan al cultivo con el fin de mantener las poblaciones de insectos por debajo de los niveles de daño económico (CAD 2003).

2.1 Áfidos

Los áfidos son insectos pequeños, del orden Hemiptera, que se alimentan del floema de las plantas. Se caracterizan por tener un par de sífúnculos; el rostro parece originarse entre las coxas anteriores; el último segmento de las antenas está dividido en una parte basal y una parte distal más angosta, dos segmentos tarsales; las alas anteriores presentan una sola vena longitudinal bien desarrollada, y ojos compuestos, cada uno con un tubérculo ocular de tres facetas (Voegtlin *et al.* 2003).

Los áfidos son más abundantes en regiones templadas y han desarrollado algunos ciclos de vida muy complejos con el fin de asegurar la supervivencia durante condiciones severas, tales como el invierno, y para aprovechar los cambios estacionales con la disponibilidad de plantas hospederas. Sin embargo, en el trópico no se producen períodos extendidos de temperaturas

frías, excepto a grandes altitudes, y las plantas verdes se encuentran disponibles durante todo el año. Estas condiciones permiten que los áfidos existan con un ciclo de vida muy simple, el cual consiste en la reproducción vivípara continua de las hembras, para dar origen a más hembras, sin que ocurra nunca la reproducción sexual, en un proceso llamado partenogénesis (Meneses 1990).

Muchas especies de áfidos que se encuentran en Costa Rica son originarias de zonas templadas, y aunque estas especies presentan un ciclo de vida holocíclico (con sexuales, machos y hembras ovíparas) en dichas regiones, en el clima tropical existen sin reproducción sexual (anholocíclicas) (Voegtlin *et al.* 2003).

2.2 Hormigas

Las hormigas son un grupo de himenópteros sociales de gran diversidad, actualmente se conocen alrededor de 11 500 especies descritas en todo el mundo; 3100 de ellas descritas en el neo-tropico, la cual constituye la región con mayor diversidad (Fernández y Sendoya 2004). De acuerdo con Rojas (2001), la diversidad funcional de las hormigas abarca un amplio espectro de gremios tróficos, y la asignación de una especie a una determinada categoría trófica no siempre es fácil, ya que las preferencias alimenticias pueden cambiar espacial y temporalmente en función de factores intrínsecos (necesidades energéticas de la colonia), extrínsecos (disponibilidad de un recurso en el ambiente) o ambos. No obstante, varios autores, entre ellos Longino y Hanson (1995), clasifican las especies de hormigas en omnívoras, micófagas, granívoras y depredadoras.

2.3 Relación áfidos-hormigas-hospedero

La mayoría de las especies de áfidos son monófagas u oligófagas, puesto que se alimentan sobre una o varias especies vegetales, respectivamente. Sin embargo, algunos son polífagos, capaces de alimentarse y desarrollarse sobre numerosas plantas. Desafortunadamente, muchas de las especies que son plagas presentan una gama de plantas hospederas muy amplia, y se alimentan sobre cientos de especies diferentes en muchas familias de plantas (Barbagallo *et al.* 1998).

Las infestaciones de los pulgones afectan fundamentalmente a la parte aérea de la planta, sobre todo hojas y brotes tiernos, su actividad alimenticia sobre las plantas conlleva la absorción de savia y la inyección de sustancias con la saliva. Esta acción combinada tiene efectos negativos de diferente naturaleza, tanto para el desarrollo de los órganos vegetativos, como para el metabolismo de la planta. Las sustancias inyectadas con la saliva tienen efectos

tóxicos que se traducen en alteraciones bioquímicas (liberación de aminoácidos) y morfológicas (deformaciones de los órganos infestados, entre otros), por lo que la infestación de las plantas con áfidos puede provocar daños de tipo directo o indirecto, los primeros se relacionan con la absorción de la savia y la inyección de saliva ya que ambos conllevan una disminución de la productividad de la planta, mientras que los segundos están asociados con la aparición de fumagina y la transmisión de enfermedades virales (Barbagallo *et al.* 1998).

Tanto los áfidos como las hormigas melívoras establecen relaciones entre sí que varían en intensidad y especificidad, generalmente interacciones de mutualismo. Estas se establecen en las plantas hospedantes de los áfidos, razón por la que Buckley (1987) propone considerarlas en un sentido ecológico amplio, como interacciones planta-homóptero-hormiga. Según este enfoque, distintos niveles tróficos participan de la interacción, incluyendo también los enemigos naturales de los insectos involucrados, los que a su vez se relacionan con la planta sobre la cual se establecen las interacciones.

Estas interacciones se establecen en determinados órganos de la planta infestados por los áfidos; pero se ha observado que no todos los brotes de la misma rama son colonizados por dichos insectos, ni todas las ramas de la misma planta, ni todas las plantas de la misma población. El significado cualitativo y el grado de especificidad, obligación y especialización para cada participante varían ampliamente entre las interacciones (Cushman y Addicott 1989).

Según Buckley (1987) las estrategias reproductivas de los áfidos y su vida relativamente corta, hacen que las interacciones planta-áfido-hormiga sean de particular interés para estudiar su evolución. Distintas especies de áfidos son atendidas por distintas especies de hormigas, por lo que Cushman y Addicott (1989) aseguran que los áfidos compiten por la atención de las hormigas, esta competencia también se establece entre familias distintas de Hemiptera.

Los áfidos obtienen alimento, hábitat y alelo-químicos de las plantas que colonizan; por ello estas plantas sufren diversos daños, entre los que se mencionan la destrucción de los tejidos, pérdidas de metabolitos y aumento de la incidencia de infecciones producidas por microorganismos patógenos transmitidos por los áfidos. Es de destacar la extracción de savia, aumento de pérdida de agua, disrupción de los patrones de translocación e inyección de toxinas, todo lo cual puede tener un significativo efecto sobre el crecimiento y reproducción de la planta. El extracto azucarado que es excretado por los áfidos puede estimular la proliferación de hongos en la planta hospedante (Miles 1987).

Debido al daño ocasionado por los áfidos a las plantas, ellas han desarrollado recursos defensivos frente al ataque de estos insectos. Estas defensas pueden ser físicas, tales como tricomas, secreciones viscosas o parénquima grueso alrededor de los tejidos vasculares. Pero también la química de la planta influye tanto en la selección de la planta hospedante por el

áfido. Los factores involucrados incluyen la cantidad de nitrógeno de la planta y el contenido de agua, como así también el rango de compuestos secundarios (Niemeyer1990; Dixon 1998).

Los factores abióticos del hábitat, por afectar la cantidad de agua y nitrógeno de la planta, pueden alterar la susceptibilidad de la misma al ataque de los áfidos. Las defensas físicas y químicas frecuentemente están combinadas. El desarrollo y reproducción de los áfidos también puede ser afectado por las hormonas de crecimiento de las plantas (Buckley 1987).

Según Dixon (1998), el crecimiento y reproducción de los áfidos depende del estado de su planta hospedante, la savia no es tan nutritiva cuando las plantas cesan su crecimiento y las hojas están maduras; por lo tanto, el alimento de los áfidos muestra variaciones marcadas de calidad tanto en el espacio (diferentes partes de la misma planta), como en el tiempo (distintos estados de crecimiento durante el ciclo estacional de la planta).

Algunas especies de hormigas depredan o atienden a ciertas especies de áfidos. Las defienden de predadores y parasitoides, incluso en algunos casos les proveen hábitats especializados para el desarrollo de sus colonias, a cambio reciben la ligamaza excretada por los áfidos (Sakata, 1994). En cualquier caso, los áfidos proveen de alimento a las hormigas, ya sea como presas o bien en forma de ligamaza que ellas recolectan y frecuentemente almacenan en sus hormigueros (Conway 1994).

Delfino y Buffa (2000) reportaron tres tipos de relaciones hormiga-áfido:

- Directo: las hormigas solicitan el melado a los áfidos mediante contactos físicos que provocan su liberación, o bien el mismo es eliminado espontáneamente y retenido en la zona anal del áfido hasta su recolección por las hormigas.
- Intermedio: las hormigas recogen el melado en las colonias sin solicitarlo o tomarlo directamente de los áfidos. No existe pasaje directo de melado desde el áfido a la hormiga, pero existe una coincidencia espacial y temporal entre productor y recolector.
- Indirecto: las hormigas recogen el melado depositado en las proximidades de las colonias, ya que los áfidos lo expulsan fuera del área ocupada por ellos. Si bien no existe una coincidencia espacial y temporal entre productor y recolector, a través del melado se establece una relación entre ellos que tal vez ha de influir en la interacción planta-áfido-hormiga considerada como un todo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

1. Localización de la investigación

La investigación de campo se realizó entre marzo y junio de 2016 en la finca de Cacao Cántaro en Pavones, Turrialba, Cartago, Costa Rica. La misma se ubica en la vertiente del Caribe, latitud 09° 55.536'N, longitud: 83°37.263'O, a una altitud de 729 msnm. Los valores anuales promedio de precipitación, temperatura y humedad relativa son 2479 mm, 21,7 °C y 87%, respectivamente (Barbera *et al.* 2004). La plantación de Cacao Cántaro tiene una extensión de 0,5 ha, se estableció hace siete años y posee doce híbridos diferentes de cacao; no obstante, el estudio tomó en consideración solo dos variedades, CCN51 e IMC 67.

2. Muestreo de áfidos y hormigas

El muestreo de áfidos y hormigas asociados a los árboles de cacao se llevó a cabo durante el periodo de floración que transcurrió entre febrero y marzo de 2016. Se inspeccionaron 24 árboles por variedad, 48 en total. En cada inspección se hizo una colecta de los diferentes morfotipos de áfidos y hormigas que se encontraban asociados a los cojines florales presentes en los tres principales ejes productivos de los árboles de cacao. Para facilitar la recolección de dichos artrópodos se utilizaron pinceles #0 para introducir los insectos en viales plásticos con una solución de etanol al 70%. Este proceso se realizó cuidadosamente para evitar daños físicos a los especímenes y la pérdida de apéndices de los insectos.

En la finca las muestras se recolectaron en viales, a cada uno se le colocó una etiqueta adhesiva en la cual se indicó, con marcador permanente, el número de árbol, la fecha de muestreo y el código de la variedad de cacao donde se encontró el insecto. Cada árbol fue etiquetado con el número de accesión para darle trazabilidad al muestreo. A los viales se les colocó un sello plástico en la tapa para evitar las pérdidas de alcohol, los mismos se conservaron en una hielera a temperatura ambiente para ser trasladados al Laboratorio de Entomología del INTA.

En el laboratorio se hizo una revisión detallada al estereoscopio de los especímenes colectados en la finca, los cuales fueron trasvasados a nuevos viales asegurando la presencia de un único morfotipo de insecto por vial, así como la misma procedencia (colecta en una misma variedad de cacao). Se excluyó del muestreo cualquier artrópodo distinto a los áfidos y las hormigas.

3. Identificación de insectos

Con ayuda de un estereoscopio se hizo una revisión detallada de cada uno de los morfotipos de insectos colectados en campo con el fin de asegurar la uniformidad de los individuos, de ser necesario los nuevos morfotipos se transfirieron a un nuevo vial siguiendo la nomenclatura descrita anteriormente.

Una vez clasificado por morfotipo, el material se empacó en tubos eppendorf transparentes de 1,5 ml de capacidad con una solución de etanol al 70%. De cada morfotipo se obtuvieron dos sub-muestras, una fue trasladada al Laboratorio de Entomología del INTA, Costa Rica y la otra a la Universidad de León y a la Universidad de Barcelona, España.

En el laboratorio del INTA, cada una de las hormigas se extrajo de la solución alcohólica para su respectivo montaje, luego permaneció en un proceso de secado con luz directa durante 1 h para fijar la posición deseada de cada una de sus estructuras. Finalmente, con ayuda de un estereoscopio LEICA M165C con capacidad de amplificación de hasta 12X, se obtuvo evidencia fotográfica de las principales estructuras anatómicas de cada uno de los insectos (antenas, aparato bucal, cabeza, tórax, abdomen y patas).

Las muestras enviadas a España las recibieron el Dr. Nicolás Pérez Hidalgo, quien realizó la identificación taxonómica de los áfidos y el Dr. Xavier Espadaler que lo hizo con las hormigas. Cada tubo llevó una doble identificación (tanto dentro como fuera del mismo) escrita con lápiz de grafito para evitar inconvenientes con la rotulación en caso de que ocurriera algún derrame de alcohol. A su vez, se proporcionó una base de datos donde se indicó en qué variedad de cacao se colectaron dichos insectos, así como la ubicación del árbol dentro de la plantación.

4. Efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre la pérdida de flores de cacao

Para evaluar el efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre la pérdida de los cojines florales del cultivo, se estableció un experimento desde semana 14 hasta la 30, dicho periodo transcurrió durante los meses de abril a julio de 2016. El diseño experimental fue completamente al azar (DCA), con doce repeticiones por tratamiento. El experimento se repitió por igual en cada variedad de cacao (CCN 51 e IMC 67) con el fin de incrementar la cantidad de repeticiones en el ensayo. La unidad experimental correspondió a un árbol de cacao y se emplearon 48, en total.

Se estableció un experimento factorial con dos factores (áfidos y hormigas) y dos niveles para cada factor (presencia y ausencia). Por lo que se evaluaron cuatro tratamientos, los cuales se describen a continuación:

- T1: control sin insectos
- T2: árboles con áfidos, sin hormigas
- T3: árboles con hormigas, sin áfidos
- T4: árboles con áfidos y hormigas

En los árboles desprovistos de insectos (T1), se hicieron aplicaciones mensuales del insecticida Regent 20 SC® (i.a fipronil) a una dosis de 0,5 mL/L. Las aplicaciones se realizaron durante las primeras horas de la mañana ya que durante dicho periodo disminuye la intensidad del viento, con boquillas anti-deriva y se utilizaron barreras de plástico para evitar que dichos insumos afectaran los árboles correspondientes a otros tratamientos.

A los árboles correspondientes a los tratamientos 1 y 2, se les colocó tela agrícola cubierta por una barrera plástica con pegamento en la base del tallo (Figura 1), lo más cerca del suelo posible. Dicha barrera se colocó de acuerdo con lo descrito por Piñol *et al.* (2009) durante semana 15 de 2016, las barreras plásticas fueron sustituidas por barreras nuevas cada dos semanas. Los árboles del tratamiento dos no fueron aplicados con insecticida, en los casos en que fue necesario se realizó la remoción manual de las hormigas que se encontraban en la parte aérea de dichos árboles.

La remoción de los áfidos en los árboles identificados como T3 se realizó mediante la aplicación recurrente de detergentes neutros sin olor (Irex agroindustrial). Si se encontraron áfidos en las flores de los árboles durante el proceso de evaluación, estos se removieron manualmente con un pincel #0. En el tratamiento 4 únicamente se marcaron los árboles a los que se les dio seguimiento.

Se registraron las labores asociadas al manejo de la plantación, en las cuales fue primordial la realización de podas de rebrotes en los árboles de forma quincenal y se aseguró la independencia de cada uno de los principales ejes productivos de los árboles de tal forma que no se traslaparan con ramas de árboles vecinos, esto con el fin de reducir el riesgo de movilización de insectos por esta vía. Se procuró que la sombra de la plantación no excediera el 50%.



Figura 1. Barrera plástica con pegamento para reducir el riesgo de la llegada de las hormigas a los cojines florales.

5. Variables a medir

5.1 Pérdida de cojines florales: causas

En todos los árboles marcados se seleccionaron los principales ejes de producción, y durante el desarrollo del estudio se llevó un inventario de forma quincenal donde se indicó la cantidad de flores emitidas, flores infestadas con áfidos, hormigas o ambos, esto con el fin de estimar cuántas flores abortaron y cuántas fueron polinizadas bajo cada condición. El inventario de flores abortadas tendrá un recuento diferenciado para aquellas que estaban infestadas con insectos y para las flores que se perdieron por otras causas (infecciones microbianas, entre otros).

