

**DINÁMICA POBLACIONAL DE LA BROCA DEL CAFÉ *Hypothenemus hampei*
(Ferrari) Y SUS ENEMIGOS NATURALES EN EL CULTIVO DE CAFÉ *Coffea
arabica* L. EN PUERTO RICO**

Por

Olga Patricia González Cardona

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN

PROTECCIÓN DE CULTIVOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO

RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2013

Aprobado por:

Ángel Luis González Rodríguez, Ph.D.
Miembro Comité Graduado

Fecha

Raúl Macchiavelli, Ph.D.
Miembro Comité Graduado

Fecha

Fernando Gallardo Covas, Ph.D.
Presidente Comité Graduado

Fecha

Lynette Orellana, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Elvin Román Paoli, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

ABSTRACT

To understand the population dynamics of the coffee berry borer (CBB), *Hypothenemus hampei* Ferrari, under Puerto Rico coffee field conditions, monthly samples of coffee berries were collected in Adjuntas and Maricao during 2011 and 2012. The population characterization of the CBB was evaluated studying the following parameters: percentage of infestation of CBB, position of CBB according to fruit development, proportion of developmental stages and life cycle duration of CBB. The natural incidence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bb) over CBB was quantified and the fauna associated with CBB infested berries was identified to determinate the presence of potential natural enemies. From the results obtained during this study it is conclude that the source of infestation of CBB are fruits left on the coffee trees at the end of the harvest rather than fruits left on the ground. The fruits in the ground deteriorate rapidly. The percentages of infestation on the EEA Adjuntas farm, were significantly higher than in the other farms evaluated, fluctuating between 14 to 99%. The first attack by CBB occurred 40 days after flowering (daf) and the oviposition started at 105 daf. During that time, the CBB female remains in position B, susceptible to control methods. During fruit development, there may be up to three generations (life cycle: 30 days) of CBB. The fungus Bb was found infesting naturally the CBB in all locations sampled. However, the year 2012 had a high incidence of the fungus (12.5%), which was significant compared with the previous year (3.8%). No significant correlation was found between the incidence of Bb and the environmental variables recorded, average temperature ($r = 0.3$, $P = 0.29$) and precipitation ($r = -0.07$, $P = 0.81$). The correlation between incidence of the fungus and percentage infestation of CBB was not significant ($r = -0.44$, $P = 0.12$). The presence of CBB parasitoid, *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae) and the predators *Wasmania* sp. and *Solenopsis* sp. (Hymenoptera: Formicidae), are outstanding.

Key words: Population dynamics, coffee berry borer, *Beauveria bassiana*, parasitoids, predators.

RESUMEN

Con el objetivo de entender la dinámica poblacional de la broca del café (BC), *Hypothenemus hampei* Ferrari, bajo las condiciones cafetaleras de Puerto Rico, se realizaron muestreos sistemáticos mensuales de frutos de café en Adjuntas y Maricao durante los años 2011 y 2012. Se caracterizó la población de BC a través del tiempo, evaluando su porcentaje de infestación, posicionamiento de la hembra respecto al desarrollo del fruto, proporción entre estados de desarrollo y duración del ciclo de vida. Se cuantificó la incidencia natural del hongo *Beauveria bassiana* (Bb) sobre BC y se identificó la fauna asociada a los frutos atacados por BC para determinar la presencia de enemigos con potencial para su control. Los resultados obtenidos indican que la fuente de inóculo de BC, la constituyen los frutos remanentes en los árboles de la cosecha anterior, los frutos del suelo se deterioran rápidamente. Los porcentajes de infestación en la finca EEA Adjuntas, fueron significativamente más altos que en las otras fincas evaluadas, fluctuando entre 14% y 99. El inicio de la susceptibilidad del fruto al ataque de BC se dio desde 40 días después de floración (ddf) y la reproducción a partir de 105 ddf, durante este período, la hembra de BC permanece dentro del canal de penetración, susceptible a métodos de control. Durante un ciclo productivo pueden darse hasta tres generaciones de BC con una duración del ciclo de vida de 30 días. Bb se encontró infestando de manera natural a BC en todas las localidades muestreadas, sin embargo, el año 2012 presentó una alta incidencia del hongo (12.5%), la cual resultó ser significativa en comparación con el año anterior (3.8%). No se encontró una correlación significativa entre la incidencia de Bb con las variables ambientales temperatura promedio ($r= 0.3$; $P= 0.29$) y precipitación pluvial ($r= -0.07$; $P= 0.81$) registradas en la región. La correlación entre la incidencia del hongo y el porcentaje de BC no fue significativa ($r= -0.44$; $P= 0.12$). Se destaca la presencia del parasitoide de BC, *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae) y de los depredadores *Wasmania* sp y *Solenopsis* sp (Hymenoptera: Formicidae).

Palabras clave: Broca del café, dinámica poblacional, *Beauveria bassiana*, parasitoides, depredadores.

© *Olga Patricia González Cardona, 2013*

Dedicada a mi familia.

***Su amor, apoyo y comprensión hacen que hoy este sueño
sea una realidad.***

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Fernando Gallardo Covas, por su asesoría y colaboración durante el desarrollo de esta investigación, por su amistad y respaldo durante toda la maestría.

Al Dr. Ángel Luis González y al Dr. Raúl Macchiavelli por su asesoría y colaboración.

A todo el equipo del Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales por su colaboración.

Al personal de la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas, por su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de maestría y amigos por su compañía y apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	ii
RESUMEN	iii
TABLA DE CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE APÉNDICES.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Cultivo del café <i>Coffea</i> spp. en Puerto Rico	4
2.2 La broca del café <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari	5
2.2.1 Biología de la broca del café.....	5
2.2.2 Factores climáticos que afectan la dinámica poblacional de la broca del café	6
2.2.3 Dinámica Poblacional	8
2.2.4 Enemigos naturales	10
2.2.4.1 Hongo entomopatógeno <i>Beauveria bassiana</i> (Bálsamo) Vuillemin	10
2.2.4.2 Parasitoides y depredadores.....	13
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
4.1 Área de estudio	20
4.2 Registros Climáticos	20
4.3 Dinámica Poblacional de la Broca del café.....	20
4.4 Incidencia natural del hongo <i>B. bassiana</i>	21
4.5 Parasitoides y depredadores.....	22
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
6. RESULTADOS	25
6.1 Registro Climático	25
6.2 Dinámica poblacional de la broca del café.....	26

6.2.1	Porcentaje de infestación.....	29
6.2.2	Posicionamiento de la broca del café respecto al desarrollo del fruto	33
6.2.3	Promedio de individuos de la broca del café y ciclo de vida bajo las condiciones de Puerto Rico	35
6.3	Incidencia natural del hongo <i>Beauveria bassiana</i>	38
6.3.1	Ciclo Productivo 2011	38
6.3.2	Ciclo Productivo 2012	40
6.4	Parasitoides y depredadores.....	43
6.4.1	Jaulas de emergencia.....	43
6.4.2	Disección de Frutos	45
7.	DISCUSIÓN.....	50
7.1	Dinámica poblacional de la broca del café.....	50
7.1.1	Porcentaje de infestación.....	50
7.1.2	Posicionamiento de la broca respecto al desarrollo del fruto	51
7.1.3	Número promedio de individuos de la broca del café y ciclo de vida bajo las condiciones de Puerto Rico	53
7.2	Incidencia natural del hongo <i>Beauveria Bassiana</i>	55
7.3	Parasitoides y depredadores.....	57
8.	CONCLUSIONES	60
9.	RECOMENDACIONES.....	62
10.	LITERATURA CITADA	63
11.	APÉNDICES	69

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Porcentaje de <i>Hypothenemus hampei</i> en la finca EEA Adjuntas Puerto Rico, año 2011.....	32
Tabla 2:	Porcentaje de <i>Hypothenemus hampei</i> en la finca EEA Adjuntas Puerto Rico, año 2012.....	32
Tabla 3:	Número máximo de individuos (en diferentes estados biológicos - EB) de <i>Hypothenemus hampei</i> por fruto y estado biológico predominante en frutos del árbol y del suelo bajo las condiciones de Puerto Rico.	38
Tabla 4:	Promedio del porcentaje de <i>Beauveria bassiana</i> (incidencia del hongo), infectando <i>Hypothenemus hampei</i> en los ciclos productivos 2011 y 2012.....	39
Tabla 5:	Especies de insectos recuperados de frutos de café provenientes de árboles de la finca EEA Adjuntas, Puerto Rico. Ciclos productivos 2011 y 2012.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de la zona cafetalera de Puerto Rico (Monroig, 2013).	4
Figura 2: Posicionamiento de <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari en frutos de café (Dibujo por Gonzalo Hoyos – Cenicafé).....	9
Figura 3: Síntomas de la infección causada por el hongo entomopatógeno <i>Beauveria bassiana</i> Vuill. a los adultos de <i>Hypothenemus hampei</i> Ferrari.....	11
Figura 4: Jaulas utilizadas para la emergencia de insectos asociados a frutos de café atacados por <i>Hypothenemus hampei</i>	23
Figura 5: Registros de temperatura promedio (°C) en la finca de Adjuntas Puerto Rico años, 2011 y 2012.....	25
Figura 6: Registros de precipitación pluvial (total mes mm) en la finca de Adjuntas Puerto Rico, años 2011 y 2012.	26
Figura 7: Descomposición de frutos de café en el suelo: moluscos y miriápodos alimentándose del endospermo.	28
Figura 8: Semillas de café recolectadas en el suelo atacadas, por la broca del café y en proceso de descomposición.	28
Figura 9: Semilla de café recolectada en el suelo en proceso de germinación.	28
Figura 10: Porcentaje de infestación (frutos brocados) de <i>Hypothenemus hampei</i> , en dos fincas del municipio de Adjuntas, Puerto Rico año 2011.	30
Figura 11: Porcentaje de infestación (frutos brocados) de <i>Hypothenemus hampei</i> , en la finca EEA Adjuntas, años 2011- 2012.	30
Figura 12: Porcentaje de infestación (frutos brocados) de <i>Hypothenemus hampei</i> , en las fincas EEA Adjuntas y Maricao, año 2012.	31
Figura 13: Posicionamiento promedio de <i>Hypothenemus hampei</i> (%) respecto al desarrollo del fruto, en las fincas de Adjuntas, Puerto Rico.	34
Figura 14: Posicionamiento promedio de <i>Hypothenemus hampei</i> (%) respecto al desarrollo del fruto, en la finca Maricao, Puerto Rico.	34

Figura 15: Promedio de individuos de <i>Hypothenemus hampei</i> para los ciclos productivos 2011-2012 en Adjuntas, Puerto Rico. (H: huevos, L: larvas, PP: prepupas, P: pupas, A: adultos).....	37
Figura 16: Promedio de individuos de <i>Hypothenemus hampei</i> para los año 2012 en Maricao, Puerto Rico. (H: huevos, L: larvas, PP: prepupas, P: pupas, A: adultos).....	37
Figura 17: Porcentaje de infestación de <i>Hypothenemus hampei</i> (frutos brocados) y porcentaje de <i>Hypothenemus hampei</i> infectadas con <i>Beauveria bassiana</i> (Incidencia del hongo) en la finca EEA Adjuntas año 2011.....	41
Figura 18: Porcentaje de infestación de <i>Hypothenemus hampei</i> (frutos brocados) y porcentaje de <i>Hypothenemus hampei</i> infectadas con <i>Beauveria bassiana</i> (Incidencia del hongo) en la Finca Adjuntas año 2011.....	41
Figura 19: Porcentaje de infestación de <i>Hypothenemus hampei</i> (frutos rocados) y porcentaje de <i>Hypothenemus hampei</i> infectadas con <i>Beauveria bassiana</i> (Incidencia del hongo) en la Finca EEA Adjuntas año 2012.....	42
Figura 20: Porcentaje de infestación de <i>Hypothenemus hampei</i> (frutos brocados) y porcentaje de <i>Hypothenemus hampei</i> infectadas con <i>Beauveria bassiana</i> (Incidencia del hongo) en la Finca Maricao año 2012.	42
Figura 21: Distribución del número de individuos emergidos de los enemigos naturales de <i>Hypothenemus hampei</i> año 2011, 2012 y 2013. Adjuntas, Puerto Rico.....	44
Figura 22: Distribución porcentual de los enemigos potenciales de <i>Hypothenemus hampei</i> presentes en Adjuntas, Puerto Rico.	45
Figura 23: Adulto de <i>Cephalonomia stephanoderis</i> (Hymenoptera:Bethylidae), parasitoide de estados inmaduros y depredador de adultos de <i>Hypothenemus hampei</i>	46
Figura 24: Adulto de <i>Cathartus</i> sp. (Coleoptera:Cucujidae). Depredador de estados inmaduros de <i>Hypothenemus hampei</i>	47
Figura 25: Adulto de <i>Xylocoris</i> sp. (Hemiptera: Anthocoridae) depredador de estados inmaduros de <i>Hypothenemus hampei</i>	47
Figura 26: Adulto de <i>Wasmannia</i> sp. (Hymenoptera:Formicidae). Especie de hormiga encontrada dentro de frutos de café atacados por <i>Hypothenemus hampei</i> .en la finca EEA Adjuntas, año 2012	48

Figura 27: Adulto de <i>Solenopsis</i> sp. (Hymenoptera:Formicidae). Especie de hormiga encontrada dentro de fruto de café atacado por <i>Hypothenemus hampei</i> . Finca EEA Adjuntas, año 2012.....	49
Figura 28: Nido de <i>Solenopsis</i> sp. dentro de un fruto de café atacado por <i>Hypothenemus hampei</i>	49

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo <i>Beauveria bassiana</i> en la finca EEA Adjuntas, años 2011-2012. Criterio clasificación año.	69
Apéndice 2: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo <i>Beauveria bassiana</i> en la finca EEA Adjuntas, años 2011-2012. Criterio de clasificación mes.....	69
Apéndice 3: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo <i>Beauveria bassiana</i> en el municipio de Adjuntas, año 2011. Criterio de clasificación localidad	73
Apéndice 4: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo <i>Beauveria bassiana</i> en el municipio de Adjuntas. Criterio de clasificación mes	79
Apéndice 5: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo <i>Beauveria bassiana</i> en los municipios de Adjuntas y Maricao, año 2012. Criterio de clasificación localidad	81
Apéndice 6: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo <i>Beauveria bassiana</i> Municipios de Adjuntas y Maricao, año 2012. Criterio de clasificación mes	81
Apéndice 7: Correlación de la temperatura y la precipitación pluvial con el porcentaje de infestación de broca e incidencia del hongo <i>Beauveria bassiana</i>	85

DINÁMICA POBLACIONAL DE LA BROCA DEL CAFÉ *Hypothenemus hampei* (Ferrari) Y SUS ENEMIGOS NATURALES EN EL CULTIVO DE CAFÉ *Coffea arabica* L. EN PUERTO RICO

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del café, *Coffea arabica* L., es de gran importancia para la economía mundial. Se cultiva en más de 10 millones de hectáreas y es el principal producto agrícola para más de 80 países (Vega *et al.*, 2009). En Puerto Rico, aproximadamente 16.000 hectáreas se cultivan con café, produciendo 18.000 toneladas anuales con un valor a nivel de finca de 42 millones de dólares (USDA, 2009).