5.2 Datos climáticos

Se dio seguimiento a las variables climáticas de la zona mediante el registro de las precipitaciones (mm), temperatura (máxima, mínima y promedio diario) y humedad relativa (%) de acuerdo con la información recopilada a diario por la estación meteorológica del CATIE, Turrialba.

5.3 Monitoreo poblacional de áfidos y hormigas

Las poblaciones de áfidos se monitorearon semanalmente, mientras que las hormigas se monitorearon cada dos semanas desde semana 14 hasta la 30 de 2016 sobre los árboles seleccionados para determinar el efecto de la presencia de estos insectos sobre los inventarios de floración.

El monitoreo de áfidos se realizó mediante el recuento semanal de botones y flores infestados con estos insectos; además se empleó la escala disponible Figura 2 para medir la severidad de la infestación.

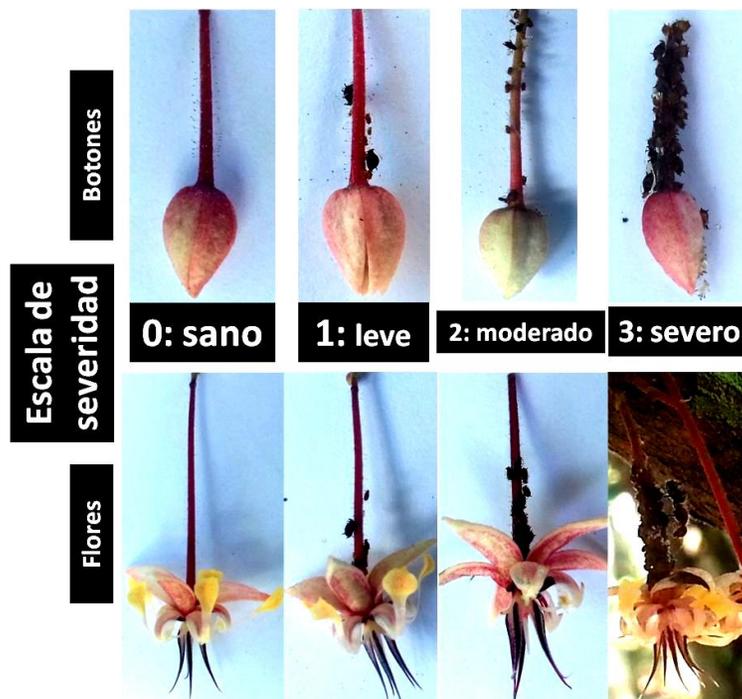


Figura 2. Escala de empleada para evaluar la severidad de los ataques de *T. aurantii*.

El monitoreo de las hormigas se realizó mediante la colecta dirigida de los especímenes situados sobre o en los alrededores de las estructuras florales de los principales ejes productivos de los árboles. Para ello, se empleó un aspirador con motor marca Stihl, en el cañón de aire del equipo se introdujo una bolsa de malla anti-áfidos, la cual se sujetó del

orificio del cañón con una liga gruesa. El aspirado de los ejes productivos de los árboles nunca excedió los cinco minutos por árbol y se hizo dirigido hacia las estructuras florales (Figura 3).

El muestreo se llevó a cabo en todos los tratamientos de las dos variedades de interés. Al concluir el mismo se introducía una etiqueta plástica dentro de cada bolsa, las mismas eran cerradas de forma manual e introducidas en una hielera. Los insectos se trasladaron al Laboratorio 7 del Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular (CIBCM), de la Universidad de Costa Rica, ahí se introducían las bolsas al congelador por 20 min para inmovilizar las hormigas, luego se hacía una revisión al estereoscopio de las mismas para clasificarlas por género.



Figura 3. Sistema de aspirado para hormigas dentro del cacaotal.

6. Análisis de datos

Los datos fueron analizados con el software InfoStat versión 2014. Los efectos de la presencia de insectos sobre el aborto de los cojines florales se realizaron mediante el análisis de las interacciones entre los factores con un análisis de modelos lineales generales (GLM), mientras que el efecto de las variables climatológicas sobre la incidencia de áfidos y hormigas en los cojines florales se analizó mediante correlaciones de Pearson.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Identificación taxonómica de áfidos y hormigas

En la finca se encontraron tres grupos de insectos: los áfidos (Aphididae), las zompopas (Formicidae: Myrmicinae) y las hormigas (Formicidae: Formicinae), siendo estas últimas las que reportaron mayor cantidad de especies asociadas a los cojines florales de los árboles de cacao muestreados. En el Cuadro 1 se detalla la descripción taxonómica de cada una de las especies identificadas.

Cuadro 1. Identificación taxonómica de los artrópodos de interés asociados a los cojines florales de los árboles de cacao.

Artrópodo	Identificación taxonómica
Zompopa	<i>Atta cephalotes</i> (L.)
Hormigas	<i>Camponotus novogranadensis</i> (Mayr) <i>Camponotus planatus</i> (Roger) <i>Camponotus fastigatus</i> (Roger) <i>Dolichoderus validus</i> (Kempf) <i>Ectatomma ruidum</i> (Roger)
Áfido	<i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe)

1.1. *Atta cephalotes*

Aunque a nivel taxonómico las zompopas se clasifican en dos géneros, *Atta* y *Acromyrmex*, la diferencia más visible entre ambos radica en que *Atta* posee dos filas de espinas en el tórax y un abdomen de superficie lisa (Anexo 1), mientras que *Acromyrmex* tiene tres filas de espinas en el tórax y un abdomen irregular y voluptuoso (Varón *et al.* 2008).

Mera (2011) determinó que la incidencia de zompopas en frutales se incrementa hasta en un 90% en la época lluviosa y, alrededor del 70% de los ataques causados por estos artrópodos son considerados de gravedad por los productores, principalmente porque el vuelo nupcial de las reinas coincide con el inicio de la época lluviosa, lo cual propicia un incremento en las poblaciones de estos artrópodos (Serrano *et al.* 2003).

Esto coincidió con el patrón observado en la plantación de Cacao Cántaro, donde la incidencia de *A. cephalotes* se incrementó sustancialmente a partir de junio. Cabe destacar que las precipitaciones durante el mes de mayo (245 mm) duplicaron las registradas en abril (126 mm), por lo que las condiciones de clima pudieron impactar las poblaciones de zompopas en dicho periodo (Anexo 8).

Además, las obreras de *A. cephalotes* causaron múltiples daños en los árboles, tal es el caso de la defoliación de las copas (Figura 4-A), la remoción de las flores (Figura 4-B) y la pérdida de frutos, ya que al alimentarse de la cáscara de la mazorca se abren orificios que propician la pudrición de las semillas inmaduras por mohos (Figura 4-C y D).



Figura 4. Daños causados por *A. cephalotes* en la plantación de cacao. A- Defoliación de la copa del árbol. B- Obreras de *A. cephalotes* cortando y transportando flores del árbol hacia el nido. C y D- Frutos dañados por las zompopas.

Aunque Varón *et al.* (2008) determinaron que en agro-ecosistemas cafetaleros con policultivo las zompopas infestaban más los árboles de sombra que las plantas de café, cabe destacar que el sistema de producción de Cacao Cántaro también se encontraba en asocio con árboles de

sombra y con musáceas y, por ende, esta no puede ser la única estrategia de manejo para estos artrópodos.

En este sentido, los monitoreos bisemanales de las poblaciones de hormigas determinaron que la incidencia de esta plaga se observó únicamente en árboles del tratamiento 4, donde no se llevó a cabo ninguna medida para restringir el acceso de insectos caminadores a los mismos, por lo que el sello plástico con pegamento empleado en los tratamientos 1 y 2 podría ser una excelente herramienta de control físico para esta plaga.

1.2. *Camponotus* spp.

En la plantación se logró identificar tres especies distintas del género *Camponotus*. De acuerdo con lo reportado en el Cuadro 1, se encontraron *C. novogranadensis*, *C. planatus* y *C. fastigatus*. En general, estas hormigas se caracterizan por presentar el tórax dispuesto en forma de arco convexo y, el pedicelo que poseen entre el tórax y el abdomen, suele estar formado por un único segmento; además, sus antenas se doblan formando un ángulo de 90° y se insertan lejos del borde posterior del cípeo (Branstetter y Sáenz 2012).

Si bien es cierto estas especies son arbóreas y se les llama “constructoras” por hacer sus nidos en ramas y troncos de madera (Vásquez 2011), suelen alimentarse de las excreciones azucaradas de los áfidos y de otros hemípteros, aunque algunas especies se consideran forrajeras, este género tiene preferencia por los carbohidratos de la ligamaza (Oliveira *et al.* 2003). Por ende, cobran especial importancia en la presente investigación.

De acuerdo con MacGown (2010), *C. novogranadensis* suele confundirse con *C. planatus* ya que ambas especies son de color oscuro y no exceden los 5 mm de longitud. Sin embargo, *C. novogranadensis* es de color negro, posee antenas color marrón, el cípeo se encuentra por encima de las mandíbulas y posee una cresta, la cual está ausente en *C. planatus*, el mesosoma de *C. novogranadensis* está cubierto por pelos largos y semi-dispersos, mientras que *C. planatus* tiene esta estructura densamente cubierta de pelos cortos y erguidos (Anexos 2 y 3). Las especies mencionadas anteriormente, así como *C. fastigatus* (Anexo 4) se encontraron estrechamente asociadas a las poblaciones de áfidos que infestan las flores de cacao (Figura 5).



Figura 5. Obreras del género *Camponotus* spp., asociadas a los áfidos presentes en los cojines florales de los árboles de cacao.

En las parcelas experimentales, las poblaciones de *Camponotus* spp., se centraron en aquellos árboles desprovistos de la barrera con pegamento, lo cual facilitó su establecimiento. No obstante, los ciclos bisemanales de poda, las aplicaciones de detergente para eliminar los áfidos de los árboles pertenecientes al tratamiento tres, así como el método extractivo para monitorear la población de hormigas pudieron propiciar una baja en la población de estos individuos a través del tiempo (Figura 6).

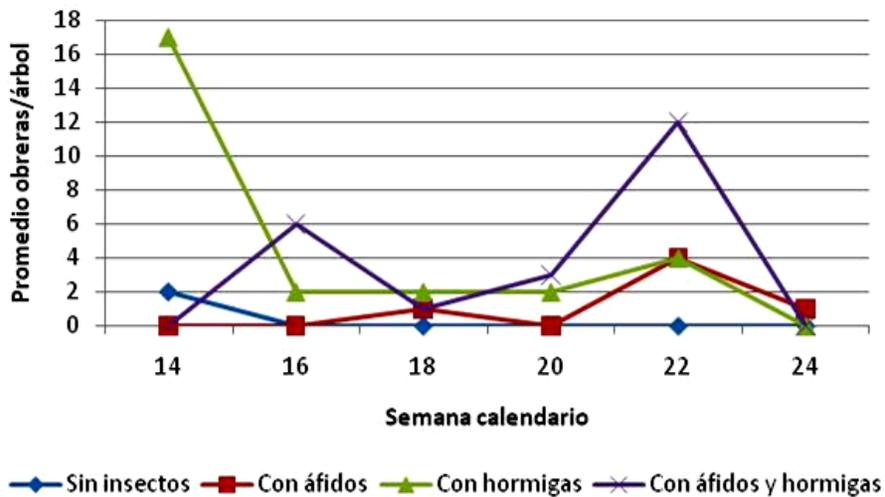


Figura 6. Fluctuación poblacional de las obreras de *Camponotus* spp., según el tratamiento aplicado a los árboles de cacao.

1.3. *Dolichoderus validus*

Estas hormigas pertenecen a uno de los géneros más conspicuos en los ecosistemas tropicales y uno de los más comunes dentro de la subfamilia Dolichoderinae. Las hormigas del género *Dolichoderus* tienden a ser medianas, la longitud corporal de las obreras no excede los 15 mm y se caracterizan por tener un tegumento grueso e inflexible (Branstetter y Sáenz 2012).

La sutura longitudinal en la placa central del metatórax tiende a estar profundamente hundida. El primer segmento abdominal (propodeo) tiene la cara posterior cóncava. Además, presentan el ápice del gáster con hipopigio simple y formando un margen posterior liso. El ano es una hendidura horizontal en lugar de una abertura circular y está rodeado por pelos erectos bastante rígidos (Andrade *et al.* 1996).

De acuerdo con Ortiz y Fernández (2011), las obreras de *D. validus* poseen espinas pronotales largas y ligeramente levantadas, su nodo peciolar disminuye gradualmente hacia la punta hasta llegar a formar una aguja (Anexo 5), suelen buscar y atender diversos grupos de insectos chupadores como los áfidos y las cochinillas, ya que se alimentan de la ligamaza excretada por estos artrópodos, así como de los estados inmaduros de los mismos.

En su mayoría, estas hormigas son arbóreas y omnívoras, se encuentran tanto en zonas boscosas como en ambientes perturbados, suelen compartir su hábitat y su nicho ecológico con otras especies del género *Camponotus* spp. Las obreras de *D. validus* suelen buscar y atender diversos grupos de insectos chupadores como los áfidos y las cochinillas, ya que se alimentan de la ligamaza excretada por estos insectos, así como de los estados inmaduros de los mismos (Bolton 2003).

Tal y como se observa en la Figura 7, las colonias de estas hormigas pueden ser de diferentes tamaños, las mismas anidan en distintos sitios como el suelo, la hojarasca o los tallos huecos de los árboles. Al masticar la madera logran formar estructuras sólidas en mezcla con las secreciones del aparato bucal de las hormigas y, esta es la materia prima principal para la construcción de los nidos.



Figura 7. Nidos de *D. validus* en ramas y frutos dentro del cacaotal. A y B- Nido de *D. validus* en las ramas del árbol. C- Nido de *D. validus* sobre un fruto de cacao.

De acuerdo con los datos que se observan en la Figura 8, la población de *D. validus* presente en los árboles del tratamiento uno, se erradicó después de la semana 14 con la aplicación del insecticida Regent (i.a. fipronil), una segunda aplicación del producto se realizó en semana 18 para contener el brote de estos artrópodos; además, se intensificaron las podas y la dosificación de pegamento en la base de los árboles para mantenerlos libres de estos insectos. La persistencia de estas hormigas en los árboles del tratamiento 3 pudo estar estrechamente asociada a las bajas poblaciones de áfidos que permanecieron ahí.

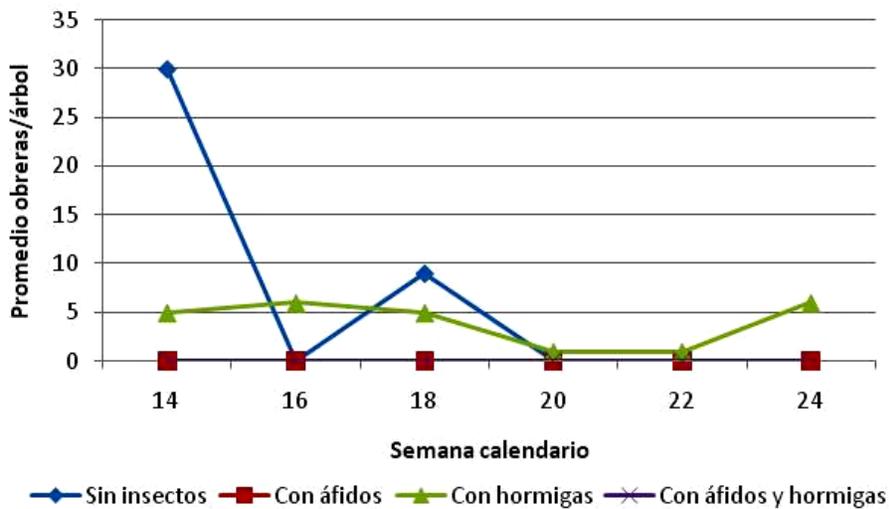


Figura 8. Fluctuación poblacional de las obreras de *D. validus* de acuerdo con el tratamiento aplicado a los árboles de cacao.