La principal plaga del café es *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), mejor conocida como la broca del café. Este escarabajo ocasiona daño al café al reproducirse y alimentarse del endospermo, provocando pérdidas en peso, calidad y caída del fruto (Bustillo, 2008). Esta plaga tiene un impacto directo en la producción del cafetal, afectando toda la cadena de producción desde agricultores hasta torrefactores. A nivel mundial se considera como la plaga más devastadora en el cultivo del café (Murphy y Moore, 1990; Vega *et al.*, 2002; Baker, 1999) causando pérdidas anuales de hasta 500 millones de dólares (Peterson *et al.*, 2003).

La broca del café es originaria de África y actualmente se encuentra en todos los países cafetaleros. En Puerto Rico, se informó por primera vez su presencia en el 2007 en el municipio de San Sebastián (Dunkle, 2007) y meses después se identificaron plantaciones con niveles de infestación altos en Adjuntas y Lares (Rivera, 2009). Por ser una plaga exótica, cuando llega a un lugar con

condiciones adecuadas para su desarrollo y en ausencia de enemigos naturales expresa todo su potencial biótico y alcanza niveles altos de infestación (Bustillo, 1991).

La broca es uno de los factores más limitantes en la producción de café en Puerto Rico (Rivera, 2009). Su control incrementa los altos costos de producción, ya que requiere de prácticas culturales intensivas que no se pueden realizar efectivamente debido a la falta de obreros. El uso de insecticidas es uno de los métodos de control más utilizado en los países cafetaleros para disminuir los estragos causados por la plaga. Sin embargo, los hábitos crípticos del insecto (su ciclo de vida ocurre dentro de la baya del café), hacen que la eficiencia de este método sea baja. El control químico de la broca del café, tiene consecuencias negativas sobre el medio ambiente, ya que ocasiona contaminación de cuerpos de agua y muchas áreas de crecimiento del café están dentro del área de captación de agua (CABI Bioscience, 2003).

Se han investigado numerosas alternativas para el control de la broca del café, pero los mejores resultados se han obtenido con programas de manejo integrado, en los que los principales componentes son el control cultural y el biológico. El diseño de estos programas varía de una región a otra dado que la dinámica poblacional de *H. hampei* está relacionada con la fenología de los frutos y esta a su vez depende de las condiciones ambientales de cada región (Baker *et al.*, 1992; Camilo *et al.*, 2003).

Para establecer una estrategia de manejo exitosa de las poblaciones de la broca del café, es necesario estudiar el comportamiento del insecto bajo las condiciones específicas de cada agroecosistema. Por ejemplo, saber dónde se

alberga entre una cosecha y otra, en qué momento coloniza los frutos, en qué momento es más susceptible a los métodos de control e identificar posibles agentes de control nativos que puedan ser incluidos dentro de un manejo integrado.

Con este trabajo se pretende determinar la dinámica poblacional de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari y sus enemigos naturales, en el cultivo del café *Coffea arabica* L. para dos regiones cafetaleras de Puerto Rico.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivo del café *Coffea* spp. en Puerto Rico

Mundialmente se cultivan tres especies de café, *Coffea arabica* L, *Coffea canephora* Pierre ex Froehner y *Coffea liberica* Hiern. En Puerto Rico la más cultivada es *C. arabica* y de esta sus variedades Bourbón, Mundo Nuevo, Puerto Rico 401, Caturra, Pacas, Limaní y Frontón. La producción del grano se concentra en la zona montañosa (Fig. 1) con altitudes entre los 450 y 915 msnm. Esta región reúne las condiciones climatológicas, edáficas y de luminosidad requeridas para este cultivo. En esta zona, las temperaturas fluctúan entre 19.4°C y 27°C, con un promedio de 23.8°C, la precipitación pluvial varía entre 1.900 y 2.540 mm bien distribuidos durante todo el año, presentándose normalmente un período de sequía desde finales de diciembre hasta principios de abril (EEA,1999). Actualmente hay 16.000 hectáreas cultivadas, de las cuales el 30% están bajo sombra y el 70% restante a libre exposición (USDA, 2009).

ZONA CAFETALERA DE PUERTO RICO

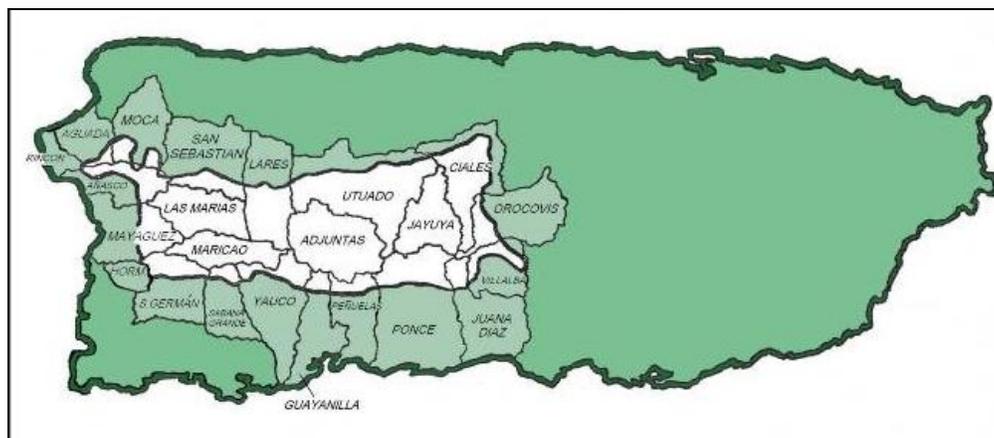


Figura 1: Mapa de la zona cafetalera de Puerto Rico (Monroig, 2013).

Dentro de los problemas fitosanitarios del cultivo del café se informan varios insectos y enfermedades. En Puerto Rico el minador de la hoja del café, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Meneville), era la plaga de mayor importancia económica antes de llegar la broca (Gallardo, 1992). Las enfermedades son causadas principalmente por hongos, nemátodos y bacterias que afectan las plantas de cafeto en diferentes etapas de desarrollo, siendo la más limitante la roya del café, *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome, hongo que afecta las hojas y puede causar defoliación total de la planta afectada y por ende grandes pérdidas en producción (EEA, 1999).

2.2 La broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari

2.2.1 Biología de la broca del café

Las hembras de la broca del café miden entre 1.4 y 1.6 mm de largo. Las hembras perforan el fruto por la corona y penetran el endospermo, donde comienza la oviposición y el daño al endospermo. La oviposición dentro de las galerías se da aproximadamente por un período de 20 días, tiempo durante el cual la hembra deposita 2 o 3 huevos diarios dentro del fruto (Damon, 2000).

La duración del ciclo de vida varía de una zona a otra dependiendo de las condiciones ambientales. El adulto, una vez emerge de la pupa, está listo para aparearse, pero dependiendo del desarrollo del fruto inicia la oviposición después de 4 a 5 días. En la zona cafetalera colombiana, el ciclo de vida se estima en 45 días a 21°C y 60 días a 18°C (Bustillo, 2008). La temperatura afecta el ritmo de oviposición de la hembra y el tiempo de duración de los distintos estados, la

hembra pone mayor número de huevos entre los 20 y 25 °C (Baker *et al.*, 1992). El período de huevo a adulto varia de 90 días a 15°C, hasta 25 días a 25°C (Costa y Villacorta, 1989). A temperaturas inferiores a 20°C, se inhibe la salida de adultos de los frutos.

La reproducción de *H. hampei* presenta una alta endogamia, con una progenie de pocos machos y muchas hembras. Los machos no vuelan y no salen del fruto, mientras que las hembras copulan con sus hermanos antes de salir de los frutos (Bustillo, 2008).

La susceptibilidad de los frutos a la broca del café se da a partir de la octava semana después de floración hasta la cosecha (Baker, 1999). Una vez la hembra inicia su oviposición, esta permanece en el interior del fruto hasta su muerte. En Colombia se ha determinado que entre el momento en que el fruto es susceptible al ataque y la cosecha pueden producirse dos generaciones. Si los frutos no se cosechan y se dejan secar en el árbol pueden darse hasta cuatro generaciones (Ruiz, 1996).

2.2.2 Factores climáticos que afectan la dinámica poblacional de la broca del café

Los factores climáticos ejercen influencia sobre la dinámica poblacional de la broca del café (Féliz, 2003). En ambientes de alta humedad relativa y escasa incidencia de luz solar, condiciones típicas de plantaciones con sombra densa, su densidad poblacional aumenta. Una mayor incidencia de luz solar reduce la humedad relativa del aire por debajo del 70% en horas de la tarde, lo que se

convierte en un factor limitante para las actividades de las hembras de la broca del café, que normalmente vuelan a estas horas en busca de nuevos frutos (Félix, 2003). Humedades relativas inferiores al 90% inhiben la salida de las hembras de los frutos, humedades entre 90 y 93% favorecen la fecundidad y reducen la tasa de mortalidad de las hembras de la plaga (Baker *et al.*, 1994).

Los periodos prolongados de sequía en los cafetales causan caída de frutos y se acelera su maduración, si los frutos que caen están brocados, el tiempo generacional es más corto y hay mayor reproducción de la broca al no recibir humedad por las lluvias. Por el contrario, si hay periodos prolongados de lluvia, las brocas no permanecen mucho tiempo en el fruto y su reproducción por consiguiente es menor (Brocarta, 1998). Las lluvias pueden afectar la actividad del insecto al impedir o reducir el tiempo de vuelo en busca de frutos para su postura, dificultando la perforación del fruto y favoreciendo el ataque de hongos entomopatógenos.

Las variaciones en temperatura tienen influencia sobre la dinámica poblacional de los insectos, sin embargo existen resultados contradictorios respecto a la broca del café. Por ejemplo, en Brasil no se encontró correlación entre los niveles de infestación de la broca del café y diferentes altitudes y condiciones ambientales (Bellini, 2007). Sin embargo, reducciones en la temperatura contribuyen a disminuir la actividad biótica y a alargar el ciclo de vida del insecto, lo que da como consecuencia una reducción en su capacidad de multiplicación (Ferreira *et al.*, 2000).

2.2.3 Dinámica Poblacional

La broca del café, se alimenta y reproduce exclusivamente en frutos de *Coffea* spp. Su potencial biótico está condicionado a la disponibilidad de frutos de café durante el año, así que los factores que afectan la fenología de la planta, afectan indirectamente el desarrollo del insecto. Entre estos factores se destacan la temperatura, la humedad relativa y la precipitación (Ferreira *et al.*, 2000).

Se ha observado que los frutos de café remanentes de la cosecha son el reservorio de la broca mientras se forman los frutos de la próxima cosecha. Desde el momento en que los frutos son susceptibles al ataque del insecto y durante todo el período de maduración, el flujo de hembras colonizando nuevos frutos es un proceso continuo. Los frutos verdes pueden albergar gran número de estados, si tienen el porcentaje de materia seca adecuado para que las hembras realicen sus posturas. No hay diferencias entre el número de brocas dentro de frutos remanentes en árboles y los que caen al suelo, sin embargo, los adultos abandonan más rápidamente aquellos que caen al suelo, si hay frutos en los árboles óptimos para ser colonizados (Fanton, 2001).

Entender la dinámica de la broca del café en el suelo es necesario para el desarrollo de estrategias de control, dado que en muchas regiones cafetaleras estos frutos son la principal fuente de inóculo. Se ha observado en diversos trabajos, que la humedad causada por la lluvia es el factor más relacionado con la emergencia de los adultos del insecto y con el abandono de los frutos caídos (Ruiz, 1996). Además, la humedad del suelo, estimula la salida de las hembras de

la broca de los frutos de café y causa la muerte de los estados inmaduros del insecto, mientras que en suelos secos permanecen en el interior del fruto, continúan su reproducción, y cuando llega la temporada de lluvia, emergen masivamente (Baker, 1994).

En estudios realizados en la República Dominicana, entre el 70 y el 86% de las brocas que emigran de los remanentes de cosecha se mantienen en estado de posicionamiento B (Fig. 2) hasta los 112 días después de floración (ddf), incrementándose posteriormente el posicionamiento D (inicio de reproducción) y el número de huevos y larvas por fruto (Camilo *et al.*, 2003).

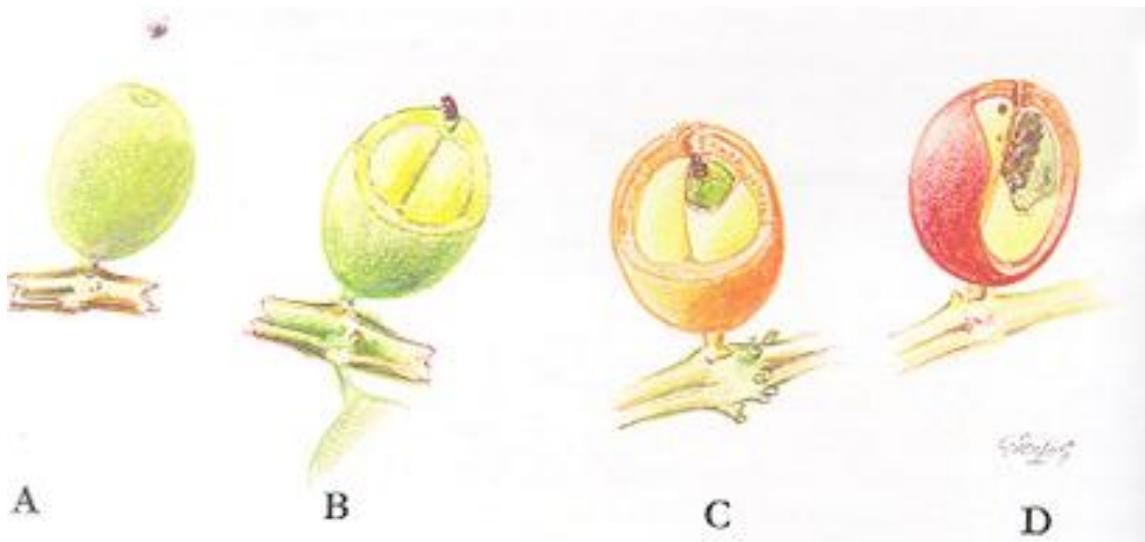


Figura 2: Posicionamiento de *Hypothenemus hampei* Ferrari en frutos de café (Dibujo por Gonzalo Hoyos – Cenicafé).

En la figura 2, se ilustran las diferentes posiciones de la broca al atacar el fruto de café. La posición A es el momento en el que las hembras empiezan a colonizar un nuevo fruto, barrenando el exocarpio. La posición B comprende la

perforación del pericarpio y mesocarpio del fruto, pero sin alcanzar el endospermo (canal de penetración). La posición C es cuando las hembras alcanzan el endospermo del fruto pero aún no han empezado a ovipositar. La posición D es cuando las hembras han formado galerías dentro del endospermo y se encuentran estados inmaduros dentro de ellas (Bustillo *et al.*, 1998).

En Cuba, la colonización de los frutos se da a partir de los 107 ddf, cuando estos aún verdes, alcanzando un 11% del peso seco. Las primeras oviposiciones se dan 137 – 152 ddf, lo que indica que los frutos están aptos para establecer la cría. Al completarse el ciclo biológico de la primera generación y hasta la cosecha en el interior de los frutos predominan los estados de huevo y larva, y se suceden hasta tres generaciones con una duración promedio de menos de 30 días (Cintrón y Grillo, 2006).

La época en la que los frutos empiezan a ser susceptibles al ataque de la broca varía de acuerdo a la localidad, en República Dominicana 77 ddf (Camilo *et al.*, 2003) y en Colombia entre los 100 y 150 ddf dependiendo de la altitud (Montoya y Cárdenas, 1994).

2.2.4 Enemigos naturales

2.2.4.1 Hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin

El hongo *B. bassiana* se encuentra infectando la broca del café en casi todas las regiones del mundo. Este hongo es su principal factor de mortalidad natural (Bustillo y Posada, 1996; Ruiz, 1996, Baker *et al.*, 1999). Una vez las esporas del hongo se adhieren al cuerpo de la broca, estas germinan y las hifas

penetran la cavidad hemocélica del insecto invadiéndolo totalmente. La muerte ocurre por deficiencias nutricionales, destrucción de tejido y por las toxinas producidas por el hongo. Las hifas continúan creciendo y el cuerpo del insecto se desintegra, el micelio sale por las partes más blandas de la cutícula, cubriéndolo con una capa blanca (Fig. 3) (Bustillo, 2002).

El ciclo de vida de *B. bassiana* sobre la broca del café, desde la inoculación del insecto hasta el desprendimiento de las esporas, toma entre 15 y 30 días dependiendo de las condiciones ambientales (González *et al.*, 1993). Una broca muerta infestada por este hongo puede producir aproximadamente 10 millones de esporas, lo que facilita su dispersión y establecimiento en los cafetales (Narváez *et al.*, 1997).



Figura 3: Síntomas de la infección causada por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* Vuill. a los adultos de *Hypothenemus hampei* Ferrari (Foto: Federación Nacional de Cafeteros).

Baker (1999) encontró que la incidencia de *B. bassiana* sobre la broca es mayor en condiciones de humedad y donde los niveles de infestación son severos. En Cuba encontraron que la enfermedad se manifiesta más severamente en los ambientes más húmedos y frescos y que ocurre principalmente entre mediados y finales de la cosecha, coincidiendo con poblaciones altas de la plaga y con meses de mayor precipitación (Vázquez *et al.*, 2010).

La sombra y un mayor nivel de humedad favorecen el desarrollo del hongo porque lo protegen de la radiación ultravioleta, aunque se requiere cierta exposición a la luz para su esporulación. En cafetales con exceso de sombrero es posible que los cadáveres de *H. hampei* no esporulen afectando la diseminación de las conidias y epizootias siguientes (Féliz, 2003). En República Dominicana, la incidencia natural del hongo se estima en 4.5%, observándose a las brocas infectadas morir en el canal de penetración sin causar daño al cotiledón (Camilo *et al.*, 2003). Bajo las condiciones de la zona cafetalera colombiana, el control natural ejercido por este hongo representa cerca del 10% de la mortalidad del insecto, lo que indica que sin su presencia, las infestaciones de la plaga serían mayores (Góngora *et al.*, 2009). En Puerto Rico, el hongo fue detectado infectando naturalmente a los adultos de la broca en seis localidades donde se cultiva el café (Gallardo, 2010).

Beauveria bassiana no ataca solamente las poblaciones de broca del café presentes en los árboles, sino también en los frutos de café que han caído al suelo después de la cosecha y que son la fuente de inóculo de nuevas infestaciones (Bustillo, 2006). Trabajos realizados para determinar la dinámica poblacional de

este hongo en el suelo bajo las condiciones de la zona cafetalera colombiana, indican que es posible recuperarlo hasta dos meses después de aplicado. No se ha encontrado una relación directa entre la abundancia del hongo (unidades formadoras de colonias) y la precipitación, pero se observó disminución en el número de propágulos después de presentarse lluvias intensas (Bustillo *et al.*, 1999).

Las aplicaciones dirigidas a frutos que caen al suelo, atacados por la broca del café, representan reducciones en las infestaciones del árbol entre el 30% y 50% y mortalidades del insecto cercanas al 40%. Adicionalmente, se produce un efecto sobre la siguiente generación de la broca del café, con reducciones hasta del 55% en el número de individuos, lo que ocasiona disminuciones importantes en las poblaciones emergentes del insecto (Vera *et al.*, 2011).

Los porcentajes de mortalidad de la broca del café, después de hacer aplicaciones del hongo en el campo, fluctúan entre el 29% y 75%. Esta eficiencia es muy variable y depende básicamente de las condiciones ambientales y del cultivo (Bustillo, 1991; Flórez *et al.*, 1997).

2.2.4.2 Parasitoides y depredadores

Debido al comportamiento críptico de la broca del café, esta pasa gran parte de su ciclo de vida en el interior del fruto y tiene un período muy corto de exposición al ambiente, lo que dificulta su control (Baker, 1999). En su hábitat natural, los parasitoides son los únicos agentes de control capaces de entrar al interior del fruto y atacar tanto estados inmaduros como adultos de la broca; de

modo que el control biológico es considerado una de las herramientas de manejo más prometedoras (Bustillo *et al.*, 1998).

Parasitoides

Exploraciones previas en busca de enemigos naturales en África, han revelado la presencia de varios parasitoides, incluyendo el braconido *Heterospilus coffeicola* Schmiedeknecht, los betílidos *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston, originarios de Costa de Marfil y Uganda respectivamente, y el eulófido *Phymastichus coffea* La Salle, reportado en Togo. Todos estos parasitoides han sido utilizados en programas de control biológico clásico en diversas regiones cafetaleras del mundo (Jaramillo *et al.*, 2009). En Chiapas, México, se observó otra especie nativa de Norte América, *Cephalonomia hyalinipennis* Ashmead atacando en el campo poblaciones de la broca del café (Jaramillo *et al.*, 2006). En Colombia se informó la presencia de una especie cuyo género es cercano a *Criptoxilos* (Hymenoptera: Braconidae), el cual es endoparásitoide de adultos de la broca (Bustillo *et al.*, 2002).

***Cephalonomia* spp. y *Prorops nasuta* Waterston**

Las hembras de los parasitoides *P. nasuta* y *C. stephanoderis*, pasan casi toda la vida dentro del fruto igual que la broca del café. Estas dos especies tienen ciclos de vida y comportamientos muy similares. Una vez ingresan al fruto, matan a la broca adulta y cierran con ella el canal de penetración para impedir el paso de cualquier otro organismo. Las hembras de estos parasitoides actúan como depredadores de huevos y larvas de primer instar de la broca del café. Además,

son ectoparasitoides de larvas de último instar, prepupas y pupas de la broca (Infante *et al.*, 2005; Orozco 2002). Las larvas de los parasitoides emergen sobre los estados de la broca parasitados y se alimentan de ellos. Posteriormente, dentro del endospermo del fruto, forman los capullos de donde emergerán los adultos (Bustillo, 2008).

La biología de *C. hyalinipennis* es similar a la de los otros dos betílidos, pero a diferencia de *P. nasuta* y *C. stephanoderis* que dejan solo un huevo por hospedero, *C. hyalinipennis* puede dejar entre 1 y 5 huevos por hospedero. Una de las características de esta especie es que bajo condiciones de laboratorio puede actuar como hiperparasitoide de las otras dos especies (Jaramillo *et al.*, 2006)

El betílido *P. nasuta*, puede encontrarse en la mayoría de los países productores de café en África (Le Pelley, 1968). El betílido, junto a otros enemigos naturales, mantiene los niveles de infestación de la broca por debajo del 1% (Orozco, 2002). Este parasitoide se ha introducido en América, Oceanía y Asia (Infante, 1998, Baker, 1999), con resultados no muy satisfactorios en muchos casos por falta de establecimiento en campo, problemas con la reproducción o bajas tasas de parasitismo (Vega *et al.*, 2009). Algunos de los países donde lograron establecerse después de las introducciones son Brasil, México, Ecuador, Honduras, y Colombia (Benavides *et al.*, 1994; Maldonado, 2007). En África, se ha observado que el 97% de los adultos de *P. nasuta* colectados en el campo se obtienen de frutos que provienen del suelo, y que la práctica de recolección de

estos frutos, que es una de las recomendaciones de manejo de la plaga en América Latina, puede estar afectando su establecimiento (Jaramillo *et al.*, 2009).

En México se estableció *C. stephanoderis*, mientras que la permanencia en el campo de *P. nasuta* no fue superior a 15 días (Infante *et al.*, 2001). La eficiencia de *C. stephanoderis* en campo depende de las densidades poblacionales de *H. hampei*, aumentando cuando las poblaciones son mayores (Benavides *et al.*, 1994).

***Phymastichus coffea* La Salle**

El eulófido *P. coffea* de origen africano, ha sido otra de las especies introducidas a América e India para el control biológico de la broca del café. *Phymastichus coffea* es un endoparasitoide gregario de adultos de la broca (Borbón, 1989). La avispa ataca a la broca cuando esta inicia la penetración de los frutos y su abdomen está aun expuesto, la hembra se coloca encima de su hospedero y penetra los élitros de la broca para realizar la oviposición, dejando 2 huevos por hospedero, un macho y una hembra (Vergara *et al.*; 2001). Sus larvas al eclosionar succionan el contenido interno de la broca, antes de empupar, el macho migra a la cabeza y la hembra al abdomen, al terminar el período pupal, la hembra rompe la parte posterior de la broca y por allí emergen los adultos (Orozco, 1997). Después de que *P. coffea* parasita a la broca del café, la movilidad de esta se afecta, detiene la oviposición y muere aproximadamente a los 12 días (Infante *et al.*; 1994).

***Heterospilus coffeicola* Schmiedeknecht**

El braconido *H. coffeicola*, es un importante enemigo natural de *H. hampei* en África (Damon, 2000). La hembra deja solo un huevo por fruto, cuando emerge la larva, se alimenta de los estados inmaduros de la broca del café, actuando como depredador. *Heterospilus coffeicola* no ha sido utilizado en programas de control biológico, porque a diferencia de las otras especies mencionadas, presenta grandes dificultades para incrementar sus poblaciones tanto en laboratorio como en el campo (Jaramillo *et al.*, 2006).