1.4. *Ectatomma ruidum*

Ectatomma es uno de los géneros más comunes en la región Neotropical. Esta especie es de tamaño medio, las obreras miden alrededor de 7-9 mm de longitud (Schatz *et al.* 1997). De acuerdo con Lachaud (1999) su cuerpo es de un color marrón o negro, con los apéndices ligeramente más claros. El cuerpo es grueso e irregular, pequeños vellos sobresalen en todo su exoesqueleto y las mandíbulas tienen un borde dentado (Anexo 6).

La anidación de esta especie se da en hábitats perturbados donde el suelo está expuesto al sol (Breed *et al.* 1999). Es abundante en bosques tropicales húmedos, secos, sabanas y áreas cultivadas, como las plantaciones de cacao (Santamaría 2009). Es una especie diurna y dominante (Vásquez 2012).

Lo anterior se confirmó con los monitoreos bisemanales de la población de hormigas en el área experimental. Si bien es cierto al inicio del ensayo todos los árboles reportaron altas poblaciones de *E. ruidum*, las aplicaciones de insecticida, así como los ciclos de poda y la colocación de las barreras con pegamento en los árboles disminuyeron paulatinamente la población de estas hormigas en los árboles de los tratamientos sin insectos, con áfidos y con hormigas. No obstante, en la mayoría de los muestreos se reportó *E. ruidum* en los árboles del

tratamiento 4 (con áfidos y hormigas), los cuales no fueron sujetos de ninguna estrategia para evitar que estos fueran infestados por insectos (Figura 9).

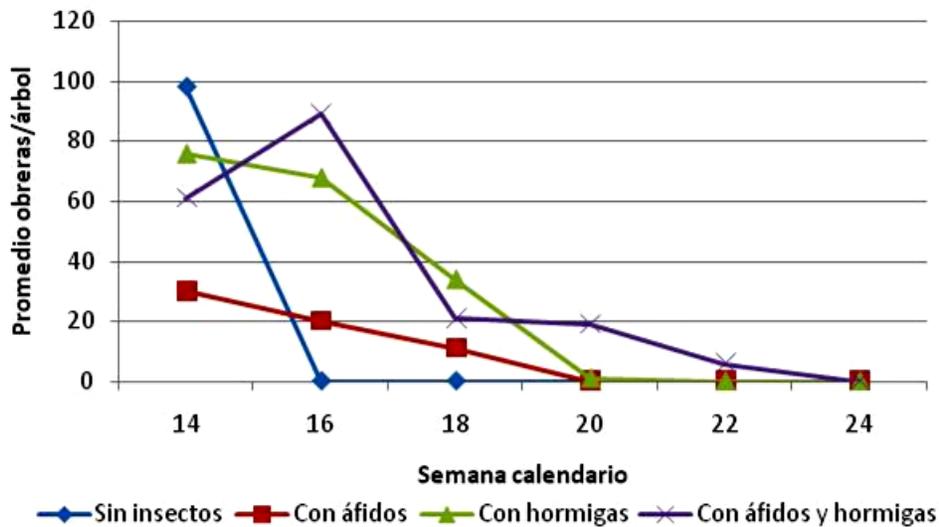


Figura 9. Fluctuación poblacional de las obreras de *E. ruidum* de acuerdo con el tratamiento aplicado a los árboles de cacao.

Se considera que estas hormigas son consumidoras generalistas (omnívoras) ya que no dependen únicamente de una fuente de alimento y son capaces de adaptarse a la variedad de los recursos disponibles, alimentándose principalmente de néctar e invertebrados pequeños (Passera 1994). Dentro de su organización social existen hormigas forrajeras que son azúcar-recolectoras (Schatz *et al.* 1996).

1.5. *Toxoptera aurantii*

T. aurantii es la única especie de áfido reportada en cacao en Costa Rica (Villalobos *et al.* 2010). Las hembras ápteras adultas son de color negro mate, con las antenas largas, sobrepasando la base de los sifones, con bandas alternas claras y oscuras (Silva y Perfecto 2013). Los individuos inmaduros son de color marrón oscuro (Anexo 7).

Morfológicamente se caracterizan por su cuerpo ovalado, con una longitud que oscila entre 1,2-1,8 mm, las antenas representan aproximadamente 0,75 veces el cuerpo y se caracterizan por ser imbricadas. Sifúnculos ligeramente más largos que la cauda, imbricados, estrechándose de la base hacia la punta, la cual es menor que la mitad del diámetro basal. La cauda es digitiforme, con 12-18 pelos. La vena media del ala anterior se encuentra bifurcada una vez. Tibias posteriores con una fila de ganchos cortos. Orificios abdominales debajo de la línea espiracular, con ancho esclerito cubierto por un fino borde dentado que forma celdas alargadas (Melia 1993, Voegtlin *et al.* 2003).

Esta especie se considera polífaga, presenta una amplia variedad de hospederos, en Costa Rica se han descrito más de 12 especies de importancia económica que son hospederos de este artrópodo (Villalobos *et al.* 2010). Las colonias de áfidos se ubican en el envés de las hojas, en los brotes más jóvenes y en las inflorescencias (Figura 10).



Figura 10. *T. aurantii* en árboles de cacao. A- Brotes infestados con áfidos. B- Botones infestados con áfidos. C- Flores infestadas con áfidos.

2. Efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre la pérdida de botones y flores de *T.cacao*

El ensayo se llevó a cabo durante el primer ciclo de floración del cultivo en 2016. Sin embargo, poco menos del 14,0% del total de botones emitidos por los árboles llegaron a ser flores viables y, de estas, solo un 5,4% se fecundaron (Figura 11). Por lo tanto, solo el 0,7% del total de botones emitidos se llegó a fecundar y, este indicador no contempló las pérdidas de mazorcas durante el lapso que transcurre entre la fecundación y la cosecha de la fruta.

Cabe destacar que la tasa de fecundidad reportada en el experimento es bastante alentadora si se compara con los reportes de los cacaotales de Bocas del Toro, Panamá, donde el porcentaje de flores fecundadas osciló entre el 2-4% en plantaciones con híbridos de cacao trinitarios que tenían ocho años de haber sido establecidas (Córdoba *et al.* 2013).

No obstante, la pérdida de cojines florales en Cacao Cántaro alcanzó el 94,6%, por lo que es necesario identificar las causas de esta condición para potenciar la productividad del cultivo.

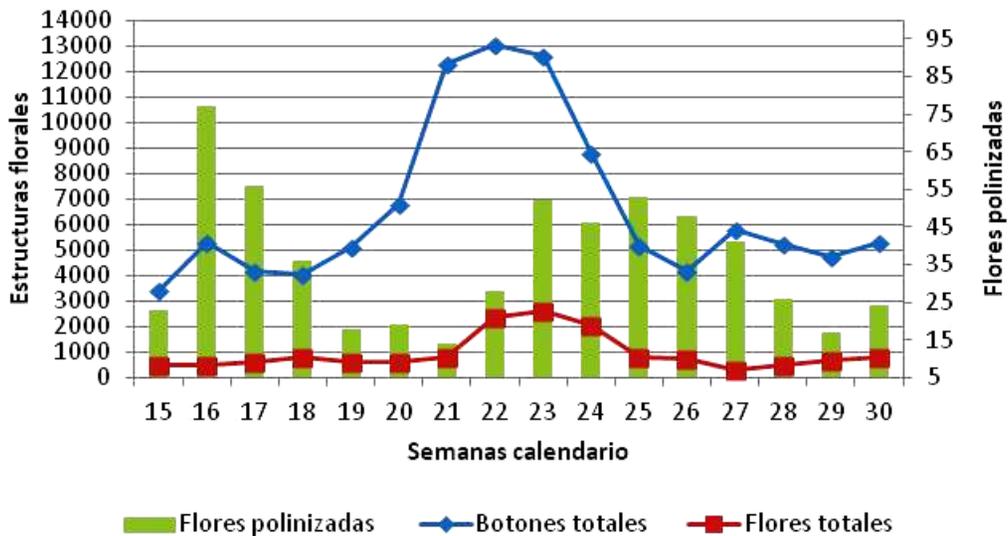


Figura 11. Curva de floración y polinización de *Theobroma cacao* durante semana 15 a 30 de 2016.

La viabilidad del polen y de los óvulos de las flores pareciera ser el factor que condiciona la senescencia de la flor o la fecundación de la misma (Mazeira 2013). Durante la primera temporada de floración de 2016, en Cacao Cántaro, alrededor del 60-65% de las estructuras florales se perdieron por fisiopatías, siendo la primera causa de pérdida de cojines florales.

Una vez que los botones alcanzaron la madurez fisiológica, se inició su apertura paulatina por la tarde del día cero, esta fase continuó durante la noche hasta que la flor completó el proceso de apertura al amanecer. Esta tuvo viabilidad para transferir polen a otros árboles o para ser fecundada; sin embargo, si estos procesos no ocurrieron en las primeras 48 h, las células reproductivas perdieron su viabilidad y las flores entraron en un proceso de senescencia (CONABIO 2013).

De acuerdo con la Figura 12, la segunda causa de pérdida de cojines florales fueron las enfermedades, causadas principalmente por *Phytophthora* sp., y *Moniliophthora roreri* (Anexo 9). Alrededor del 16% del total de botones emitidos durante el periodo en estudio se perdieron por dicha causa, mientras que el 21% del total de flores fueron infectadas por hongos fitopatógenos.

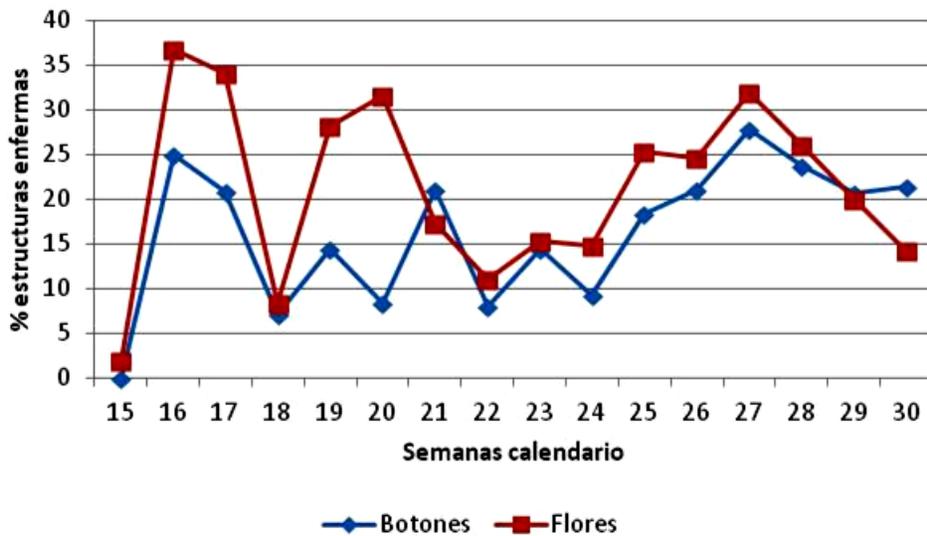


Figura 12. Incidencia de estructuras florales enfermas durante semana 15 a 30 de 2016.

La tercera causa de pérdida de los cojines florales radica en la presencia de artrópodos. Aproximadamente un 6,5% del total de estructuras florales emitidas durante el periodo de

evaluación del ensayo perdió su viabilidad por causa de los áfidos, las hormigas o la asociación entre ambos grupos de insectos. Los áfidos fueron la plaga predominante en las estructuras reproductivas de los árboles, durante el lapso en estudio la incidencia de éstos alcanzó un 6% en promedio (Anexo 10), en promedio, mientras que la incidencia de las hormigas no excedió el 0,5%; sin embargo, las poblaciones de estos himenópteros se veían reducidas cada dos semanas por los monitoreos realizados en los árboles (Anexo 11).

Cabe destacar que los artrópodos en estudio no mostraron preferencia por los botones o las flores, ellos infestaron ambas estructuras por igual. Sin embargo, los tratamientos aplicados a los árboles, así como el incremento en la tasa de floración lograron reducir sustancialmente la incidencia de estructuras florales infestadas durante las primeras cuatro semanas de evaluaciones (Figura 13).

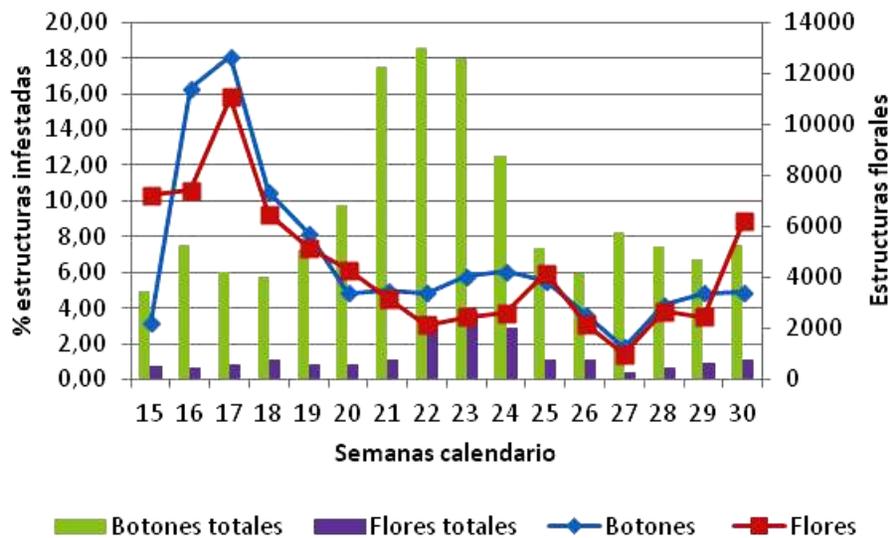


Figura 13. Estructuras florales infestadas con áfidos, hormigas o ambos artrópodos durante semana 15 a 30 de 2016.

En el Cuadro 2 se detallan los resultados del análisis estadístico del experimento, el mismo permitió determinar la significancia de cada uno de los factores en estudio y de la interacción de los mismos sobre la cantidad de estructuras florales afectadas por diferentes causas (insectos y enfermedades).

Las variables en estudio se determinaron tanto para los botones como para las flores viables. Según lo reportado en el Cuadro 2, el análisis de datos se aplicó al porcentaje de estructuras florales infestadas con áfidos, con hormigas, con áfidos y hormigas, al porcentaje de estructuras enfermas y al porcentaje de flores polinizadas.

Cuadro 2. Efecto de los áfidos, las hormigas y su asociación sobre las diferentes causas de pérdida de estructuras florales.

Factores	Probabilidad								
	% infestado con áfidos		% infestado con hormigas		% infestado con áfidos y hormigas		% enfermos		% polinizadas
	Botones	Flores	Botones	Flores	Botones	Flores	Botones	Flores	Flores
Áfidos	<0,0001	0,0064	0,4337	0,7921	0,2196	0,6295	0,2653	0,1594	0,5249
Hormigas	0,1247	0,7453	0,4968	0,0587	0,0041	0,0042	0,2601	0,8415	0,3479
Interacción	<0,0001	0,0229	0,6892	0,9799	0,6347	0,7808	0,4330	0,0306	0,1347

Valores remarcados presentaron significancia, $\alpha=0,05$.

Si bien el diseño de tratamientos estableció dos factores (áfidos y hormigas), los resultados del análisis consideraron en primera instancia la significancia de la interacción de dichos factores, en aquellos casos donde la interacción de áfidos y hormigas no fue significativa, se hizo la revisión respectiva de cada uno de los factores individualmente. Por lo tanto, las Figuras 14 a 22 incluyen una representación gráfica del efecto de cada uno de los niveles (con y sin) en los que se evaluó cada factor (áfidos y hormigas) en el experimento, así como su interacción sobre las variables de interés mencionadas anteriormente.