Depredadores

Los principales depredadores de la broca del café son las hormigas (Hymenoptera:Formicidae). Las hormigas penetran el fruto infestado con broca, sacan los estados inmaduros de la broca y los transportan a sus nidos (Bustillo *et al.*, 2002). En Colombia se han observado siete géneros: *Solenopsis*, *Pheidole*, *Wasmannia*, *Paratrechina*, *Crematogaster* y *Brachymyrmex*, siendo la especie *S. picea* Emery la más eficiente. En México también se han observado varias especies de hormigas, principalmente de los géneros *Pseudomyrmex*, *Azteca* y *Tapinoma* spp., las cuales depredan también a *P. nasuta*, uno de los betílicos parasitoides de *H. hampei* (Infante *et al.*, 2003)

Trabajos realizados en Colombia en busca de enemigos naturales nativos, informan la presencia principalmente de depredadores. Además de las especies de hormigas *Wasmannia* sp. y *Crematogaster* sp., se encontraron tres especies de coleópteros, *Cathartus quadricollis* (Guérin-Méneville) y *Monanus* sp. (Coleoptera:

Cucujidae) y *Prometopia* sp. (Coleoptera: Nitidulidae); tres individuos del orden Hemiptera y familia Anthocoridae, dos de ellos identificados como *Xylocoris* sp. Este último es un depredador generalista de plagas de granos almacenados (Vera *et al.*, 2007).

Bajo las condiciones de la caficultura colombiana, *Crematogaster* sp. y *Monamus* sp. son los insectos de mayor potencial como controladores de *H. hampei*. *Crematogaster* sp. no representa problemas para los trabajadores en las diferentes labores del cultivo, ni desplaza otras especies presentes en el ecosistema y *Monamus* sp., demostró alta capacidad de depredación bajo condiciones de laboratorio; además fueron las especies más abundantes en los frutos secos dejados en el árbol al final de la cosecha (Vera *et al.*, 2007).

En Cuba, como depredadores se han observado algunas especies de hormigas, *Pheidole megacephala* F., *Wasmania auropunctata* Roger, *Solenopsis geminata* F y *Pseudomyrmex* sp. (Hymenoptera:Formicidae), las cuales penetran los frutos por el orificio de entrada de la broca, depredan algunos estados inmaduros y algunas veces forman nidos en el interior de las galerías. En poblaciones muy bajas, se ha encontrado *Laemophloeus* sp. (Coleoptera:Laemophloeidae) y *Cathartus* sp. (Coleoptera:Cucujidae), cuyas larvas depredan huevos y larvas de primer instar de *H. hampei*, principalmente al finalizar la cosecha, momento en el que las poblaciones de la broca son más altas (Vázquez *et al.*, 2006)

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la dinámica poblacional de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) y sus enemigos naturales en el cultivo de café, *Coffea arabica* L., en dos regiones cafetaleras de Puerto Rico.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterizar la estructura y el crecimiento poblacional de la broca del café a través de la evaluación de a) porcentaje de infestación, b) posicionamiento de la broca respecto al desarrollo del fruto, c) proporción entre estados de desarrollo y ciclo de vida de la plaga, tanto en frutos del árbol como en frutos del suelo para las regiones en estudio.
- 2) Cuantificar la incidencia natural del hongo *B. bassiana* sobre *H. hampei* y su relación con las condiciones ambientales de la región en estudio.
- 3) Identificar la fauna asociada a frutos brocados de café tanto en el árbol como en el suelo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

El estudio se realizó en los municipios de Adjuntas y Maricao durante los ciclos productivos del 2011 y 2012. En el primer año, los muestreos se realizaron en dos localidades del municipio de Adjuntas, el primero en la Estación Experimental Agrícola (EEA)(Latitud 18°10'23.29" N, longitud 66°47'39.22" W, altitud 570 msnm), y la segunda en una finca cafetalera comercial del mismo municipio (latitud 18°10.328' N, longitud 066°47.531' W, altitud 595 msnm), con temperatura promedio alta anual de 28°C y baja anual de 10°C, precipitación media anual 1893.2 mm. El segundo año se continuó el trabajo en la EEA de Adjuntas y en una finca comercial en el municipio de Maricao (Latitud 18°12.535' N, longitud 067°00.063' W, altitud 542 msnm). En cada localidad se seleccionó un lote de 1500 m² sembrado con la variedad Limaní de 5 años de sembrado. Las evaluaciones se realizaron mensualmente.

4.2 Registros Climáticos

Las variables climáticas que se tuvieron en cuenta fueron temperatura (°C), y precipitación pluvial (mm), los registros se obtuvieron del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

4.3 Dinámica Poblacional de la Broca del café

Para determinar el porcentaje de infestación de la broca del café, durante cada ciclo productivo (2011-2012), se realizaron muestreos sistemáticos mensuales. Se seleccionó el primer árbol a muestrear al azar y se continuó el muestreo cada 5

árboles, recorriendo cada lote de café en zigzag. En cada lote se evaluaron en total 20 árboles, de cada árbol se seleccionó al azar una rama de la zona productiva, que tuviera entre 30 y 100 frutos. Se contabilizó el número total de frutos de la rama y el número de frutos brocados para determinar el nivel de infestación.

El porcentaje de Infestación se determinó de la siguiente forma:

$$\text{Porcentaje de Infestación} = \frac{\text{Número total de frutos brocados}}{\text{Número total de frutos en las ramas evaluadas}} * 100$$

Para definir la posición de la broca dentro del fruto de café, de cada sitio muestreado en el recorrido, se tomaron aleatoriamente 3 frutos brocados/árbol (60/lote) y 3 frutos brocados del suelo (60/lote), estos se disectaron en el laboratorio para su evaluación a través de estereoscopio y se determinó la posición de acuerdo a la metodología descrita por Bustillo *et al.*(1998) (Fig.2). Se contabilizó el número de estados (huevos, larvas, prepupas, pupas y adultos) por fruto para determinar la proporción de estados a través del tiempo, la duración del ciclo de vida y el número de generaciones.

4.4 Incidencia natural del hongo *B. bassiana*

Al momento de evaluar los frutos brocados en las ramas de los árboles, se contabilizaron aquellos en los que había signos de la presencia de *B. bassiana* (brocas con esporulación en el canal de penetración) (Fig.3), igualmente se contabilizaron los adultos muertos y esporulados en el canal de penetración de los frutos disectados.

La incidencia del hongo se determinó de la siguiente forma:

$$\text{Incidencia } B. \text{ bassiana} = \frac{\text{Número total de frutos con broca esporulada}}{\text{Número total de frutos brocados en las ramas evaluadas}} * 100$$

4.5 Parasitoides y depredadores

Los frutos disectados para determinar posición y proporción de estados biológicos de la broca, fueron evaluados también para determinar la presencia de posibles enemigos (depredadores o parasitoides). En ellos se analizó la presencia de especies diferentes a la broca tanto en estado adulto o inmaduro y se evaluaron signos de parasitismo como colores atípicos o estados inmaduros de parasitoides (huevos, larvas o capullos pupales) desarrollándose sobre las etapas inmaduras de *H. hampei*. Además, se disectaron los adultos de broca muertos presentes en las galerías en busca de signos de parasitismo.

Durante los ciclos productivos 2011 y 2012 en la finca EEA Adjuntas, se hicieron 10 recolecciones de café en diferentes grados de maduración (verde, maduro y seco) de acuerdo a la disponibilidad de la época. Las recolecciones se hicieron en los meses de febrero, mayo, julio, septiembre y noviembre de cada año. Se recolectaron alrededor de 25000 frutos de café (2500/muestreo, aproximadamente 5 Kg) provenientes de árboles con altos niveles de infestación de broca. Estos frutos se dejaron en jaulas de emergencia bajo condiciones de laboratorio ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ y $70 \pm 5\%$ HR) durante tres meses (Fig. 4), se monitoreo permanentemente la emergencia de adultos de broca y sus posibles enemigos. Los frutos del suelo no se pusieron en jaulas debido a su rápida descomposición.



Figura 4: Jaulas utilizadas para la emergencia de insectos asociados a frutos de café atacados por *Hypothenemus hampei*.

Los frutos se trataron en el laboratorio, para reducir la contaminación por hongos durante el tiempo de emergencia que fue 90 días. Se lavaron durante 15 minutos con un detergente, luego se enjuagaron con agua, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 2% durante 10 minutos y se enjuagaron nuevamente con agua destilada (Jaramillo *et al.*, 2009); posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente, se asperjaron con una solución fungicida de Benomil (3g/l) (el cual no afecta el desarrollo de los parasitoides ni depredadores), se dejaron secar nuevamente y se depositaron en rejillas para facilitar la limpieza periódica de los desechos (aserrín y excremento producidos por la broca).

Diariamente se observaron las jaulas, los insectos emergidos se conservaron en etanol al 70% para su identificación. La identificación se realizó

por comparación morfológica con especímenes informados en otras regiones cafetaleras y con el uso de claves entomológicas.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 20 repeticiones por localidad. Dado que los datos de infestación e incidencia de *B. bassiana* se expresan en porcentaje, para el análisis de varianza, se transformaron los datos mediante la transformación arco seno y para detectar diferencias significativas se realizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Se hicieron comparaciones entre localidades, fechas de muestreo y años.

Luego se correlacionaron (coeficiente de correlación de Pearson) el porcentaje de infestación de la broca y la incidencia de *B. bassiana* con los factores ambientales temperatura (°C) y precipitación pluvial total por mes (mm). Adicionalmente se realizó un análisis de correlación entre los niveles de infestación de la broca y la incidencia del hongo. Se usó InfoStat versión 2011e (Di Rienzo *et al.*, 2008).

6. RESULTADOS

6.1 Registro Climático

Las condiciones de temperatura durante los dos años de evaluación fueron muy similares, siendo diciembre el mes con las temperaturas promedio más bajas del año, 17.6°C en el 2011 y 18.8°C en el 2012. La temperatura promedio más alta registrada en el 2011 fue 24.4°C en el mes de octubre y en el 2012 fue 23.1°C en el mes de agosto (Fig.5).

Respecto a la precipitación pluvial (total mm mes), en el año 2011 se presentaron dos picos máximos, uno en mayo con 315.5 mm y otro en agosto con 295.5 mm, el mes más seco fue enero con 18 mm. En el año 2012, hubo tres picos, en abril 198.9 mm, agosto 181.6 mm y octubre 264.3 mm, el mes más seco fue febrero con 32.3 mm (Fig.6).

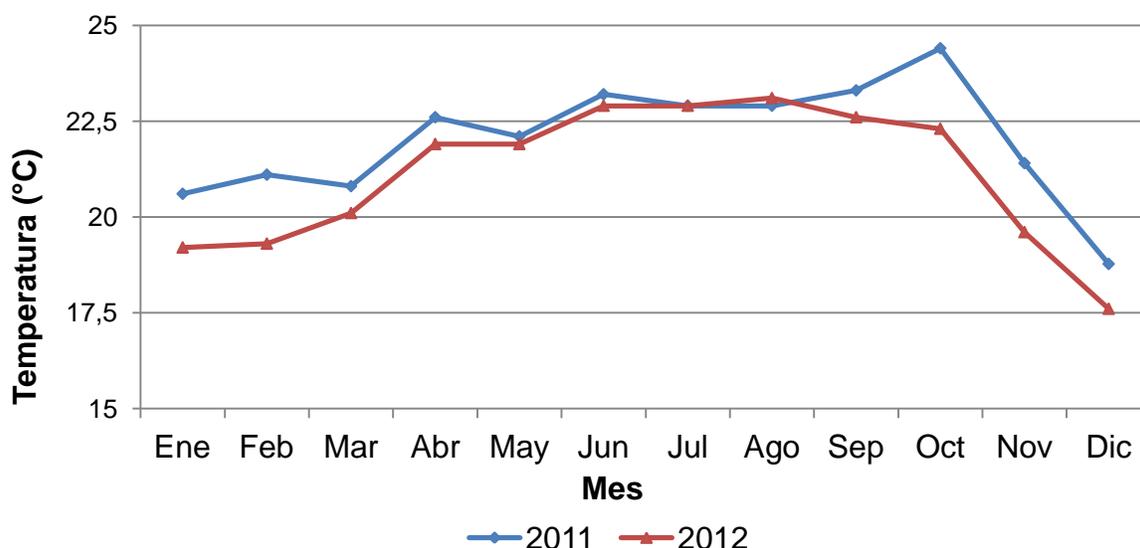


Figura 5: Registros de temperatura promedio (°C) en la finca EEA Adjuntas Puerto Rico años, 2011 y 2012.

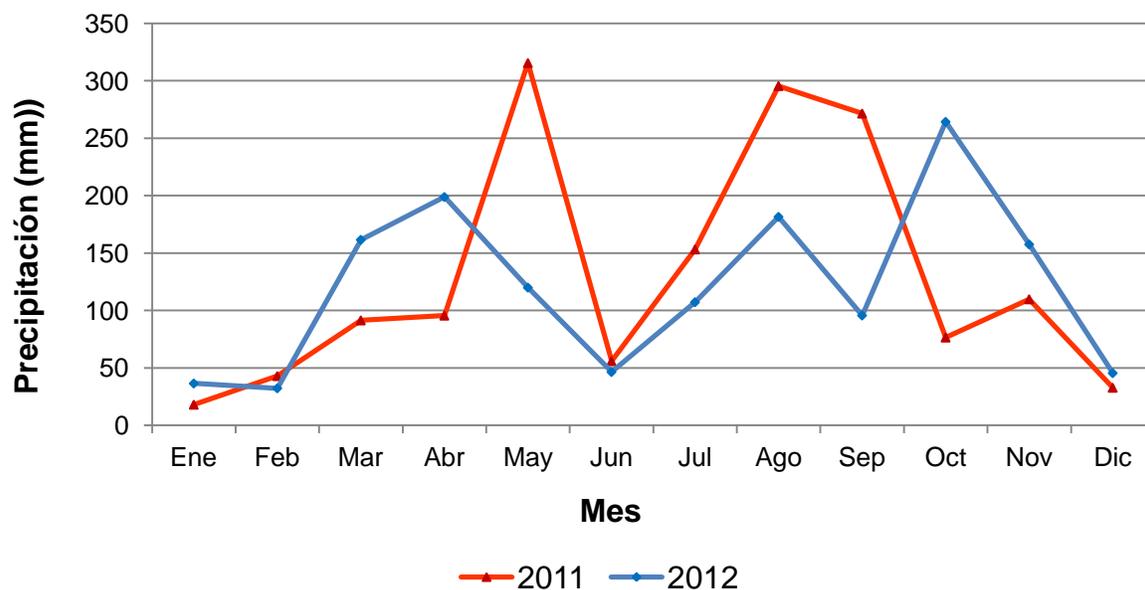


Figura 6: Registros de precipitación pluvial (total mes mm) en la finca EEA Adjuntas Puerto Rico, años 2011 y 2012.