2.1. Botones florales

De acuerdo con el análisis de datos, se pudo afirmar con un 95% de confianza que el efecto de la interacción entre los artrópodos de interés fue significativo para el porcentaje de botones infestados con áfidos en todos los tratamientos. Según el gráfico de interacción áfido-hormiga, en árboles previamente infestados con áfidos, la ausencia de hormigas se tradujo en un incremento aproximado del 40% en la incidencia de botones infestados con los homópteros en estudio (Figura 14).

Lo anterior podría atribuirse al rol que cumplen ciertas especies de hormigas como *Camponatus* sp., *D. validus* y *E. ruidum*, cuyos hábitos de alimentación omnívoros podrían favorecer la depredación de ninfas de áfidos (Bolton 2003 y Passera 1994). Además, distintas especies del género *Camponatus* sp., son altamente dependientes de la ligamaza de los áfidos para satisfacer sus requerimientos alimenticios (Oliveira *et al.* 2003), de manera que su ausencia podría llegar a propiciar una mayor inversión energética de los áfidos en aspectos reproductivos (Delabie y Fernández 2003).

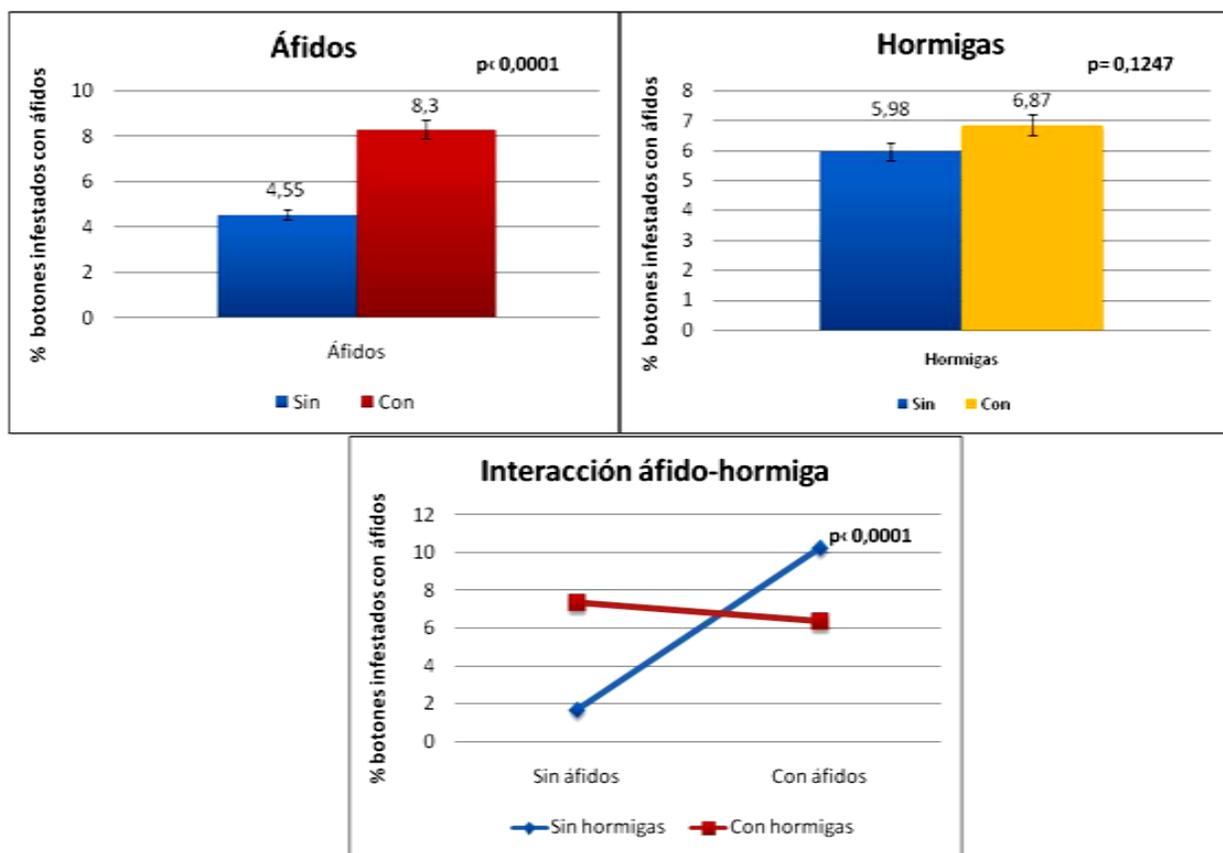


Figura 14. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones infestados con y sin áfidos.

La interacción áfido-hormiga no mostró significancia sobre el porcentaje de botones florales infestados con ambos grupos de insectos. El análisis independiente de cada factor determinó con un 95% de confianza que el efecto de las hormigas fue significativo para esta variable.

En aquellos árboles donde no se pusieron restricciones a la presencia de artrópodos, se encontraron diferencias en el porcentaje de botones infestados con áfidos y hormigas con respecto a aquellos árboles donde se emplearon estrategias de control físico y químico para dichos himenópteros.

Aunque la presencia de hormigas propició un incremento del 66% en la cantidad de botones infestados con ambos grupos de artrópodos, la incidencia de botones infestados con áfidos y hormigas no superó el 0,3% del total de botones infestados con artrópodos (Figura 15), lo anterior sugiere que las pérdidas ocasionadas por la asociación entre áfidos y hormigas son mínimas en comparación con otras causas de pérdida de estructuras florales, tal es el caso de las infestaciones causadas por áfidos (10%).

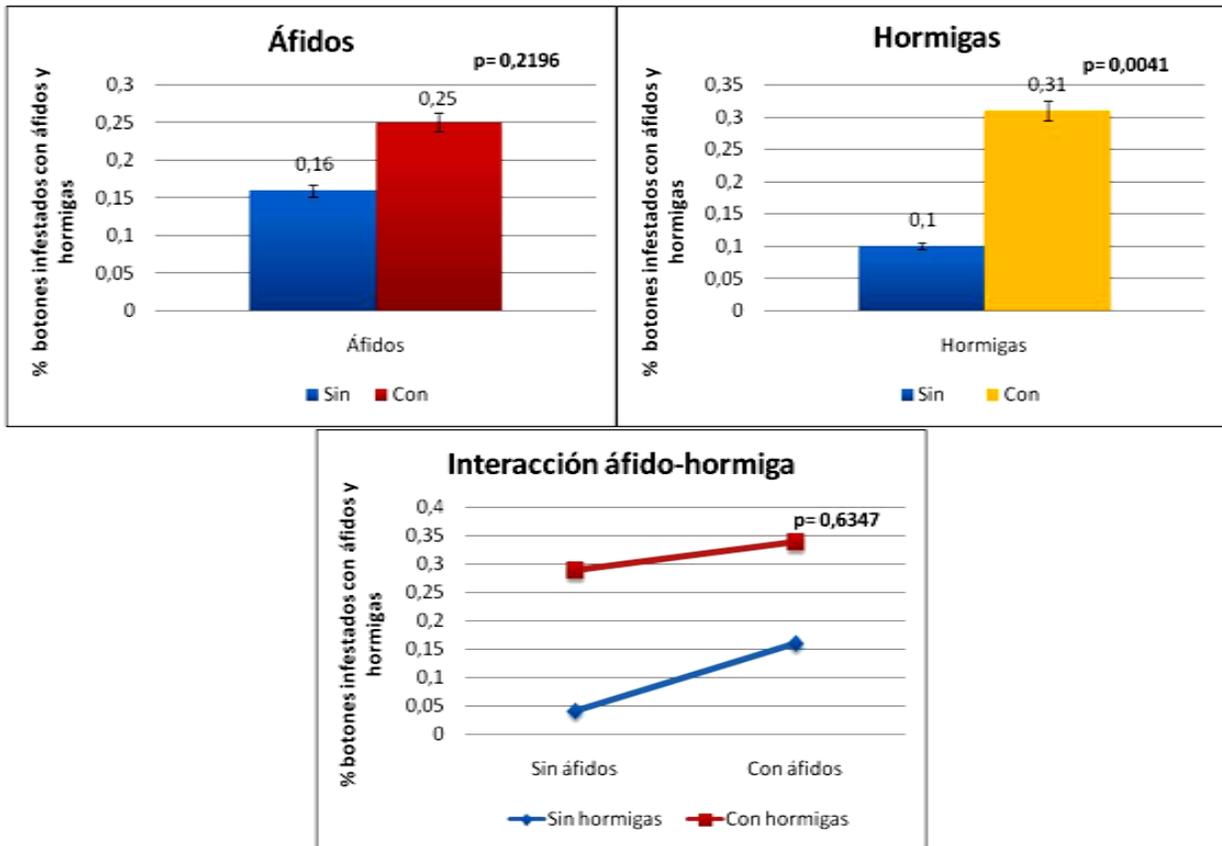


Figura 15. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones infestados con áfidos y hormigas.

De acuerdo con el análisis de datos, no se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que la interacción áfido-hormiga o alguno de los factores de manera independiente mostraron significancia sobre el porcentaje de botones infestados con hormigas (Figura 16).

El bajo porcentaje de botones infestados con hormigas podría atribuirse a la alta dependencia que tienen dichos himenópteros de los áfidos y otros homópteros, así como al método extractivo empleado para monitorear las poblaciones de hormigas. A su vez, en los árboles donde se efectuaron aplicaciones de surfactantes para minimizar las poblaciones de áfidos también se redujeron las poblaciones de hormigas.

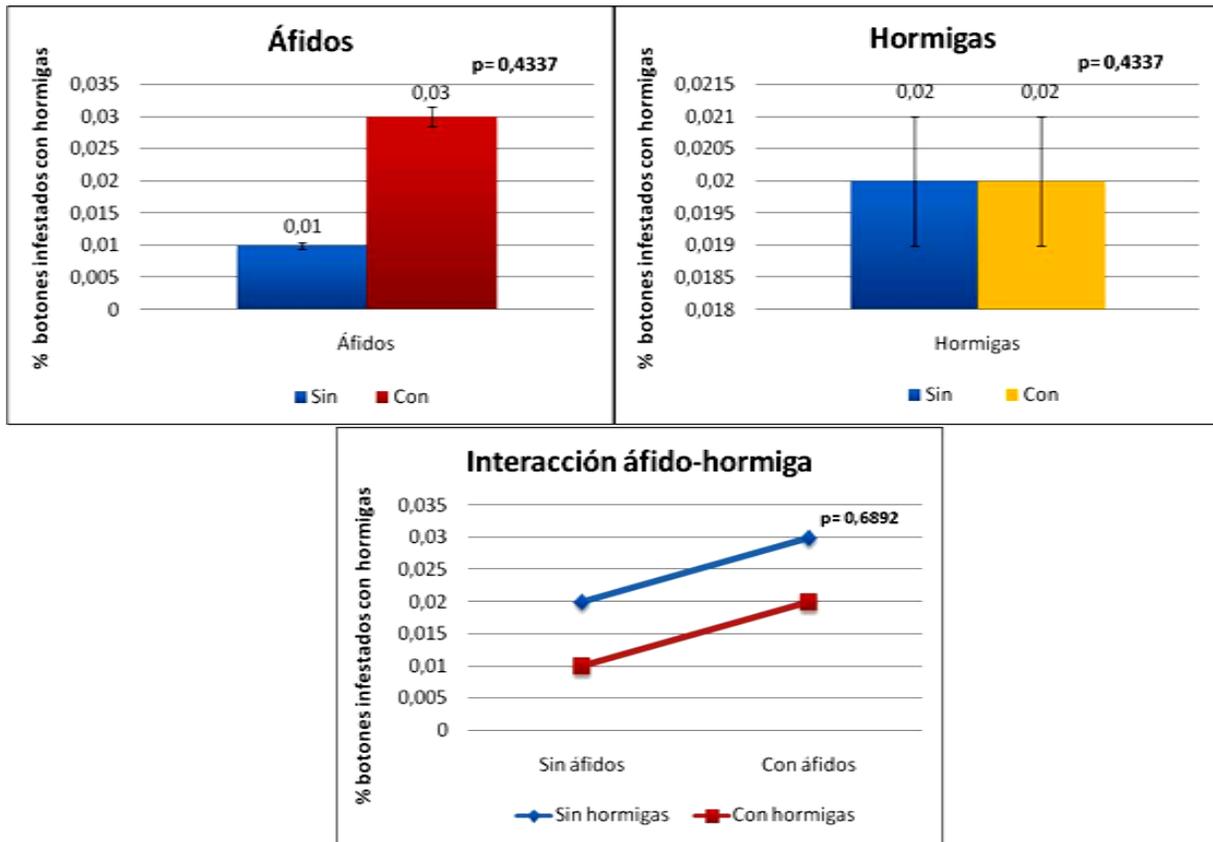


Figura 16. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones infestados con hormigas.

Aunque no se encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que exista significancia en la interacción áfido-hormiga ni en los factores de forma independiente para el porcentaje de

botones enfermos, los resultados obtenidos proporcionaron información relevante en términos epidemiológicos ya que las pérdidas de botones por microorganismos fitopatógenos no excedieron un 0,8% del total de botones emitidos por los árboles.

De acuerdo con la gráfica de interacción áfido-hormiga, en aquellos árboles desprovistos de áfidos, las poblaciones de hormigas lograron reducir la incidencia de enfermedades fúngicas en los botones florales hasta en un 50% en comparación con lo reportado en los árboles donde estos artrópodos se encontraban ausentes (Figura 17).

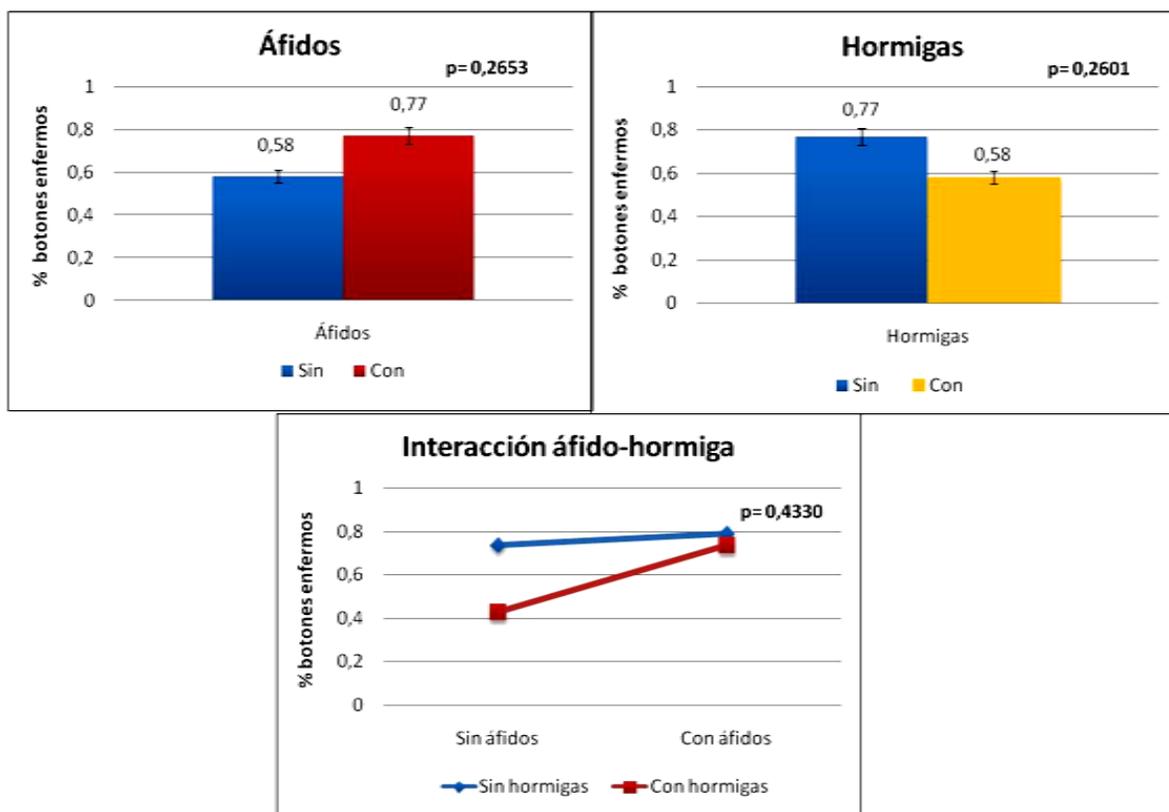


Figura 17. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de botones enfermos.

2.2. Flores

De acuerdo con el análisis de datos, se puede afirmar con un 95% de confianza que el efecto de la interacción entre áfidos y hormigas fue significativo para el porcentaje de flores infestadas con dichos hemípteros en todos los tratamientos. El gráfico de interacción áfido-hormiga demostró la existencia de una relación inversamente proporcional entre la presencia de hormigas en las flores y el incremento en la cantidad de estructuras infestadas con áfidos. En árboles infestados con áfidos, la ausencia de hormigas se tradujo en un incremento aproximado del 28% en la incidencia de flores infestadas con *T. aurantii*, lo cual representó entre un 5 y un 7% del total de flores viables (Figura 18).

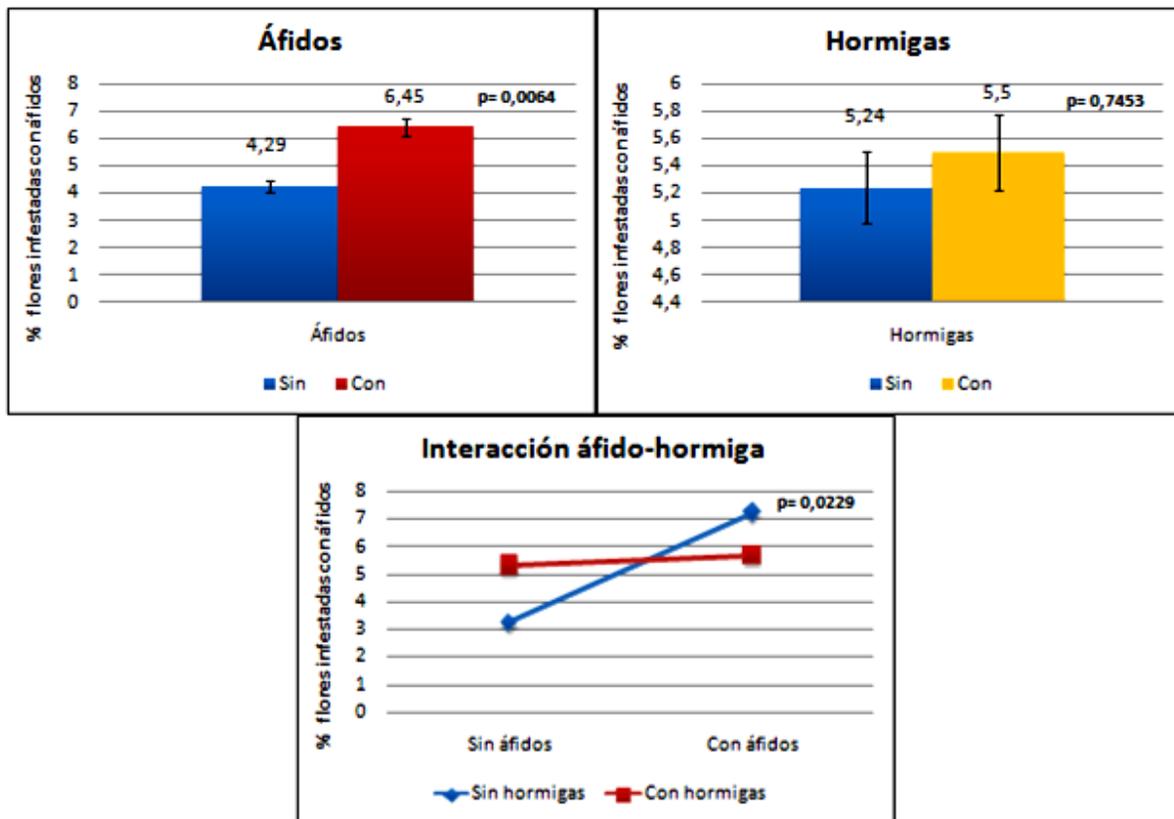


Figura 18. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores infestadas con áfidos.

La interacción áfido-hormiga no mostró significancia sobre el porcentaje de flores infestadas con ambos grupos de insectos. El análisis independiente de cada factor determinó con un 95% de confianza que el efecto de las hormigas fue significativo para esta variable (Figura 19).

En aquellos árboles donde no se pusieron restricciones a la presencia de estos himenópteros, se encontraron diferencias en el porcentaje de flores infestadas con la asociación entre *T. aurantii* y las hormigas con respecto a aquellos árboles donde se emplearon estrategias de control físico y químico para dichos insectos caminadores.

Aunque la presencia de hormigas propició un incremento aproximado del 80% en la cantidad de flores infestadas con ambos grupos de artrópodos, la incidencia de estructuras reproductivas infestadas con áfidos y hormigas no superó el 1,0% del total de flores infestadas con artrópodos (Figura 15), lo anterior sugiere que la asociación entre áfidos y hormigas no ocasiona pérdidas tan significativas como las registradas por *T. aurantii* en las flores (7%).

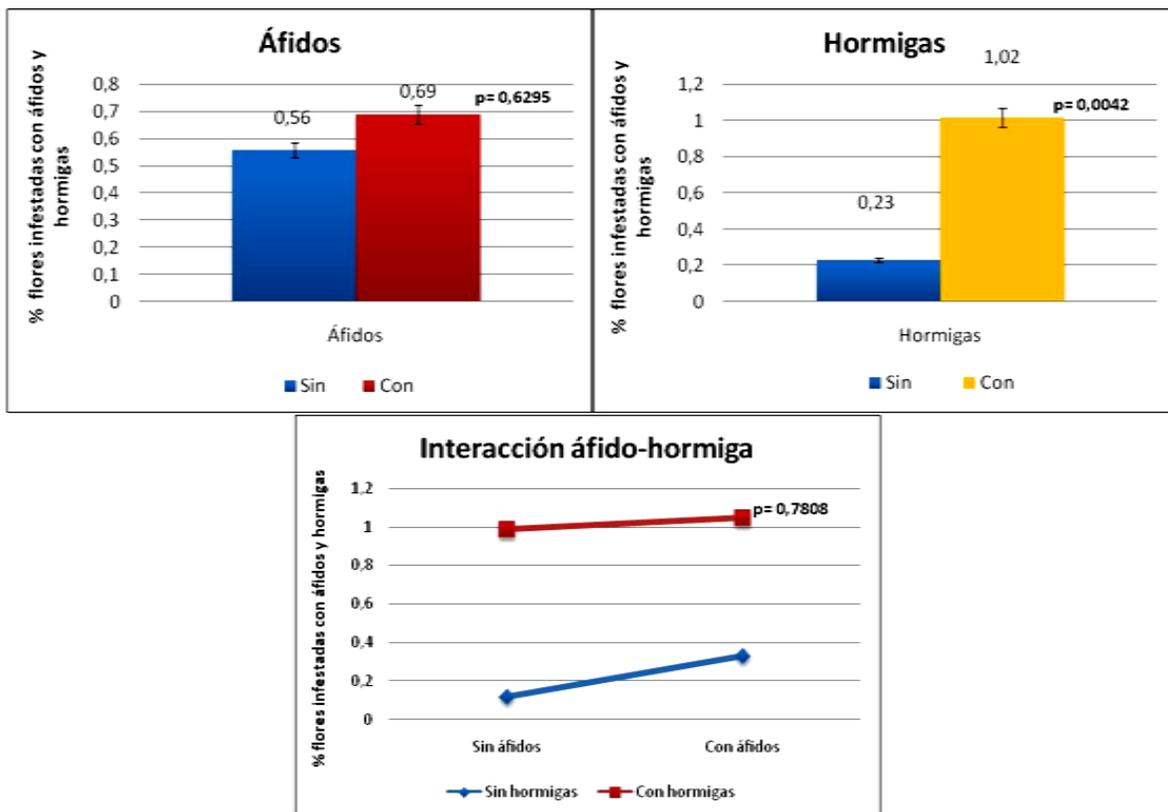


Figura 19. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores infestadas con áfidos y hormigas.

La cantidad de flores infestadas con hormigas no excedió el 0,3% del total de estructuras reproductivas infestadas con artrópodos, lo anterior se vio reflejado en el análisis estadístico de los datos, el mismo no reportó significancia para la interacción de factores, ni para estos cuando se analizaron de forma independiente (Figura 20).

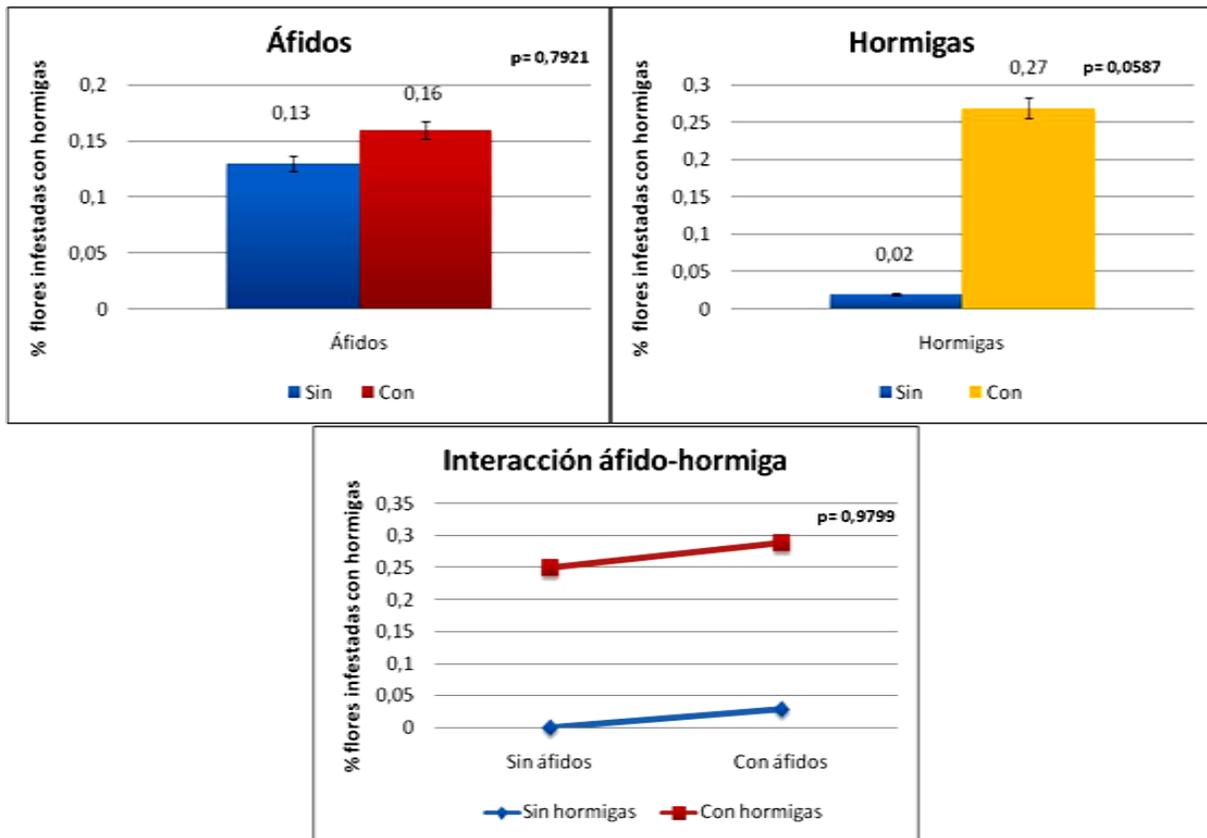


Figura 20. Efecto de cada uno de sus factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores infestadas con hormigas.

Si bien es cierto, la incidencia de infecciones causadas por hongos fitopatógenos se redujo un 5% en las flores de los árboles que se encontraban libres de áfidos y hormigas, esta condición no es habitual en Cacao Cántaro. Por lo tanto, los hongos fitopatógenos podrían estar infectando entre un 15-20% la cantidad de las flores viables disponibles en los árboles (Figura 21).

El análisis estadístico de los datos determinó que la interacción entre áfidos y hormigas fue significativa en términos del porcentaje de flores enfermas, lo anterior se desprendió de las tendencias observadas en la Figura 21 donde la presencia de *T. aurantii* en las flores favoreció un incremento en la tasa de infección de las mismas. Por el contrario, las hormigas contribuyeron con la reducción de este indicador, aún cuando estas se encontraban en asociación con *T. aurantii*.

Este dato cobró vital importancia ya que alrededor de un 20% de las flores viables se perdieron por causas patológicas, y la aplicación de insumos con actividad insecticida podría ser detrimental, no solo para las poblaciones de hormigas, sino para contribuir con el control de enfermedades fungosas. Lo anterior fue determinante para esclarecer dos de los múltiples servicios ecosistémicos que proveen las hormigas en el agroecosistema de Cacao Cántaro: la fitoprotección y el incremento en la tasa de polinización.

Sin embargo, Drenth y Guest (2013) reportaron que varias especies de hormigas de los géneros *Crematogaster*, *Iridomyrex*, y *Solenopsis*, dejan fragmentos de lodo infectado con *Phytophthora* sp., cuando suben por los troncos de los árboles. Considerando que el cacao presenta cauliflora, los esporangios de dicho oomiceto podrían germinar sobre los tejidos florales con relativa facilidad, principalmente porque estos últimos son más suculentos y blandos que la epidermis del tallo. En este sentido, el monitoreo de las poblaciones de hormigas es esencial para asegurar que dichos artrópodos no lleguen a favorecer el incremento de las pérdidas de flores por causas patológicas.

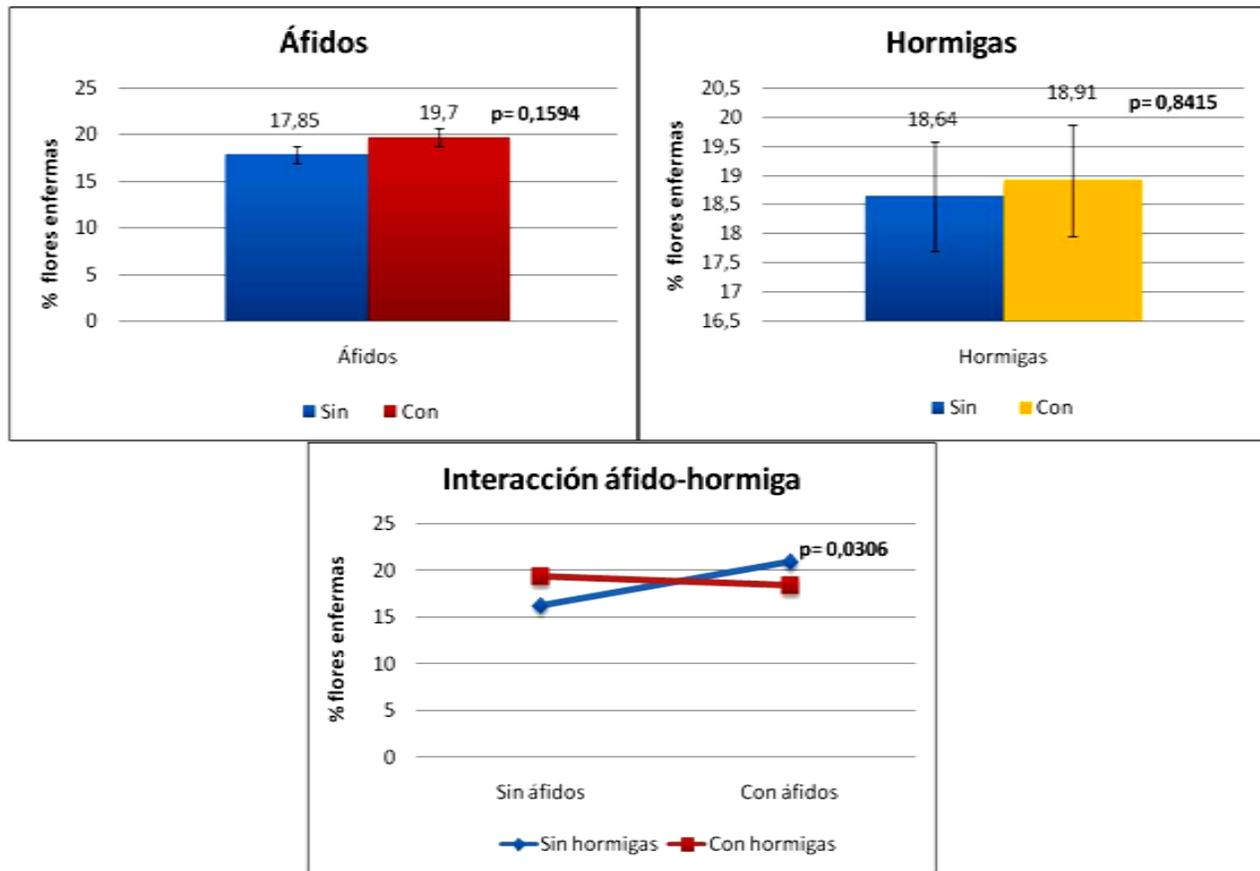


Figura 21. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores enfermas.