6.2 Dinámica poblacional de la broca del café

En el ciclo productivo 2011, la floración del café en los lotes de las dos fincas de Adjuntas se observó el 20 de marzo. No se observaron diferencias fenológicas en el desarrollo del fruto durante los muestreos realizados y la cosecha terminó al mismo tiempo en los dos sitios. En el año 2012 para la finca EEA Adjuntas la floración se observó el 1 de abril y en la finca en Maricao el 4 de febrero. Se observaron diferencias fenológicas entre las dos localidades en los tiempos de desarrollo de los frutos, siendo más acelerado en el municipio de Maricao, donde la cosecha terminó en octubre, mientras que en la finca EEA Adjuntas, la cosecha terminó en diciembre.

En la EEA Adjuntas se realizaron dos muestreos de frutos secos persistentes en los árboles, 3 meses y 5 meses después de la cosecha de 2011 (marzo y mayo de 2012) para determinar el número de estados biológicos de la broca presentes en ellos. En cada muestreo, se disectaron 100 frutos y se observaron a través del estereoscopio. El 94% de los frutos fueron atacados por la broca del café. En el primer muestreo (3 meses), el número promedio de huevos, larvas, prepupas, pupas y adultos fue 1.7, 2.8, 0.1, 0.9, y 10.3 respectivamente, para un total de 15.7 estados por fruto. En el segundo muestreo (5 meses), todos los estados encontrados en el interior de los frutos fueron adultos, el promedio fue de 8.5 adultos por fruto, de los cuales el 51% estaba muerto. Estos datos permiten inferir que las brocas que colonizan los nuevos frutos de café, provienen de los frutos no recolectados en la cosecha anterior que persisten en las ramas de los árboles.

Se observó que los frutos que caen al suelo se descomponen rápidamente. El mesocarpio del fruto es fuente de alimento para organismos habitantes del suelo como moluscos y miriápodos, los cuales, en un período no mayor a 10 días dejaron expuesto el endospermo (Fig.7). En las disecciones de los frutos atacados por la broca del café, cuyos endospermos estaban expuestos, se encontró que solo se conservaba el pergamino de la semilla, el interior estaba vacío (Fig.8). Las semillas que no tuvieron daño por la broca del café germinaron (Fig.9).



Figura 7: Descomposición de frutos de café en el suelo: moluscos y miriápodos alimentándose del endospermo.



Figura 8: Semillas de café recolectadas en el suelo, atacadas por la broca del café, en proceso de descomposición.



Figura 9: Semilla de café recolectada en el suelo en proceso de germinación.

6.2.1 Porcentaje de infestación

Las hembras de la broca del café, migran de los frutos remanentes de la cosecha hacia los nuevos frutos desde los 40 ddf. El inicio del ataque se dio finalizando el mes de marzo en la finca en Maricao y a principios de mayo en la finca EEA Adjuntas. Se observó un gran aumento en los porcentajes de infestación (frutos atacados por la broca), bajo las condiciones de la EEA Adjuntas durante el ciclo productivo 2011. Este valor pasó de 14.5% en el mes de julio (105 ddf) a 32.1% en el mes de octubre (195 ddf) y finalizando la cosecha a principios de diciembre (250 ddf), el 99% de los frutos presentes en la rama habían sido atacados por el insecto (Fig.10). Durante el ciclo productivo 2012, el porcentaje de infestación inicial fue similar al del año 2011, (14% en julio, 100 ddf), sin embargo, este valor tuvo una leve disminución hasta el mes de noviembre (220 ddf), donde la proporción de frutos atacados por el insecto fue 6.7%. El máximo porcentaje de infestación registrado fue 38% y se registró al final de la cosecha, en diciembre (250 ddf) (Fig.11). No se encontró una correlación significativa, entre los porcentajes de infestación y la temperatura promedio ($r = -0.48$; $P = 0.09$) y la precipitación pluvial ($r = -0.45$; $P = 0.1$) registradas en la región durante los ciclos productivos 2011 y 2012.

La población del insecto en la finca de Adjuntas durante el ciclo productivo 2011, se incrementó a partir del mes de octubre, los porcentajes de infestación pasaron de 9.5% en el mes de julio (105 ddf) a 44% en diciembre (250 ddf) (Fig.10). En la localidad de Maricao, durante el ciclo productivo 2012, el mayor porcentaje de infestación registrado fue 4.5% en el mes de mayo (90 ddf), en los

meses siguientes, este valor disminuyó y finalizando la cosecha, en octubre (240 ddf), este valor fue 2.4% (Fig.12).

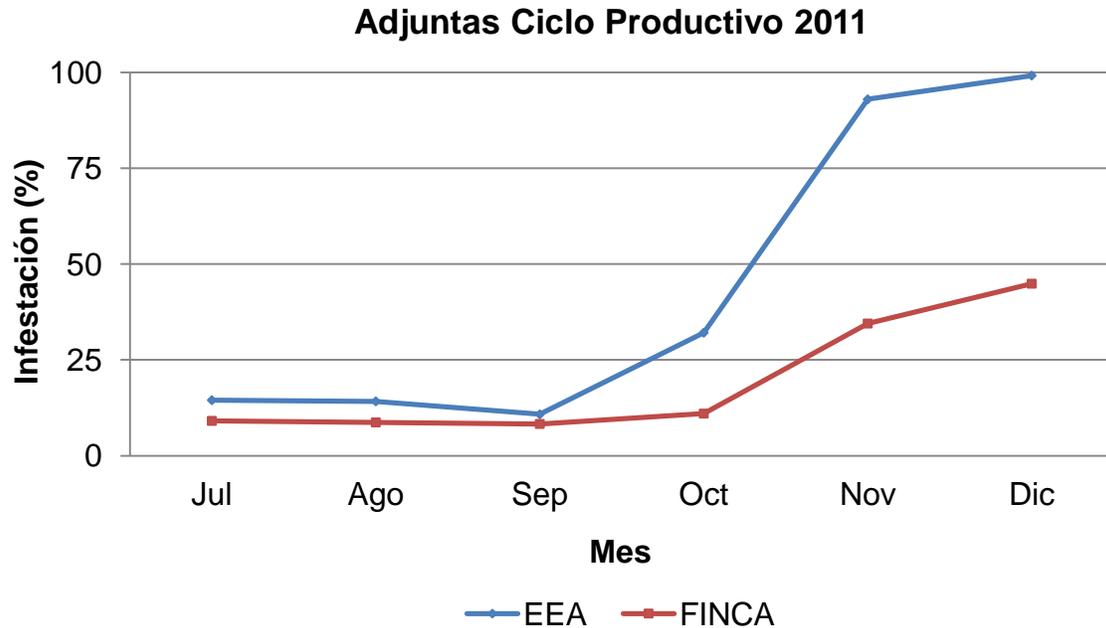


Figura 10: Porcentaje de infestación (frutos brocados) de *Hypothenemus hampei*, en dos fincas del municipio de Adjuntas, Puerto Rico año 2011.

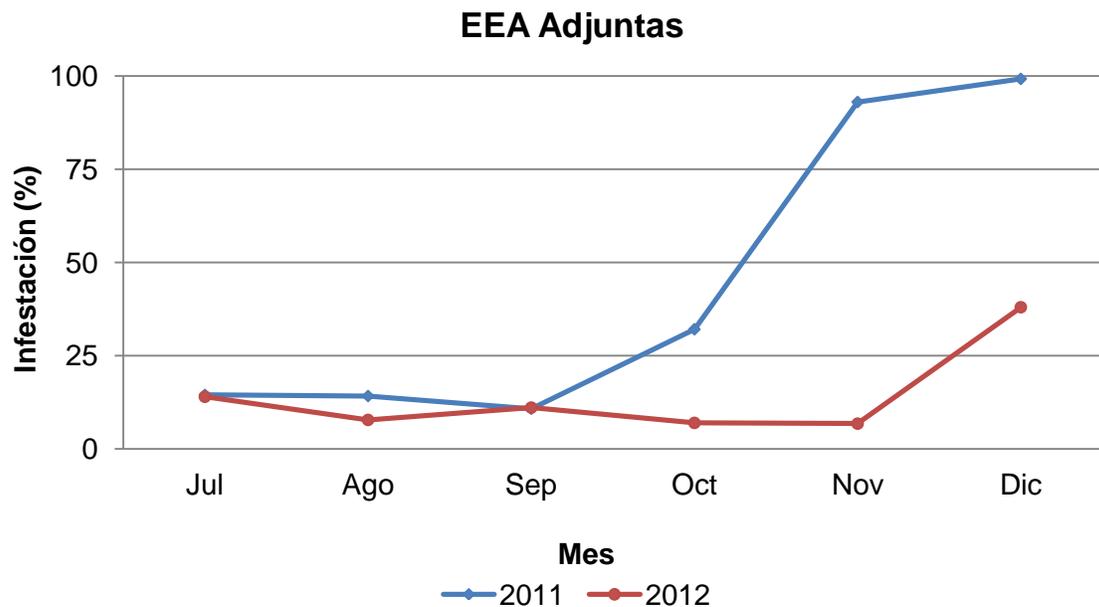


Figura 11: Porcentaje de infestación (frutos brocados) de *Hypothenemus hampei*, en la finca EEA Adjuntas, años 2011- 2012.

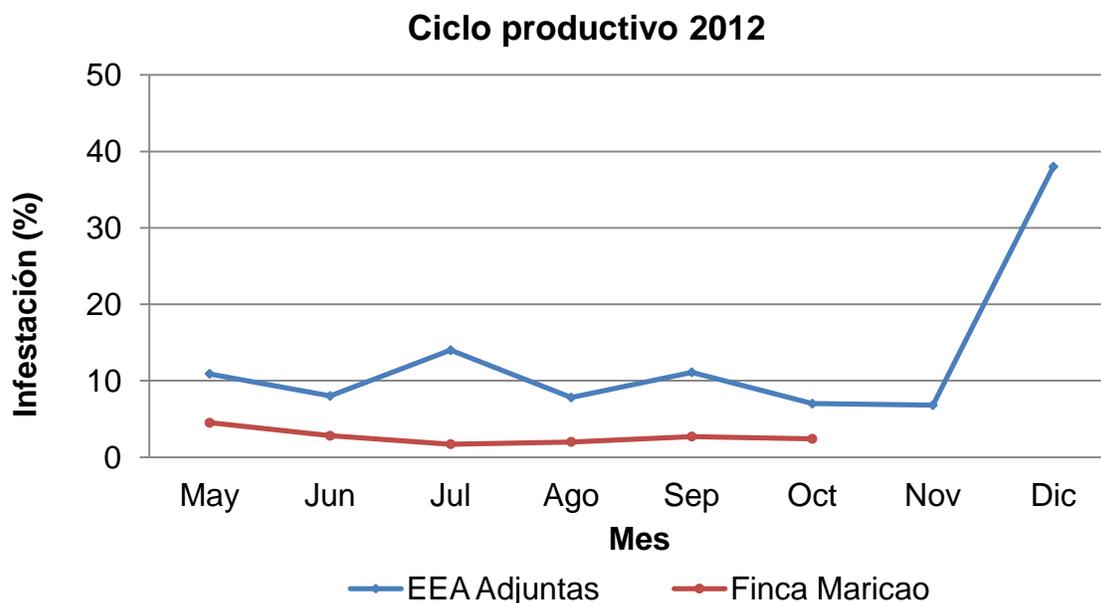


Figura 12: Porcentaje de infestación (frutos brocados) de *Hypothenemus hampei*, en las fincas EEA Adjuntas y Maricao, año 2012.

Analizando los porcentajes de infestación a través de los meses de cada ciclo productivo en la EEA Adjuntas, la prueba de comparación de Tukey al 5% de significancia encontró diferencias significativas entre todos los meses de evaluación del año 2011, excepto en agosto y septiembre. (Tabla 1). Para el ciclo productivo 2012, se encontraron diferencias significativas entre el mes de diciembre y los demás meses (Tabla 2).

Comparando cada mes del ciclo productivo 2011 con el ciclo productivo 2012 en la EEA Adjuntas, se encontraron diferencias en todos los meses de un año respecto al otro, excepto en septiembre.

Tabla 1: Porcentaje de *Hypothenemus hampei* en la finca EEA Adjuntas, Puerto Rico, año 2011.

Mes	N	Media (%)	
Agosto	20	13.94	A
Septiembre	20	9.28	A
Octubre	20	35.23	B
Noviembre	20	97.04	C
Diciembre	20	71.21	D

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)
Test: Tukey Alfa=0,05

Tabla 2: Porcentaje de *Hypothenemus hampei* en la finca EEA Adjuntas, Puerto Rico, año 2012.