Continuando con la temática de los servicios ecosistémicos provistos por las hormigas, Grass *et al.* (2016) reportaron que diferentes organismos como estos himenópteros, las aves y los murciélagos inciden positivamente sobre la productividad de los sistemas agroforestales de cacao; aunque los beneficios en este sentido son muy variables y dependientes de múltiples factores, el análisis estadístico de los datos no encontró suficiente evidencia para afirmar que existan diferencias entre la cantidad de flores polinizadas en árboles con presencia de áfidos, hormigas o su asociación, y aquellos donde se aplicó insecticida para erradicar ambos grupos de artrópodos (Figura 22).

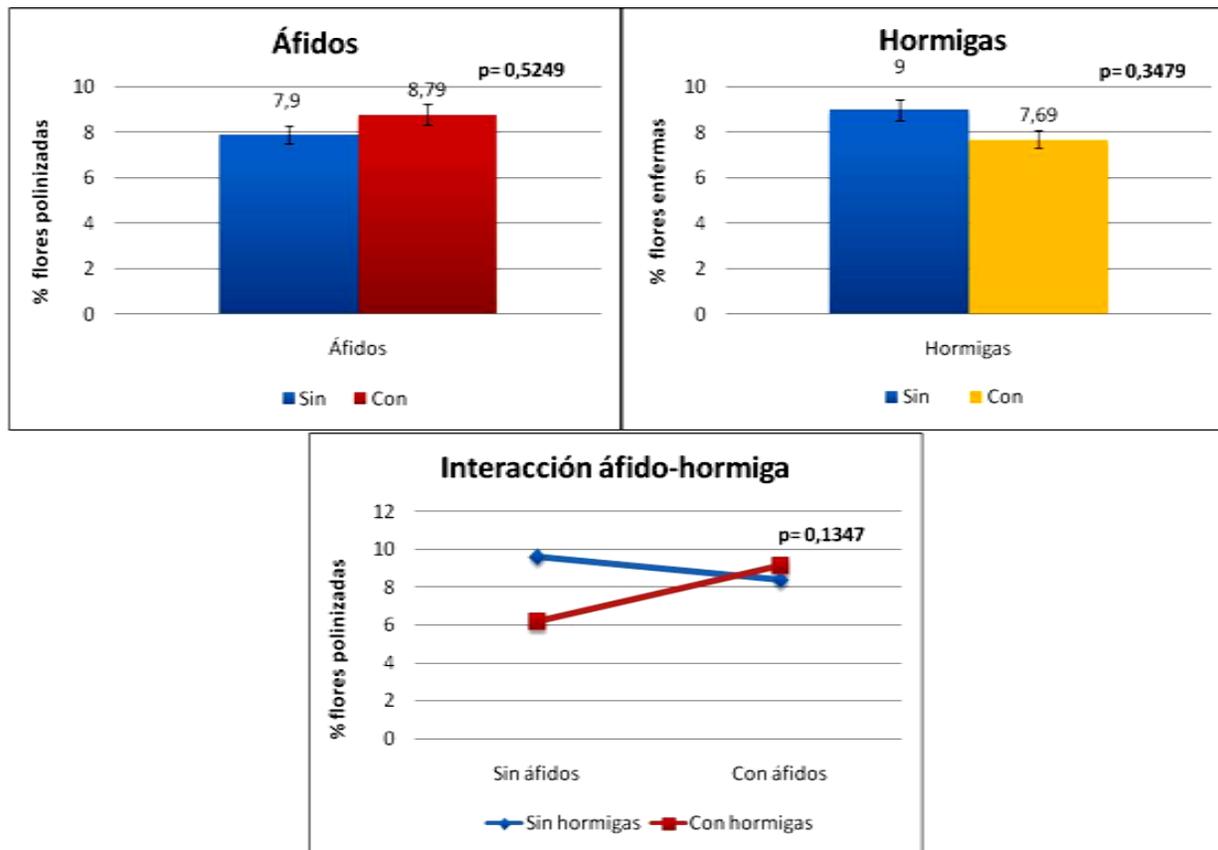


Figura 22. Efecto de cada uno de los factores y de su interacción sobre el porcentaje de flores polinizadas.

El detalle de las pruebas de comparación de medias de cada una de las variables analizadas se encuentra disponible en los Anexos 13 a 17.

2.3. Severidad de las infestaciones

Durante el desarrollo del experimento se efectuaron evaluaciones de severidad de las estructuras florales infestadas con áfidos. A partir de las mismas se pudo inferir que las poblaciones de *T. aurantii* pasaron por una sucesión espacial y temporal diferenciada al establecerse tanto en los botones como en las flores.

Lo anterior se sustentó en la estratificación observada en la severidad de las infestaciones según la estructura floral. En este sentido, alrededor del 35-40% de los botones infestados con áfidos reportaron severidades bajas, mientras que un 40-45% fueron sujeto de ataques severos, por el contrario, entre el 90-100% de los botones infestados con áfidos y hormigas se encontraban severamente infestados.

Más del 55% de las flores habían sido gravemente afectadas por áfidos, independientemente del tratamiento recibido por los árboles, lo cual sugiere que los áfidos infestan los botones, se reproducen en dichas estructuras y llegan a provocar ataques más severos a nivel de flor. No obstante, el 100% de estas estructuras habían sido gravemente infestadas por áfidos y hormigas. La asociación entre estos artrópodos, aunque menos frecuente, tiende a incrementar la severidad de los casos, principalmente porque algunas hormigas podrían favorecer la diseminación de *T. aurantii* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Distribución porcentual de los índices de severidad de botones y flores infestados con áfidos o con la asociación áfidos-hormigas.

Estructura	Tratamiento	% estructuras según nivel de severidad					
		Áfidos			Áfidos y hormigas		
		1	2	3	1	2	3
Botones	Sin insectos	40,6	22,1	37,4	0,0	6,0	94,0
	Con áfidos	36,1	21,6	42,2	0,0	0,0	100,0
	Con hormigas	37,2	18,9	43,9	0,0	0,0	100,0
	Con áfidos y hormigas	35,8	19,9	44,3	5,6	1,3	93,1
Flores	Sin insectos	28,4	15,8	55,9	0,0	0,0	100,0
	Con áfidos	21,3	15,9	62,9	0,0	0,0	100,0
	Con hormigas	17,6	18,8	63,6	0,0	0,0	100,0
	Con áfidos y hormigas	14,1	8,5	77,4	0,0	0,0	100,0

3. Análisis del efecto del tiempo atmosférico (temperatura, humedad relativa y precipitación) sobre la incidencia de áfidos y hormigas en los cojines florales de *T. cacao*

Considerando que la investigación de carácter entomológico en el sector cacaotero nacional es muy escasa, que el ciclo de vida de los artrópodos es altamente dependiente de condiciones ambientales como temperatura y humedad (Pérez 2001) y que el cambio climático podría incidir en la aparición de nuevas plagas y enfermedades en cultivos tropicales (Hódar *et al* 2012), se realizó un análisis de los datos climatológicos registrados en Turrialba durante el desarrollo del experimento con el fin de determinar si dichos factores influyeron directamente sobre la incidencia de áfidos y hormigas que infestan las estructuras florales de los árboles de cacao.

A pesar de que los datos disponibles en el Anexo 8 indican que el primer semestre de 2016 fue más cálido que el mismo periodo de 2015, que el régimen de precipitaciones se redujo hasta un 50% y, por ende, los porcentajes de humedad relativa en Turrialba se vieron disminuidos hasta en un 6%, el análisis de datos que se resume en los Cuadros 4 y 5, no encontró suficiente evidencia estadística para afirmar que exista significancia en las correlaciones llevadas a cabo entre las variables climáticas antes citadas y la incidencia de artrópodos en las estructuras florales del cultivo.

Lo anterior podría atribuirse a que los efectos de las variaciones en las condiciones climáticas de una región en particular sobre la proliferación de plagas potenciales requieren del seguimiento sostenido por lapsos prolongados, que podrían llegar a comprender de 7 a 11 años en regiones tropicales (Retana 2000).

Cuadro 4. Efecto del tiempo atmosférico sobre la incidencia de áfidos, hormigas y su interacción en botones florales de *T. cacao*.

Estructura	Variable	Tratamiento	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)		Precipitación (mm)	
			R ²	P	R ²	P	R ²	P
Botones	% infestados con áfidos	Sin insectos	0,04	0,8809	-0,19	0,4731	-0,41	0,118
		Con áfidos	-0,04	0,8908	-0,48	0,0603	-0,43	0,0996
		Con hormigas	-0,07	0,7939	-0,30	0,2540	-0,27	0,3036
		Con áfidos y hormigas	-0,14	0,5956	-0,50	0,0482	-0,45	0,077
	% infestados con hormigas	Sin insectos	-0,28	0,2897	0,45	0,0818	-0,17	0,5216
		Con áfidos	-0,26	0,3401	0,44	0,0881	-0,18	0,4982
		Con hormigas	-0,12	0,6494	0,20	0,4638	-0,32	0,2278
		Con áfidos y hormigas	-0,28	0,2897	0,45	0,0818	-0,17	0,5216
	% infestados con áfidos y hormigas	Sin insectos	-0,18	0,4957	0,29	0,2704	-0,32	0,2345
		Con áfidos	-0,15	0,5844	-0,08	0,7603	-0,45	0,0832
		Con hormigas	-0,16	0,5664	-0,33	0,2172	-0,46	0,0726
		Con áfidos y hormigas	-0,03	0,9223	-0,10	0,7229	-0,31	0,2446
	% enfermos	Sin insectos	-0,44	0,0893	0,40	0,1227	0,30	0,2585
		Con áfidos	-0,44	0,0895	0,07	0,7887	0,13	0,6245
		Con hormigas	-0,11	0,6923	0,08	0,7775	0,13	0,6240
		Con áfidos y hormigas	0,04	0,8947	0,04	0,8850	-0,002	0,9928
	Pérdida de botones (%)	Sin insectos	0,34	0,1953	-0,28	0,2996	0,42	0,1089
		Con áfidos	0,20	0,4546	0,29	0,2774	0,55	0,0270
		Con hormigas	0,33	0,2068	0,26	0,3352	0,48	0,0615
		Con áfidos y hormigas	0,35	0,1783	0,35	0,1906	0,44	0,0903

$\alpha = 0,05$

Cuadro 5. Efecto del tiempo atmosférico sobre la incidencia de áfidos, hormigas y su interacción en flores de *T. cacao*.

Estructura	Variable	Tratamiento	Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)		Precipitación (mm)	
			R ²	P	R ²	P	R ²	p
Flores	% infestadas con áfidos	Sin insectos	-0,05	0,8483	0,08	0,762	-0,42	0,1082
		Con áfidos	-0,29	0,2713	-0,35	0,180	-0,26	0,3335
		Con hormigas	-0,27	0,3050	-0,18	0,512	-0,28	0,2991
		Con áfidos y hormigas	-0,15	0,5851	-0,10	0,703	-0,23	0,3856
	% infestadas con hormigas	Sin insectos	0,00	>0,9999	0,00	>0,9999	0,00	>0,9999
		Con áfidos	-0,28	0,2897	0,45	0,0818	-0,17	0,5216
		Con hormigas	-0,28	0,2897	0,45	0,0818	-0,17	0,5216
		Con áfidos y hormigas	-0,28	0,2897	0,45	0,0818	-0,17	0,5216
	% infestadas con áfidos y hormigas	Sin insectos	-0,28	0,2897	0,45	0,0818	-0,17	0,5216
		Con áfidos	-0,37	0,1631	0,12	0,6589	-0,27	0,3192
		Con hormigas	-0,13	0,6223	-0,19	0,4923	-0,24	0,3660
		Con áfidos y hormigas	-0,05	0,8602	-0,17	0,5315	-0,30	0,2662
	% enfermas	Sin insectos	-0,13	0,6382	0,15	0,5810	0,46	0,0715
		Con áfidos	0,16	0,5470	0,04	0,8804	0,37	0,1546
		Con hormigas	0,13	0,6415	-0,03	0,9163	0,39	0,1332
		Con áfidos y hormigas	0,19	0,4895	-0,48	0,0606	-0,09	0,7388
	Pérdida (%)	Sin insectos	0,32	0,2291	-0,20	0,4575	0,07	0,7960
		Con áfidos	0,18	0,5125	0,35	0,1887	0,35	0,1904
		Con hormigas	0,16	0,5602	0,24	0,3677	0,12	0,6487
		Con áfidos y hormigas	0,34	0,2046	0,24	0,3679	0,14	0,6106

$\alpha = 0,05$

CONCLUSIONES

- La causa principal de pérdidas en los cojines florales de cacao fueron las fisiopatías (incompatibilidades y senescencia), las cuales representaron alrededor de un 65% del total de estructuras emitidas, entre un 16-21% de las estructuras florales se perdieron por causas patológicas (infecciones por hongos). La incidencia de artrópodos en los cojines florales representó la tercera causa de pérdida, aproximadamente un 6,6% del total de botones emitidos.
- Únicamente se identificó una especie de áfido en el cacaotal (*Toxoptera aurantii*), tres especies de hormigas del género *Camponotus* sp., una del género *Dolichoderus* sp., y una del género *Ectatomma* sp. Además, se identificó una especie de zompopa *Atta cephalotes*.
- Los áfidos fueron la principal plaga de las estructuras florales del cultivo infestando alrededor del 5,5% del total de cojines florales emitidos, aunque la severidad de los ataques fue moderada. En el 1% de los casos donde los cojines fueron infestados por la asociación de áfidos y hormigas, la severidad de los ataques fue mayor. No obstante, se determinó que las hormigas proveyeron múltiples servicios ecosistémicos en términos de fitoprotección e incremento de la polinización ya que estas no parecieran ser responsables del incremento en la incidencia de áfidos en los botones y flores del cacao, aunque su asociación con los áfidos aumentó considerablemente la severidad de los ataques causados por éstos. A pesar de que las zompopas no se encontraban asociadas con los áfidos, estas pueden llegar a convertirse en la plaga principal de Cacao Cántaro ya que infestan los árboles en todos sus estados fenológicos y con su aparato bucal masticador dañan múltiples tejidos en hojas, flores y frutos.
- No se encontró correlación alguna entre las variables climáticas (humedad relativa, precipitación y temperatura) y la incidencia de áfidos y hormigas que infestan los árboles de cacao durante el periodo de floración.

RECOMENDACIONES

- Con el fin de incrementar la productividad de Cacao Cántaro se recomienda la implementación de un programa de manejo integrado de áfidos. Dicho plan podría incorporar medidas de control de diversa índole:
 1. **Mecánico:** podas en las ramas para asegurar la independencia de los árboles y la colocación de barreras con pegamento en la base de los mismos que impidan el acceso y la diseminación de los áfidos y hormigas.
 2. **Químico:** aplicaciones de detergentes o surfactantes, insecticidas o insumos orgánicos dirigidas a las flores infestadas con áfidos con el fin de minimizar las poblaciones de áfidos.
 3. **Cultural:** remoción de los rebrotes basales de los árboles, control adecuado de arvenses, mantenimiento rutinario de drenajes para evitar la proliferación de brotes de áfidos.
 4. **Biológico:** utilización de enemigos naturales de los áfidos (crisopas, hongos entomopatógenos) para reducir las poblaciones de hemípteros.

El control de esta plaga permitiría incrementar alrededor de un 6,6% la disponibilidad de flores viables/ha/temporada lo que aumentaría el inventario de dichas estructuras a 348182, esto propiciaría la obtención de hasta 13370 mazorcas/ha adicionales. Esto representaría un aumento potencial de la productividad de hasta el 33,3%.

- Emplear una metodología de estimación poblacional de hormigas que no sea extractiva, esto con el fin de evitar que el método de muestreo utilizado impacte negativamente las poblaciones de estos artrópodos dentro del agroecosistema.
- Llevar a cabo estudios asociados al incremento de la polinización de los árboles de cacao, para ello se deben identificar los principales polinizadores, las barreras que enfrentan, así como estrategias de manejo agroecológico de los mismos.
- Desarrollar y evaluar estrategias de manejo agroecológico de zompopas en el cacaotal (agro-homeopatía, uso de hongos entomopatógenos, cebos orgánicos, cultivos trampa, entre otros).
- Continuar documentando las condiciones climáticas de la finca, así como la incidencia de insectos plaga en las épocas de mayor floración y cosecha con el fin de estimar el impacto de las oscilaciones en el tiempo atmosférico sobre la incidencia y severidad de estas plagas en la plantación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adenuga, A.O., y Adeboyeke, K. (1987). Notes on distribution of ant-homoptera interaction on selected crop plants. *Insect Science and its Application*. 8(2):239-243
- Adria. (2010). Mercado del Cacao: corazón del chocolate. (en línea). Consultado el 20 de Noviembre de 2015. Recuperado de <http://www.corazondechocolate.es/category/general/historia-general>
- Andrade, G., Amat, G., y Fernández, F. (1996). *Insectos de Colombia: estudios escogidos*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Primera edición. Santa Fé de Bogotá, Colombia. 66 p.
- Animkmapong, G.F., y Frimpong, E.B. (2005). *Vulnerability of Agriculture to Climate Change- Impact of Climate Change on Cocoa Production*. Cocoa Research Institute of Ghana. New Tafo Akim. 34 p.
- Arévalo, W., Zúñiga, L., Arévalo, C., y Adriazola, J. (2004). *Cacao: manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la Amazonía peruana*. Instituto de Cultivos Tropicales, Perú. 184 p.
- Bae, H., Kim, S., Kim, M.S., Sicher, R.C., Lary, D., Strem, M.D., Natarajan, S., y Bailey, B.A. (2008). The Drought Response of *Theobroma cacao* (cacao) and the Regulation of Genes Involved in Polyamine Biosynthesis by Drought and Other Stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 46(2):174-188
- Barbagallo, S., Cravedi, P., Pasqualini, E., y Patti, I. 1998. *Pulgones de los principales cultivos frutales*. Primera edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 23-24 p.
- Barbera, N., Hilje, L., Hanson, P., Longino, J., Carballo, M., y de Melo, E. (2004). Diversidad de especies de hormigas en un gradiente de cafetales orgánicos y convencionales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. 72(1): 60-71
- Barrantes, L., y Foster, L. (2010). *Cadena Productiva de Cacao: Políticas y Acciones*. MAG. San José, Costa Rica. 24 p.
- Bartley, B.G.D. (2005). *The genetic diversity of cacao and its utilization*. CABI Publish. Wallingford, England. 341 p.

- Bolton, B. (2003). Synopsis and classification of Formicidae. *Memories of the American Entomological Institute*. 71(1):301-370
- Borron, S. (2006). Building Resilience for an Unpredictable Future: How Organic Agriculture Can Help Farmers Adapt to Climate Change. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. 25 p.
- Bos, M.M., Steffan, I., y Tschardtke, T. (2007). Tree Management Affects Fruit Abortion, Insect Pests and Pathogens of Cacao. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 120(1):201-205
- Branstetter, M., y Saénz, L. (2012). Las hormigas (Hymenoptera:Formicidae) de Guatemala. *Biodiversidad de Guatemala*. 2(1): 12-22
- Breed, M.D., McGlynn, T.P., Stocker, E.M., y Klein, A.N. (1999). Thief workers and variation in nestmate recognition behaviour in a ponerine ant *Ectatomma ruidum*. *Insect Sociobiology*. 46(1): 327-331
- Buckley, R.C. (1987). Ant-Plant-Homopteran interactions. *Advances in Ecological Research*. 16(1): 53-85
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (2010). El cacaotal mejorado. Guía del facilitador. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 32 p.
- Colombia Alternative Development (CAD). (2003). Manual de fitoprotección y análisis de plaguicidas: flores y follajes. Colombia, USAID. 39 p.
- Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO). (2013). *Theobroma cacao* L. Boletín Técnico Informativo. Secretaría de Ambiente. México D.F, México. 2-6 p.
- Conway, J. R. (1994). Honey Ants. *American Entomologist*. 40 (4): 229-234
- Córdoba, C., Cerda, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E., y Declerck, F. (2013). Polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, Panamá. *Agroforestería de las Américas*. 49(1):1-7
- Cushman, J.H., y Addicott, J.F. (1989). Intra- and Interspecific competition for mutualists:ants as limited and limiting resource for aphids. *Oecologia*. 79(1): 315-321

- Delabie, J.H.C., y Fernández, F. (2003). Relaciones entre hormigas y homópteros (Hemiptera: Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha). *In* Introducción a las hormigas de la región neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 404 p.
- Delfino, M.A., y Buffa, L.M. (2000). Algunas interacciones planta-áfido-hormiga en Córdoba, Argentina. *Zoológica Baetica*. 11(1):3-15
- Dixon, A. F. G. (1998). *Aphid Ecology*. Chapman & Hall. First Edition. London, England. 300 p.
- Drenth, A., y Guest, D. (2013). *Phytophthora* the plant destroyer. *Palmas*. 34(1): 49-55
- Enríquez, G. (2004). Cacao orgánico. Guía para productores ecuatorianos. Quito, EC. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. 360 p. (Manual N°54).
- Fernández, F., y Sendoya, S. (2004). Lista de las hormigas neotropicales (*Hymenoptera: Formicidae*). *Biota colombiana*. 5(1):1-93
- Goitia, W., Bosque, C., y Jaffe, K. (1992). Interacción hormiga-polinizador en cacao. Turrialba. 42(2): 178-186
- Grass, P., Tschardtke, T., Mass, B., Tjoa, A., Hafsa, A., y Clough, Y. (2016). How ants, birds and bats affect crop yield along shade gradients in tropical cacao agroforestry. *Journal of Applied Agroecology*. 53(1): 953-963
- Hardy, F. (1961). *Manual de Cacao*. Edición en español. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 380 p.
- Hódar, J., Zamora, R., y Cayuela, L. (2012). Cambio climático y plagas: algo más que el clima. *Ecosistemas*. 21(3): 73-78
- International Cocoa Organization (ICCO). (2010). Annual report. (en línea). London, United Kingdom. Consultado el 12 de octubre de 2015. Disponible en <http://www.icco.com>
- International Cocoa Organization (ICCO). 2013. Quaterly Bulletin of Cocoa Statistics. (en línea). London, United Kingdom. Consultado el 12 de octubre de 2015. Disponible en <http://www.icco.org/statistics/quarterly-bulletin-cocoa-statistics.html>
- International Cocoa Organization (ICCO). (2014). The cocoa market situation. (en línea). London, United Kingdom. Consultado el 29 de Julio de 2016. Disponible en

http://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/30-related-documents/45-statistics-other-statistics.html

- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: resultados generales. Primera edición. San José, Costa Rica. 146 p.
- Lachaud, J.P. (1999). Queen dimorphism and reproductive capacity in the ponerine ant, *Ectatomma ruidum* Roger. *Oecologia* 120(1): 515-523
- Lanuad, C., Motamayor, J.C., y Risterucci, A.M. (2000). Implications of the New Insight into the Genetic Structure of *Theobroma cacao* L. for Breeding Strategies. **In** Proceedings of the International Workshop on new Technologies and Cocoa Breeding. Ingenic. Kota Kinabalu, Malaysia. 16-17 Octubre 2000. 89-107 p.
- Lass, R.A. (1985). Diseases. **In** Wood, GAR; Lass, RA. Cocoa. Longman Group Limited. Forth edition. New York. 265-365 p.
- León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José, CR. Editorial Agroamérica del IICA. 522 p.
- Longino, J.T., Hanson, P.E. (1995). The ants (*Formicidae*). **In** Hanson, PE; Gauld, ID. 1995. The hymenoptera of Costa Rica. New York, US. 588-620 p.
- MacGown, J. (2010). *Camponotus planatus* (Hymenoptera:Formicidae), an exotic carpenter ant found in Mississippi. *Journal of the Mississippi Academy of Sciences*. 55(2): 59-60
- Madrigal, C.A. (1995). Manual de Fitoprotección y Análisis de Plaguicidas: Flores y Follajes. **In** CAD (Colombia Alternative Development). 6–7 p.
- Majer, J.D. (1975). The maintenance of the ant mosaic in Ghana Cocoa Farms. Western Australian Institute of Technology. 123-155 p.
- Mazeira, F. (2014). Compatibilidad genética en árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo Nacional *in situ* en la zona de Valencia durante la época seca de 2013. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 53 p.
- Mejía, E. (2008). Plan de manejo proyecto cacao finca La Dorada, San Carlos. Agroindustrial EM del Norte S.A. Upala, Costa Rica. 24p.

- Mejía, L., y Argüello, O. (2000). Variabilidad morfoagronómica de 59 árboles élite de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Santander. **In** Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia. 60-65 p.
- Mejía, L., y Palencia, G. (2000). La poda del árbol de cacao. **In** Mejía, L; Argüello, O. comps. Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia. 92-95 p.
- Melia, A. (1993). Evolución poblacional de *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) (Homoptera:Aphididae) en los últimos quince años y su relación con la aparición de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson). Boletín de Sanidad Vegetal y Plagas. 19(1): 609-617
- Meneses, R. (1990). Monitoreo de áfidos y su relación con el programa de semilla de papa en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas. 5(1):45-52
- Mera Jaramillo, S. (2011). Análisis de manejo y percepción del impacto de la hormiga arriera (*Atta cephalotes*) sobre los habitantes del corregimiento de Pance, Valle del Cauca, Colombia. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia. 106 p.
- Miles, P. W. (1987). Feeding process of Aphidoidea in relation to effects on their food plants. **In** Minks & Harrewijn. Aphids, their Biology, Natural Enemies and Control. 2 (A): 321-339
- Moreno, L., Cadavid, S., Cubillos, G., y Sánchez, J. (1983). Manual para el cultivo del cacao. Compañía Nacional de Chocolates. Colombia. 151 p.
- Motamayor, J.C., Risterucci, A.M., y Lanaud, C. (2000). Domestication du cacaoyers. II Germoplas e l'origine des cacaoyers Criollo/Trinitario cultivés avant 1950. **In** 13^{eme} Conférence Internationale sur la Recherche Cacaoyère. Kota Kinabalu, Malaisie, 9-20 Octobre 2000.
- Nadurille, E. (2010). Cacao: agrocadena de valor de Costa Rica. (en línea). Programa Centroamericano de Cacao. IICA-CATIE. Consultado 12 de octubre de 2015. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7712E/A7712E.PDF>
- Nicholls, C.I., Altieri, M.A., y Sánchez E.J. (1999). Manual práctico de control biológico para una agricultura sustentable. California, Estados Unidos. 86 p.

- Niemeyer, H.M. (1990). Secondary plant chemicals in aphid-host interactions. In Peters, D.C., Webster, J. A. & Chlouber, C. S. Aphid-Plant interactions: Populations to Molecules. Stillwater, Oklahoma State University. 101-111p.
- Oliveira, P., Rico, V., Díaz, C., y Castillo, C. (2003). Interaction between ants, extrafloral nectarines and insect herbivores in Neotropical coastal sand dunes: herbivore deterrence by visiting ants increases fruit set in *Opuntia stricta* (Cactaceae). *Functional Ecology*. 13(1): 623-631
- Ortiz, C., y Fernández, F. (2011). Hormigas del género *Dolichoderus* Lund (Formicidae:Dolichoderinae) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Primera edición. 60-118 p.
- Passera, L. (1994). Individual food source fidelity in the neotropical ponerine ant *Ectatomma ruidum* Roger (Hymenoptera:Formicidae). *Ethology, ecology & evolution*. 6: 13-21
- Pérez, M. (2001). Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados día. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*. 28(1): 147-150
- Phillips-Mora, W., y Galindo, J. (2006). Ten years of the Cacao Breeding Program CATIE: Achievements and Challenges. In Programme & Abstracts: fifth INGENIC Workshop on Cocoa Breeding for Farmers' Needs. San José, Costa Rica. INGENIC. 30p.
- Piñol, J., Espadaler, X., Cañellas, N., y Pérez, N. (2009). Effects of the concurrent exclusion of ants and earwigs on aphid abundance in an organic citrus grove. *BioControl*. 54(1): 515-527
- Retana, J. (2000). Relación entre algunos aspectos climatológicos y el desarrollo de la langosta centroamericana *Schistocerca piceifrons* en el Pacífico Norte de Costa Rica durante la fase cálida del fenómeno El Niño-Oscilacion Sur (ENOS). *Tópicos de Meteorología y Oceanografía*. 7(2): 73-87
- Rojas Fernández, P. (2001). Las hormigas del suelo en México: diversidad, distribución e importancia (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zoológica Mexicana*. 1(1):189-238
- Sakata, H. (1994). How an Ant Decides to Prey on or to Attend Aphids. *Researches on Population Ecology*. 36(1): 45-51

- Santamaría, C. (2009). Nest distribution and food preferences of *Ectatomma ruidum* (Hymenoptera: Formicidae) in shaded and open., cattle pastures of Colombia. *Sociobiology*. 53(2B): 517-541
- Schatz, B., Lachaud, JP., y Beugnon, G. (1996). Polyethism within hunters of the ponerine ant, *Ectatomma ruidum* Roger (Formicidae:Ponerinae). *Insect Sociobiology*. 43(1): 111-118
- Schatz, B., Lachaud, J.P., y Beugnon, G. (1997). Graded recruitment and hunting strategies linked to prey weight and size in the ponerine ant *Ectatomma ruidum*. *Behavior and Ecological Sociobiology*. 40(1): 337-349
- Serrano, L., Menjivar, R., y García, R. (2003). Percepción del agricultor sobre los zompopos (Hymenoptera: Formicidae: *Attini*) y determinación de las especies presentes en los municipios de Ahuachapan, Sonsonate y Santa Ana. Universidad El Zamorano. 10 p.
- Silva, E., y Perfecto, I. (2013). Coexistence of aphid predators in cacao plants: does ant-aphid mutualism play a role? *Sociobiology*. 60(3): 259-265
- Sinisterra, R., Gallego, M., y Armbrecht, I. (2016). Hormigas asociadas a nectarios extraflorales de árboles de dos especies de *Inga* en cafetales del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 65(1):9-15
- Toxopeus, H. (1985). Botany, typesw and population. In Wood, GAR; Lass, RA. *Cocoa*. New York, Estados Unidos. Longman. 11-37 p.
- Urueta, E. (1975). Insectos y ácaros que afectan el cultivo de cacao en la región de Urabá. Secretaría de Agricultura y Fomento Sanidad Agropecuaria. Medellín, Colombia. 21 p.
- Varón, E., Hilje, L., y Eigenbrode, S. (2008). Un enfoque agroecológico para el manejo de zompopas en cafetales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 14 p.
- Vásquez, A. (2012). Effect of habitat type on parasitism of *Ectatomma ruidum* by Eucharitid Wasps. *Psyche A Journal of Entomology*. 20(2): 1-7
- Vásquez, M. (2011). Lista de especies de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) para México. *Dugesiana*. 18(1): 95-133

Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación No Tradicional (VIFINEX, CN). (1999). Manual técnico: Fitosanidad en plantas ornamentales y follaje. Guatemala, OIRSA. 87 p.