Mes	N	Media (%)	
Mayo	20	9.91	A
Junio	20	7.28	A
Julio	20	13.65	A
Agosto	20	5.12	A
Septiembre	20	9.48	A
Octubre	20	6.09	A
Noviembre	20	6.09	A
Diciembre	20	44.41	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)
Test: Tukey Alfa=0,05

Durante los ciclos productivos 2011 y 2012, se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de infestación entre las localidades evaluadas durante todos los meses, exceptuando el mes de septiembre de 2011 y el mes de agosto de 2012. En la finca de Adjuntas, se presentaron diferencias en las infestaciones de noviembre y diciembre respecto a los demás meses evaluados.

6.2.2 Posicionamiento de la broca del café respecto al desarrollo del fruto

Desde abril de 2012, (40 ddf) en la finca EEA Adjuntas, empiezan a observarse en el campo los primeros ataques de la broca del café, estos frutos generalmente caen al suelo o detienen su crecimiento y son abandonados por el insecto cuando aumenta la disponibilidad de frutos con mayor contenido de materia seca en los que pueden multiplicarse. Las hembras que colonizan estos frutos, provienen del residual de la cosecha anterior y más del 50% de la población permanece en el canal de penetración (Posición B) hasta julio (105 ddf) en la finca EEA de Adjuntas y entre junio y julio (135 ddf) en la finca en Maricao. A partir de este período aumentan las Posiciones C y D y empieza el proceso de multiplicación del insecto, observándose la presencia de los primeros estados inmaduros de la broca en una alta proporción de los frutos (Fig.13 y 14).

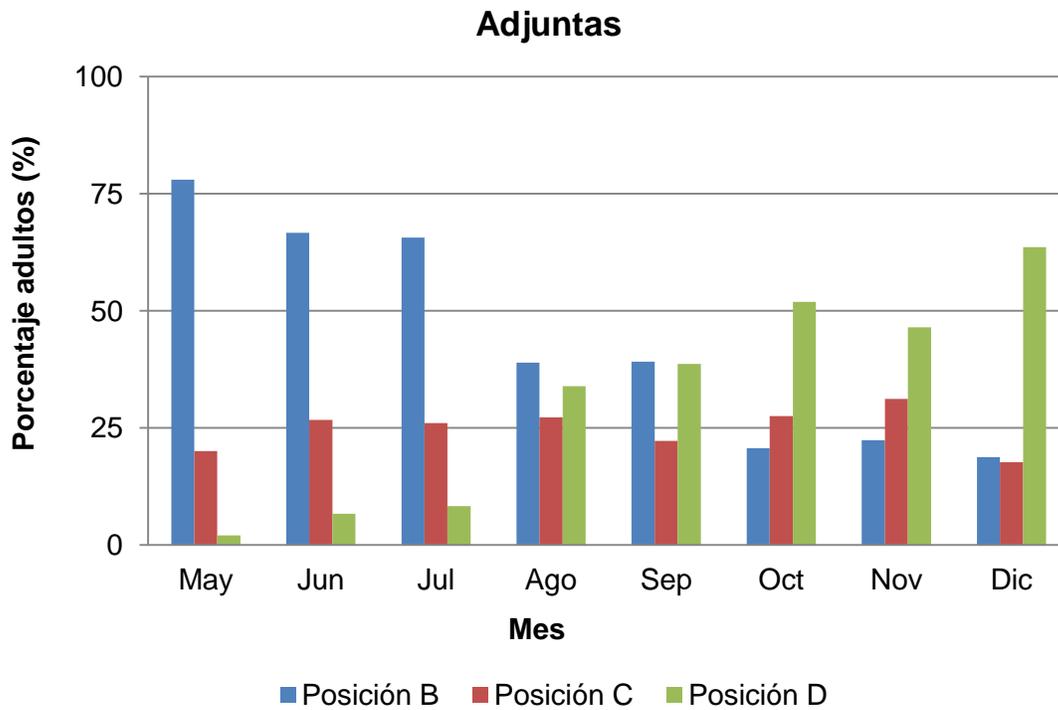


Figura 13: Posicionamiento de *Hypothenemus hampei* (%) respecto al desarrollo del fruto, en las fincas de Adjuntas, Puerto Rico.

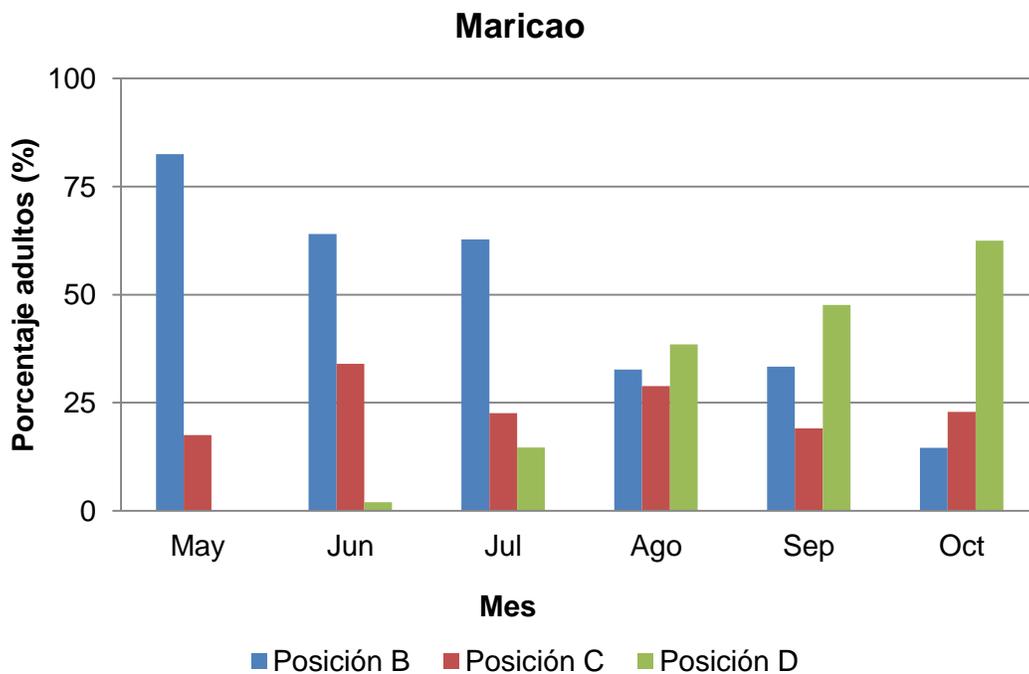


Figura 14: Posicionamiento de *Hypothenemus hampei* (%) respecto al desarrollo del fruto, en la finca Maricao, Puerto Rico.

6.2.3 Promedio de individuos de la broca del café y ciclo de vida bajo las condiciones de Puerto Rico

Los primeros estados inmaduros de la broca del café encontrados en una proporción importante de frutos (10% a 30% en Posicionamiento D), aparecen entre los 105 y 135 ddf (julio y agosto de 2012) para la EEA finca de Adjuntas (Fig.13) y entre 120 y 150 ddf (junio y julio de 2012) para la finca de Maricao (Fig.14). El mayor número de individuos (en diferente estado biológico) en promedio encontrados fue 15.1 en el mes de julio de 2012 para la finca de Maricao (Fig.16). En promedio para la localidad de Adjuntas, el máximo número de individuos fue 11.6 (Fig. 15)

Los estados biológicos predominantes durante el desarrollo del fruto fueron huevo y larva, el máximo número de estados encontrados en un fruto, incluyendo huevos, larvas, prepupas, pupas y adultos fue 22 para frutos en el árbol y 24 para frutos en el suelo en la EEA Adjuntas 2011 (Tabla 3).

En las dos fincas evaluadas en Adjuntas, año 2011, los adultos de la primera generación se observaron a partir de los 165 ddf (septiembre) El máximo número de adultos encontrados en un fruto fue 12 en el mes de septiembre para la finca EEA Adjuntas y 12 en el mes de octubre para la finca comercial. En el muestreo siguiente (179 ddf), se observó un incremento en el número de huevos y larvas y 194 ddf (principios de octubre) aparecen nuevamente frutos con un alto número de adultos, estos corresponden a la segunda generación del insecto.

En el año 2012, los adultos de la primera generación aparecen 165 ddf (septiembre) para la finca EEA Adjuntas, con un máximo de 8 adultos por fruto, mientras que en la finca en Maricao aparecen 180 ddf (agosto) con un máximo de 12.

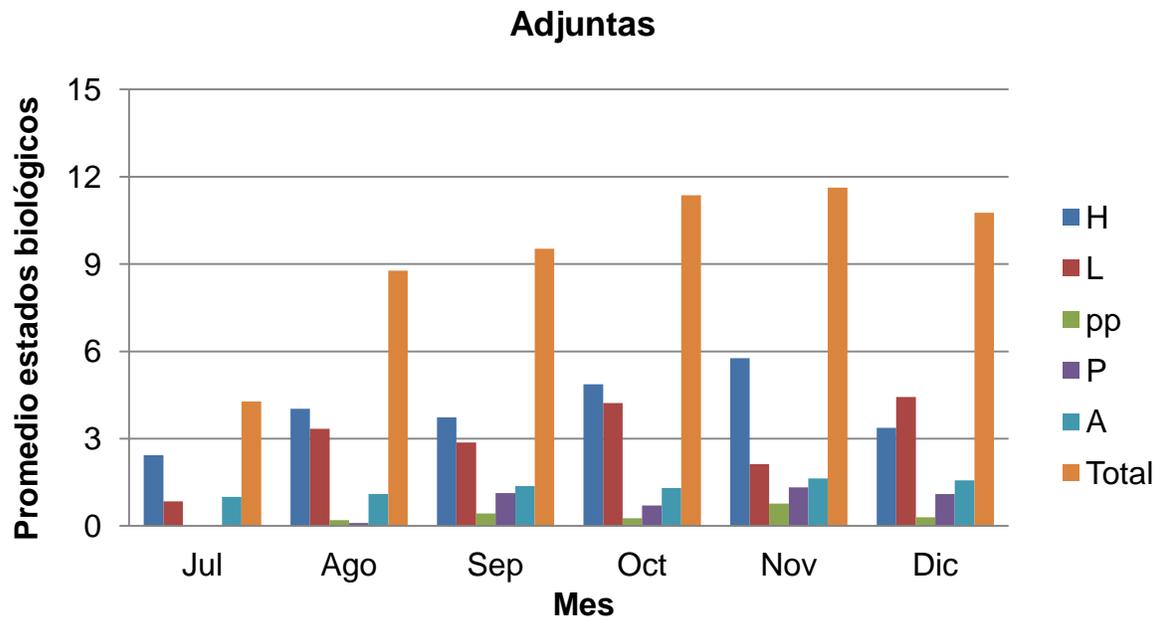


Figura 15: Promedio de individuos de *Hypothenemus hampei* para los ciclos productivos 2011-2012 en Adjuntas, Puerto Rico. (H: huevos, L: larvas, PP: prepupas, P: pupas, A: adultos)

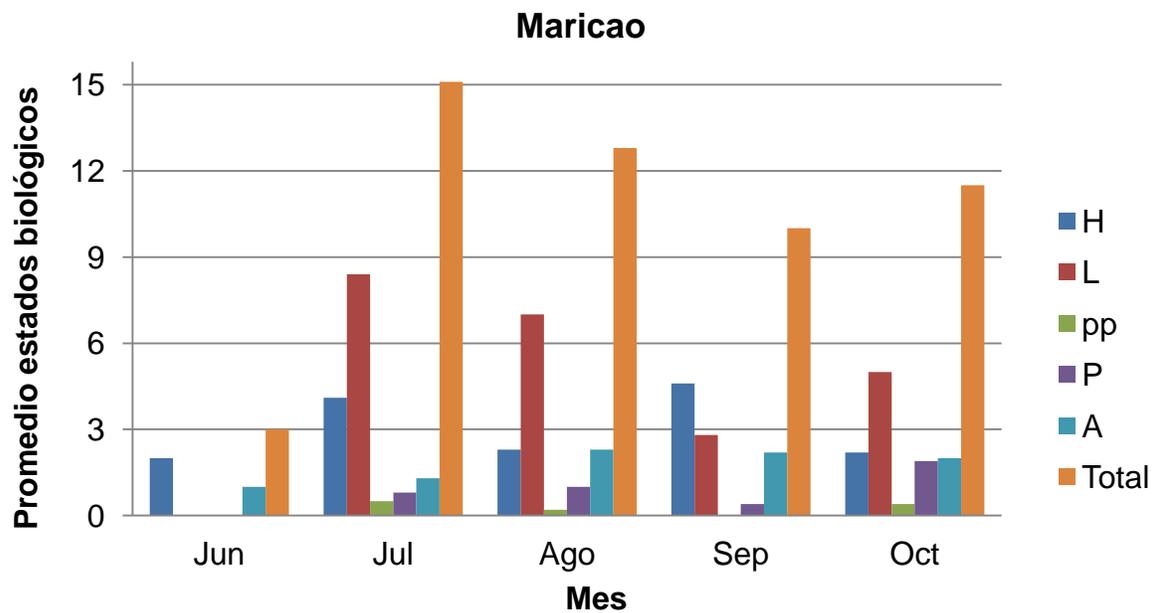


Figura 16: Promedio de individuos de *Hypothenemus hampei* para los años 2012 en Maricao, Puerto Rico. (H: huevos, L: larvas, PP: prepupas, P: pupas, A: adultos)

Tabla 3. Número máximo de individuos (EB) de *Hypothenemus hampei* por fruto y estado biológico predominante en frutos del árbol y del suelo bajo las condiciones de Puerto Rico.

ddf	Árbol		Suelo	
	N° EB / fruto	EB	N° EB /	EB
		Predominante	fruto	predominante
120	17	Huevos	-	-
150	22	Larvas	13	Larvas
165	20	Larvas	17	Prepupas- Huevos
179	16	Huevos – Larvas	-	-
194	22	Huevos – Larvas	-	-
208	22	Huevos	19	Huevos
223	16	Huevos	24	Larvas – Pupas
250	21	Huevos	21	Larvas

ddf: días después de floración

6.3 Incidencia natural del hongo *Beauveria bassiana*

6.3.1 Ciclo Productivo 2011

En la finca EEA de Adjuntas, se observó la presencia del hongo *Beauveria bassiana* infectando adultos de la broca del café durante todos los muestreos realizados. Los niveles de infección oscilaron entre 0.4% y 3.8% (Tabla 4). En la finca comercial del mismo municipio, se encontraron brocas infectadas solo en los muestreos realizados en septiembre (165 ddf) y noviembre (225 ddf), con una incidencia de 3.1% y 3.7%, respectivamente (Fig.17). Estas infecciones no se

dieron de manera generalizada dentro del lote, sino en algunos árboles en particular. En el mes de agosto (135 ddf), se encontraron diferencias significativas en la incidencia del hongo entre ambas localidades, 0% en la finca y 3.8% en la EEA (Tabla 4). Esto corresponde al nivel de incidencia más alto encontrado durante este año. El análisis estadístico a través del ciclo productivo 2011 para cada localidad (EEA y Finca), no mostró diferencias significativas en la incidencia de *B. bassiana* sobre *H. hampei* a través del tiempo (Tabla 4).

Tabla 4: Promedio del porcentaje de *Beauveria bassiana* (incidencia del hongo), infectando *Hypothenemus hampei* en los ciclos productivos 2011 y 2012.

Mes	INCIDENCIA DEL HONGO (%)			
	AÑO 2011		AÑO 2012	
	EEA Adjuntas	Finca Adjuntas	EEA Adjuntas	Finca Maricao
Mayo*	-	-	12.3 A	0 A
Junio**	-	-	12.5 A	2.7 A
Julio	-	-	5.0 B	7.4 A
Agosto***	3.8 A	0 A	6.5 B	5.0 A
Septiembre	2.1 A	3.1 A	0.7 B	0 A
Octubre	0.5 A	0 A	1.0 B	0 A
Noviembre	0.4 A	3.7 A	2.3 B	-
Diciembre	0.5 A	0 A	0 B	-

Medias con una letra común dentro de las columnas no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$). Test: Tukey Alfa=0,05

* Diferencias significativas entre EEA adjuntas y finca Maricao, mayo de 2012.

** Diferencias significativas entre EEA adjuntas y finca Maricao, junio de 2012.

*** Diferencias significativas entre EEA adjuntas y finca Adjuntas, agosto de 2011.

(-) Datos no disponibles.

6.3.2 Ciclo Productivo 2012

En la finca EEA Adjuntas, el máximo nivel de infección del hongo fue 12.5% en junio de 2012 (Fig.18). Se encontraron diferencias significativas en la incidencia del hongo en los meses de mayo y junio respecto a los otros meses de muestreo.

Comparando los niveles de incidencia del hongo entre la finca EEA y la finca en Maricao, se encontraron diferencias significativas en los muestreos de mayo y junio, los cuales fueron más altos en la finca EEA (12.3% y 12.5%) que en la finca en Maricao (0% y 2.7%) (Tabla 4).

En la finca EEA Adjuntas, durante todos los muestreos de los dos ciclos productivos (2011-2012) se observó la acción del hongo sobre la broca del café. Los niveles de infección fueron mayores en los primeros meses y disminuyeron a niveles mínimos finalizando la cosecha de cada período (0.5% en 2011 y 0% en 2012)(Figuras 17 y 19). No se encontró una correlación significativa, de la incidencia del hongo *B. bassiana* con las variables ambientales temperatura promedio ($r= 0.3$; $P= 0.29$) y precipitación pluvial ($r= -0.07$; $P=0.81$) registradas en la región. En las figuras 17, 18, 19, y 20, se observa la tendencia de aumento en los niveles de infestación cuando disminuye la incidencia del hongo, sin embargo, la correlación de estas dos variables no fue significativa, ($r= -0.44$; $P= 0.12$).

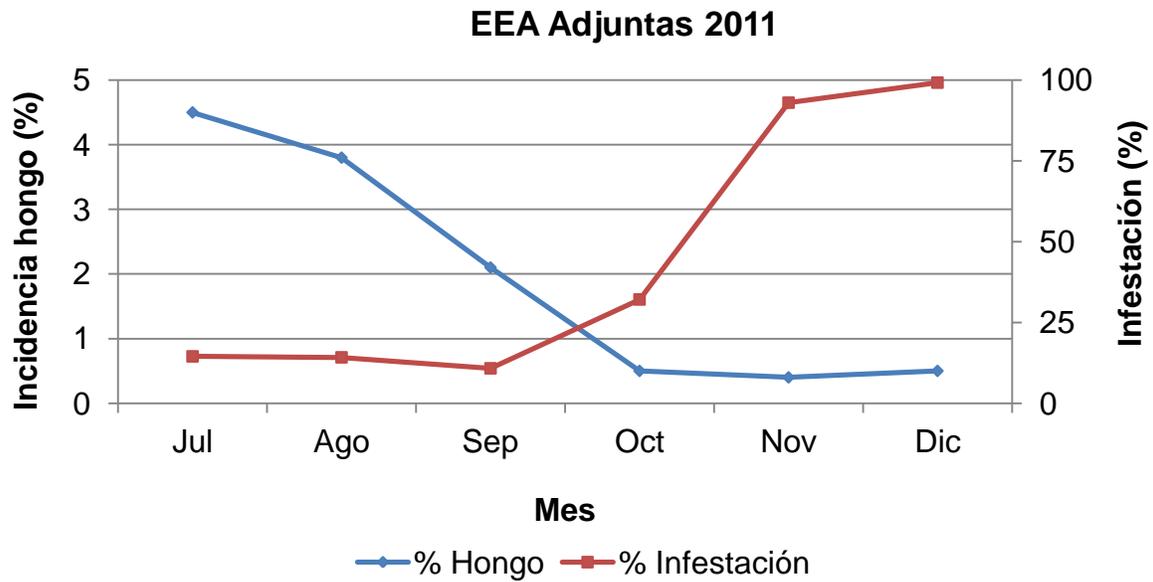


Figura 17: Porcentaje de infestación de *Hypothenemus hampei* (frutos brocados) y porcentaje de *Hypothenemus hampei* infectadas con *Beauveria bassiana* (Incidencia del hongo) en la finca EEA Adjuntas año 2011.

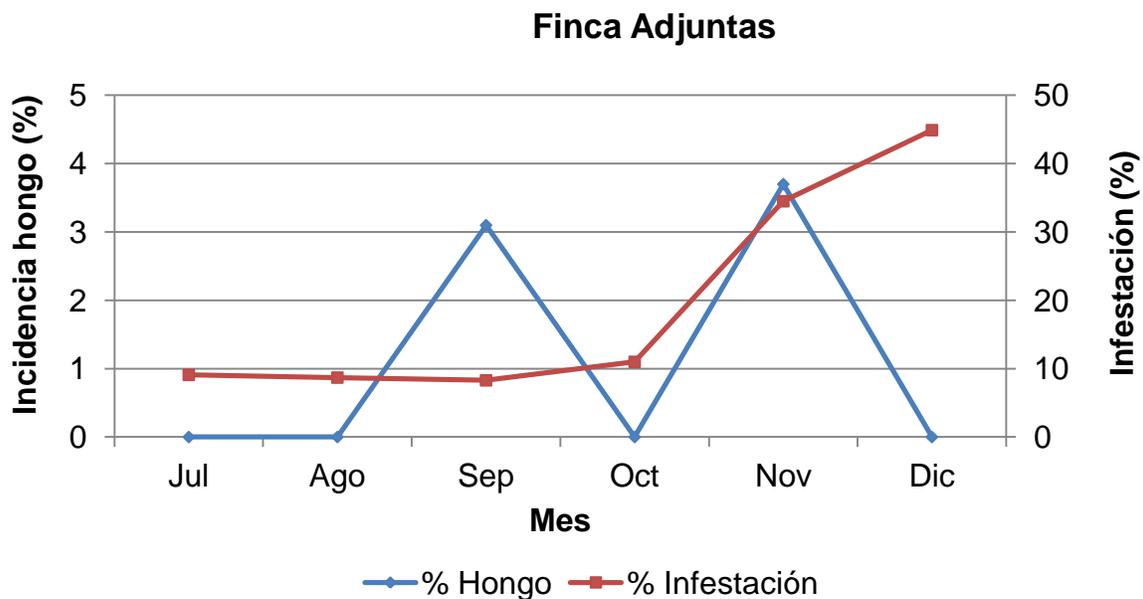


Figura 18: Porcentaje de infestación de *Hypothenemus hampei* (frutos brocados) y porcentaje de *Hypothenemus hampei* infectadas con *Beauveria bassiana* (Incidencia del hongo) en la Finca Adjuntas año 2011.

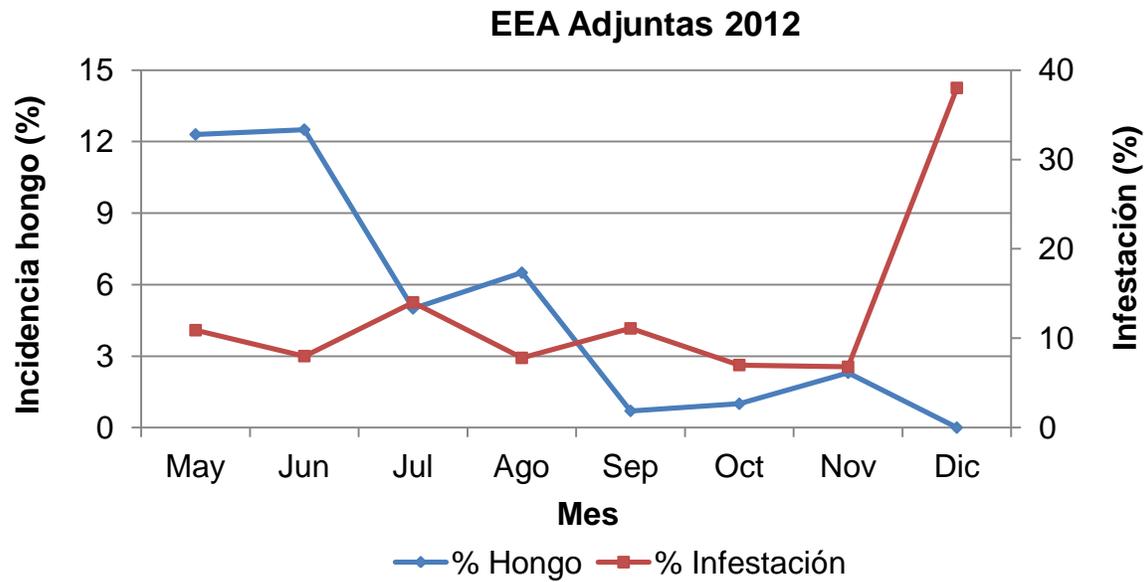


Figura 19: Porcentaje de infestación de *Hypothenemus hampei* (frutos brocados) y porcentaje de *Hypothenemus hampei* infectadas con *Beauveria bassiana* (Incidencia del hongo) en la Finca EEA Adjuntas año 2012.

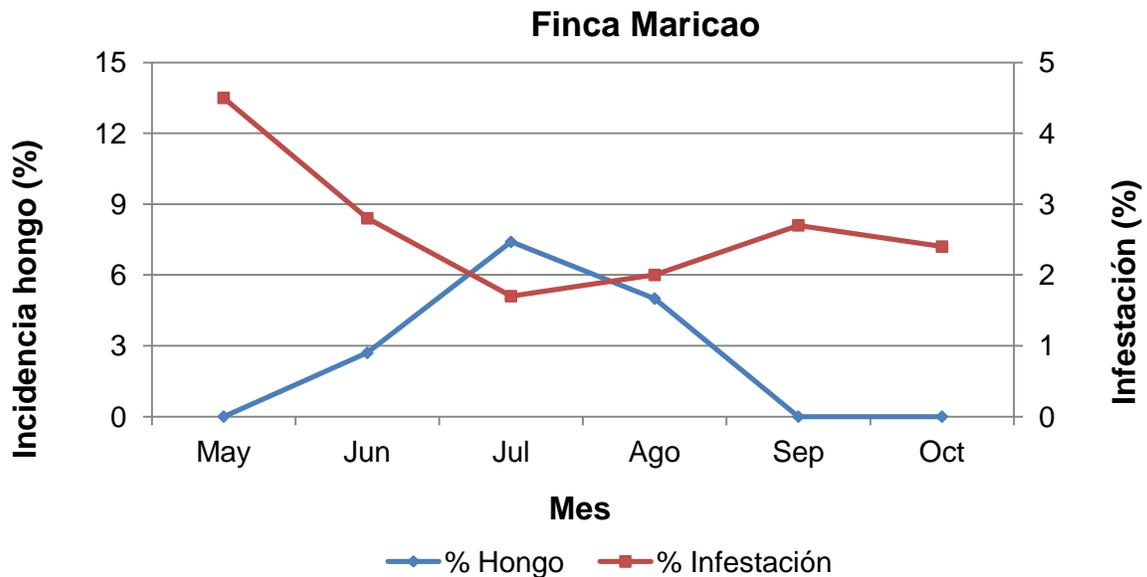


Figura 20: Porcentaje de infestación de *Hypothenemus hampei* (frutos brocados) y porcentaje de *Hypothenemus hampei* infectadas con *Beauveria bassiana* (Incidencia del hongo) en la Finca Maricao año 2012.