Villalobos, W., Pérez, N., Mier, M.P., y Nieto, J. (2010). Aphididae (Hemiptera:Sternorrhyncha) from Costa Rica, with new records for Central America. Boletín Sociedad Española de Entomología. 34(1-2): 1-38

Voegtlin, D., Villalobos, W., Sanchez, M.V., Saborío, G., y Rivera, C. (2003). Guía para los áfidos alados (Homoptera) de Costa Rica. Revista Biología Tropical. 51(2):1-22

Wood, G.A.R. (1985). Cacao. Compañía Editorial Intercontinental S.A. México. 207 p.

ANEXOS

Anexo 1. Vista dorsal de un espécimen adulto de *A. cephalotes* (12X).



Atta cephalotes

Anexo 2. Vista lateral y dorsal de un espécimen adulto de *C. novogranadensis* (12X).



Camponotus novogranadensis

Anexo 3. Vista dorsal y lateral de un espécimen adulto de *C. planatus* (12X).

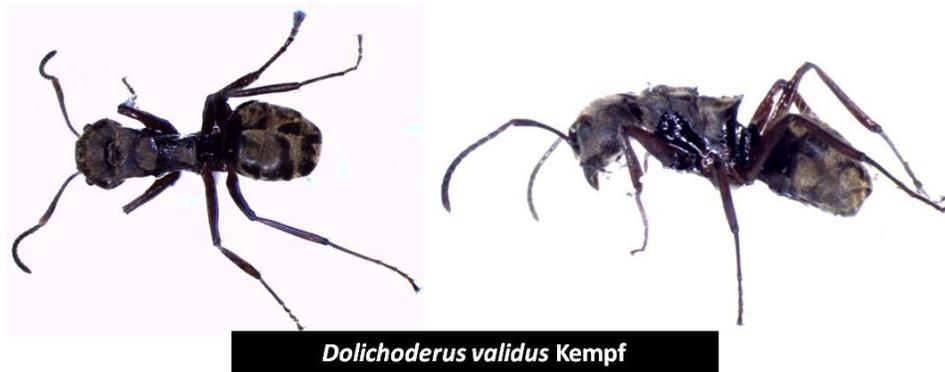


Camponotus planatus Roger

Anexo 4. Vista dorsal y lateral de un espécimen adulto de *C. fastigatus* (12X).



Anexo 5. Vista dorsal y lateral de un espécimen adulto de *D. validus* (12X).



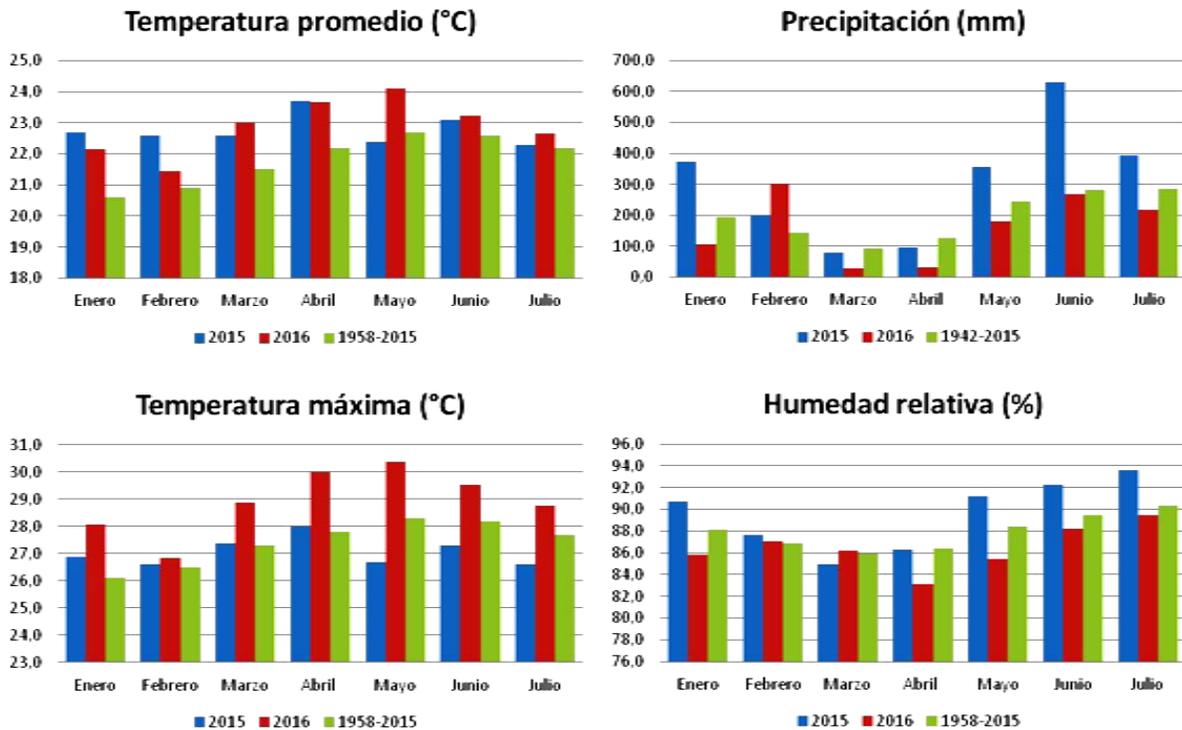
Anexo 6. Vista lateral y dorsal de un espécimen adulto de *E. ruidum* (12X).



Anexo 7. Vista dorsal y ventral de un espécimen adulto de *T. aurantii* (12X).



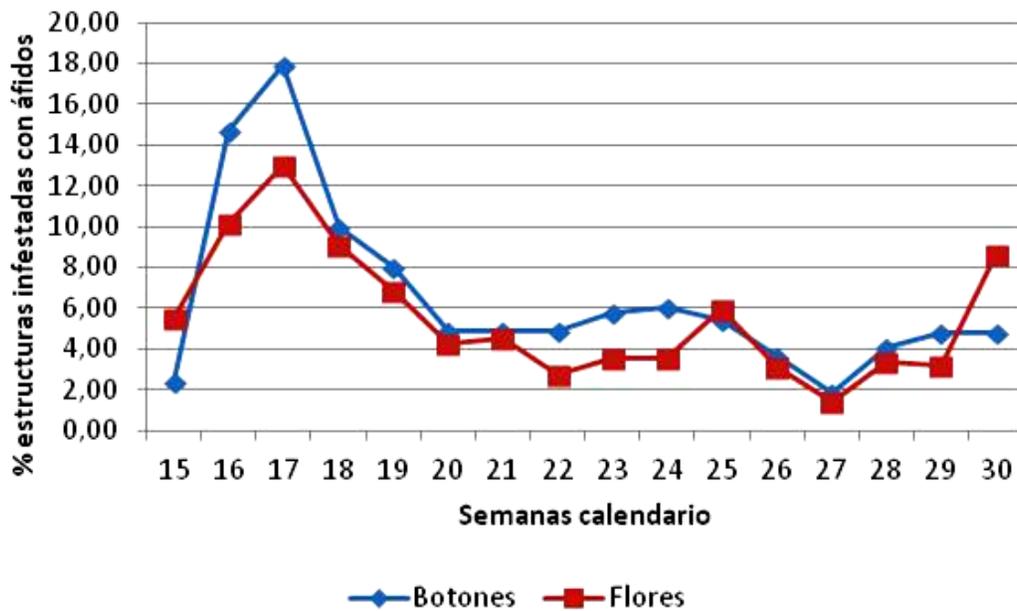
Anexo 8. Datos climáticos de la estación meteorológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Cartago, Costa Rica.



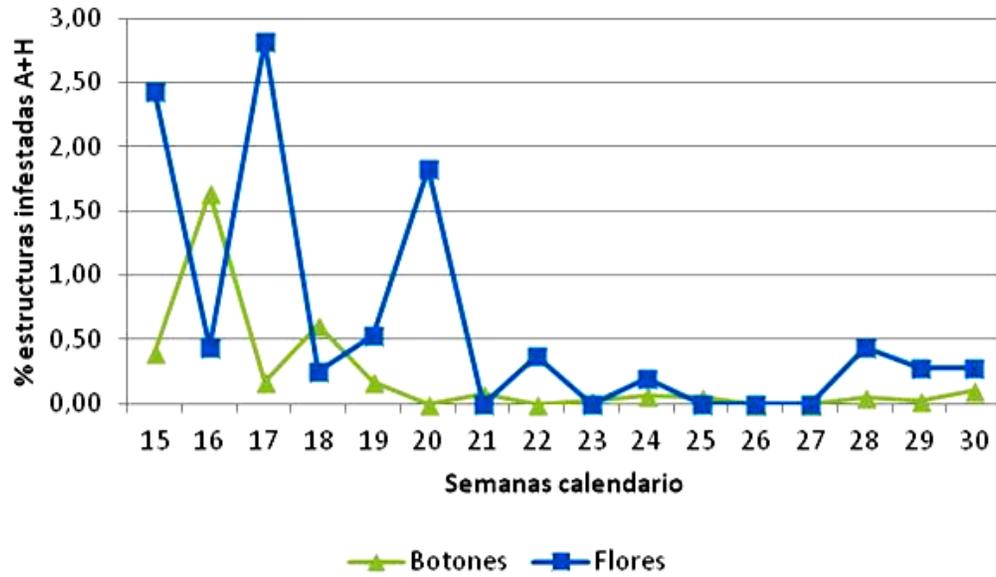
Anexo 9. Estructuras florales infectadas por hongos. A- Necrosis severa en un botón inmaduro. B- Flores con diferentes estados de avance de la infección.



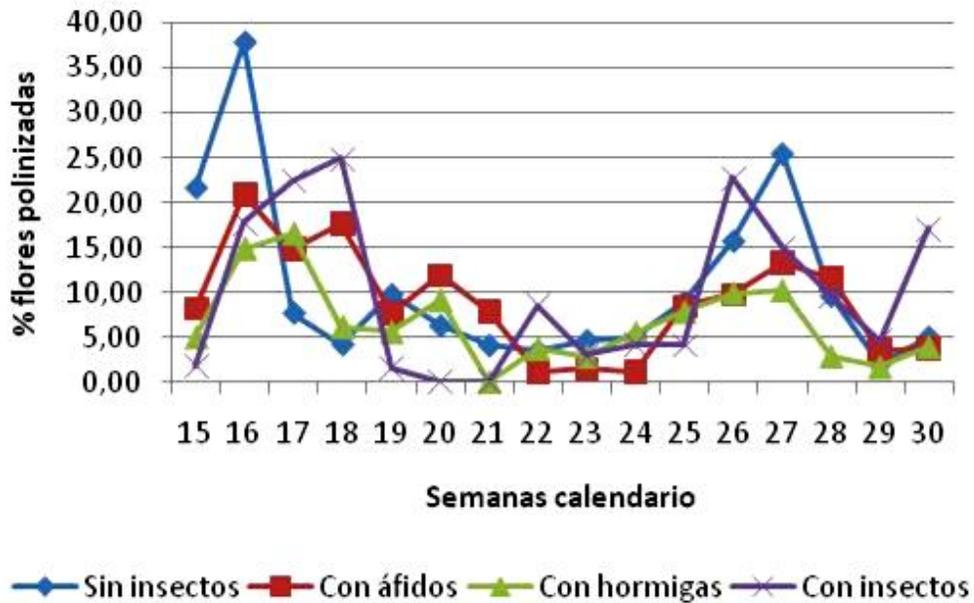
Anexo 10. Estructuras florales infestadas con áfidos durante semana 15 a 30 de 2016.



Anexo 11. Estructuras florales infestadas con áfidos y hormigas durante semana 15 a 30 de 2016.



Anexo 12. Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de flores polinizadas.



Anexo 13. Análisis de datos del porcentaje de estructuras infestadas con áfidos según el tratamiento.

Tratamiento	% estructuras infestadas con áfidos	
	Botones	Flores
Sin insectos	1,71 ± 0,57 a	3,27 ± 0,73 a
Con áfidos	10,25 ± 0,55 c	7,22 ± 0,73 b
Con hormigas	7,38 ± 0,60 b	5,32 ± 0,83 ab
Con áfidos y hormigas	6,36 ± 0,59 b	5,68 ± 0,87 b
P	p<0,0001	p=0,0229

Anexo 14. Análisis de datos del porcentaje de estructuras infestadas con áfidos y hormigas según el tratamiento.

Tratamiento	% estructuras infestadas con áfidos y hormigas	
	Botones	Flores
Sin insectos	0,04 ± 0,07 a	0,12 ± 0,25 a
Con áfidos	0,16 ± 0,07 ab	0,33 ± 0,25 ab
Con hormigas	0,29 ± 0,08 b	0,99 ± 0,29 b
Con áfidos y hormigas	0,34 ± 0,08 b	1,05 ± 0,30 b
P	p=0,6347	p=0,7808

Anexo 15. Análisis de datos del porcentaje de estructuras infestadas con hormigas según el tratamiento.

Tratamiento	% estructuras infestadas con hormigas	
	Botones	Flores
Sin insectos	0,01 ± 0,01	0,00 ± 0,12
Con áfidos	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,12
Con hormigas	0,02 ± 0,01	0,25 ± 0,14
Con áfidos y hormigas	0,03 ± 0,01	0,29 ± 0,15
P	p=0,6892	p=0,9799

Anexo 16. Análisis de datos del porcentaje de estructuras florales enfermas según el tratamiento.

Tratamiento	% estructuras enfermas	
	Botones	Flores
Sin insectos	0,43 ± 0,17	16,31 ± 1,20 a
Con áfidos	0,74 ± 0,17	20,98 ± 1,44 b
Con hormigas	0,74 ± 0,16	19,40 ± 1,37 ab
Con áfidos y hormigas	0,79 ± 0,16	18,41 ± 1,20 ab
P	p=0,4330	p=0,0306

Anexo 17. Análisis de datos del porcentaje de flores polinizadas según el tratamiento.

Tratamiento	Flores polinizadas
Sin insectos	180 ± 0,7 c
Con áfidos	169 ± 0,6 bc
Con hormigas	97 ± 0,5 a
Con áfidos y hormigas	132 ± 0,6 b
p	p=0,0097

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ALTERNATIVA CON MENCIÓN EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

PROYECTO DE TESIS

**EFFECTO DE LOS ÁFIDOS, LAS HORMIGAS Y SU ASOCIACIÓN SOBRE EL ABORTO
DE LOS COJINES FLORALES EN HÍBRIDOS DE *THEOBROMA CACAO***

**POR:
CRISTIAN GARITA ROJAS**

**PROFESOR GUÍA:
MSc. RAFAEL ARIAS TORRES**

HEREDIA, COSTA RICA, NOVIEMBRE 2016