6.4 Parasitoides y depredadores

6.4.1 Jaulas de emergencia

De los frutos recolectados durante los ciclos productivos 2011 y 2012 y puestos en las jaulas de emergencia, en total emergieron 286 insectos de tres especies (Tabla 5). *Cephalonomia stephanoderis* (Fig. 23), parasitoide de la broca del café y dos depredadores, *Cathartus* sp. (Fig. 24) y *Xylocoris* sp. (Fig.25). La emergencia de estos insectos, se dio después de diciembre y de frutos secos remanentes de las cosechas anteriores. De las muestras de frutos verdes y maduros, no se observó emergencia de posibles enemigos.

Tabla 5: Especies de insectos recuperados de frutos de café provenientes de árboles de la finca EEA Adjuntas-Puerto Rico. Ciclos productivos 2011 y 2012.

Especie	N	Tipo de enemigo
Hymenoptera:Bethylidae <i>Cephalonomia stephanoderis</i>	225	Ectoparasitoide de estados inmaduros y depredador de adultos de <i>Hypothenemus hampei</i> .
Coleoptera:Cucujidae <i>Cathartus</i> sp.	43	Depredador de estados inmaduros de <i>Hypothenemus hampei</i> .
Hemiptera:Anthocoridae <i>Xylocoris</i> sp.	18	Depredador de estados inmaduros de <i>Hypothenemus hampei</i> .

N: número de individuos emergidos de cada especie.

La emergencia de las dos especies de depredadores fue mayor en el año 2011 que en el 2012. De la especie *Cathartus* sp., emergieron en total 43 individuos, 28 en el 2011 y 15 en el 2012, de *Xylocoris* sp., emergieron un total de 18 individuos, 14 en el 2011 y 4 en el 2012 (Fig.21). En la especie *Cephalonomia stephanoderis* por el contrario, se observó un aumento en el número de individuos emergidos a través de los años de estudio (2011-2012). En el año 2011 emergieron 25 adultos de la avispa, en el año 2012 emergieron 114 adultos y de los frutos secos remanentes de la cosecha de 2012, recolectados en abril de 2013, se recuperaron en una semana 86 adultos, para un total de 225 individuos (Fig.21).

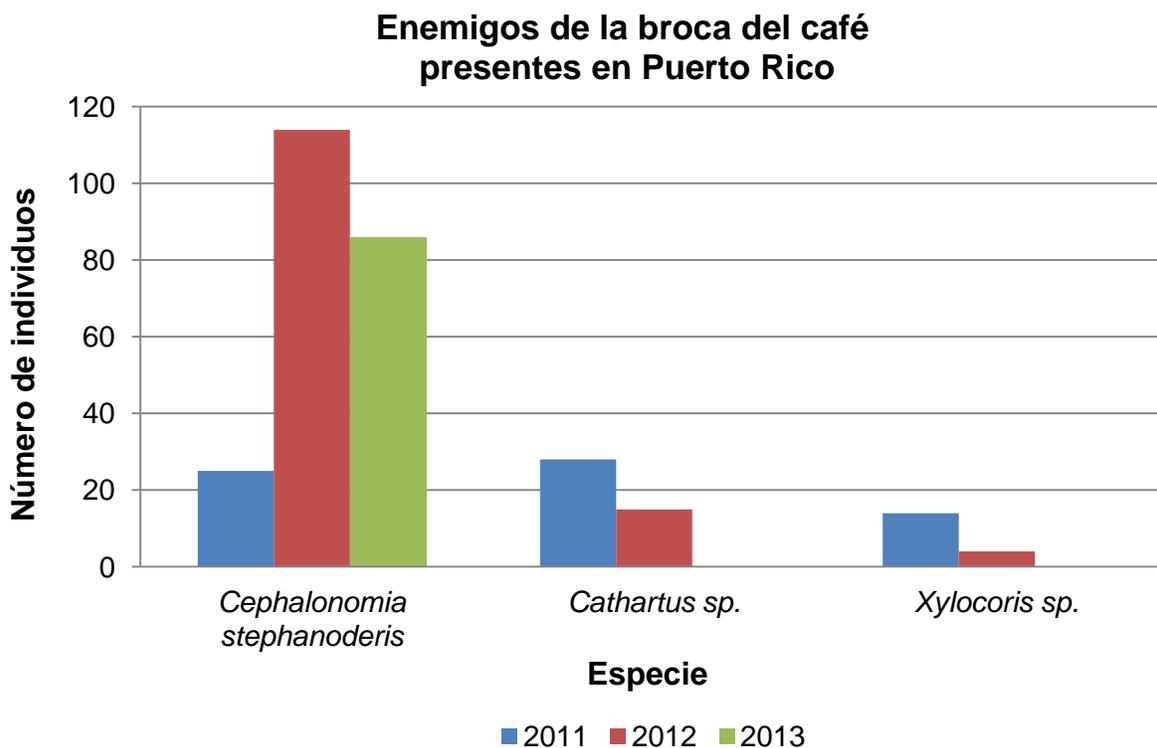


Figura 21: Distribución del número de individuos emergidos de los enemigos naturales de *Hypothenemus hampei* año 2011, 2012 y 2013. Adjuntas, Puerto Rico.

La especie de mayor abundancia, fue el parasitoide *C. stephanoderis*, el cual representó el 78.7% del total de individuos registrados, seguido por los depredadores *Cathartus* sp. (15%) y *Xylocoris* sp. (6.3%)(Fig.22).

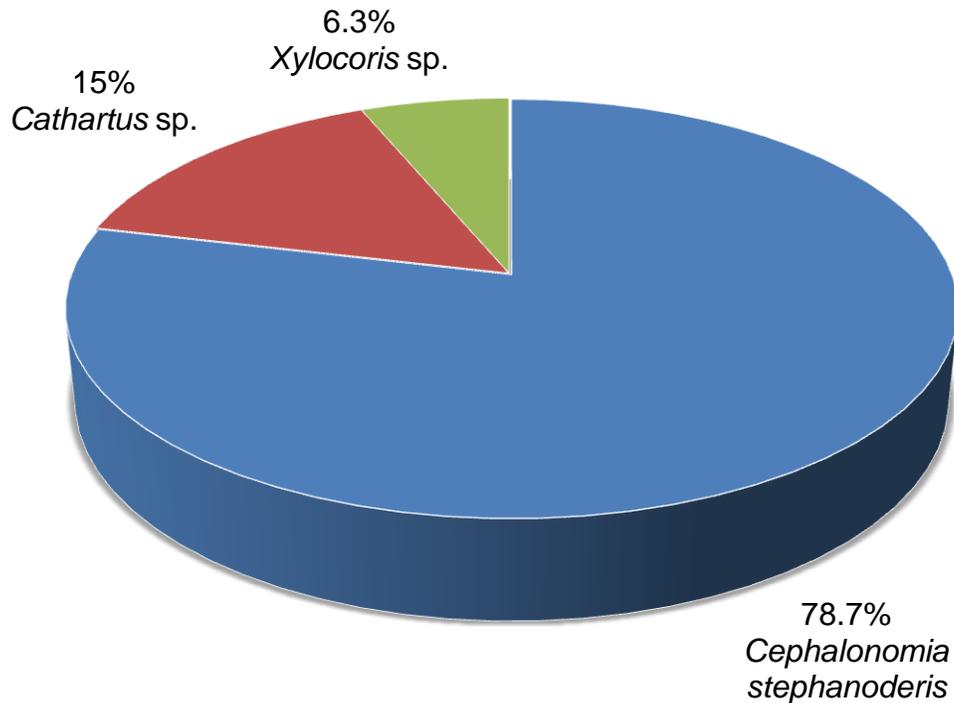


Figura 22: Distribución porcentual de los enemigos potenciales de *Hypothenemus hampei* presentes en Adjuntas, Puerto Rico.

6.4.2 Disección de Frutos

Durante los ciclos productivos 2011 y 2012, se recolectaron y disectaron un total de 2690 frutos en diferente grado de madurez, 1950 frutos del árbol y 740 del suelo, provenientes de las localidades de Adjuntas y Maricao. Estos frutos fueron disectados en el laboratorio y observados a través de estereoscopio, en busca de signos de parasitismo o depredación de los estados inmaduros o adultos de *H. hampei*.

En la recolección y disección de frutos provenientes del árbol y del suelo durante el ciclo productivo 2011, no se observaron signos de parasitismo sobre los estados inmaduros de la broca, ni evidencias de parasitismo o depredación en los adultos muertos para ninguna de las fincas muestreadas.

En la finca EEA de Adjuntas año 2012, se encontraron signos de parasitismo de la avispa *Cephalonomia stephanoderis* (cocones pupales y larvas de broca parasitadas) y presencia de adultos (1 adulto/ fruto) en 3 frutos de árboles de los 510 frutos de árboles recolectados y disectados durante este ciclo. Estos frutos fueron recolectados en diciembre, al finalizar la cosecha y representan un porcentaje de parasitismo del 0.6%.

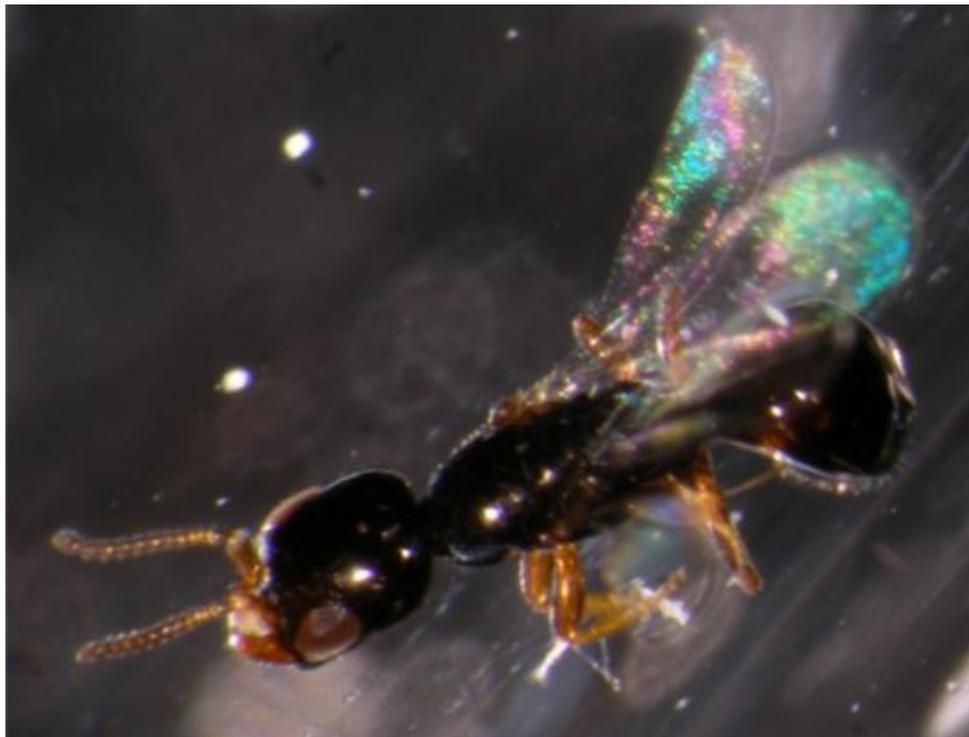


Figura 23: Adulto de *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera:Bethylidae), parasitoide de estados inmaduros y depredador de adultos de *Hypothenemus hampei*.



Figura 24: Adulto de *Cathartus* sp. (Coleoptera: Cucujidae). Depredador de estados inmaduros de *Hypothenemus hampei*.



Figura 25: Adulto de *Xylocoris* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) depredador de estados inmaduros de *Hypothenemus hampei*.

En el ciclo productivo 2012, en las finca EEA Adjuntas y Maricao, se observó la presencia de nidos de hormigas en el interior de frutos atacados por la broca (Fig. 28). Las especies de hormigas encontradas pertenecen a los géneros *Wasmania* sp. (Fig.26) y *Solenopsis* sp. (Fig. 27). Ambas especies hicieron sus nidos tanto en frutos del árbol como del suelo y se observaron durante los muestreos de agosto, septiembre y octubre. Un total de 11 frutos tuvieron presencia de nidos en su interior (5 frutos en Maricao y 6 en EEA Adjuntas), 6 frutos del árbol de los 810 frutos disectados (0.7%) y 5 frutos del suelo de 150 disectados durante este año (3.3%). El género más frecuente fue *Solenopsis* sp, presente en el 72.7% de los frutos, mientras que *Wasmania* sp, representó el 27.3% y solo se presentó en la finca en Maricao. Los frutos que tenían nidos en su interior no tenían presencia de estados biológicos de la broca del café.



Figura 26: Adulto de *Wasmania* sp. (Hymenoptera:Formicidae). Especie de hormiga encontrada dentro de frutos de café atacados por *Hypothenemus hampei* en la finca EEA Adjuntas, año 2012



Figura 27: Adulto de *Solenopsis* sp. (Hymenoptera:Formicidae). Especie de hormiga encontrada dentro de fruto de café atacado por *Hypothenemus hampei*. Finca EEA Adjuntas, año 2012.



Figura 28: Nido de *Solenopsis* sp. dentro de un fruto de café atacado por *Hypothenemus hampei*.

7. DISCUSIÓN

7.1 Dinámica poblacional de la broca del café

7.1.1 Porcentaje de infestación

Durante el ciclo productivo 2011, se observaron diferencias en la dinámica poblacional de la broca en las fincas de Adjuntas (Fig.9). Aunque los porcentajes de infestación inicial fueron similares, 9.1% en la finca y 14.5% en la EEA, se observó que a partir del mes de octubre (195 ddf), la infestación fue mucho mayor en la EEA, esto puede explicarse básicamente por problemas en la disponibilidad de mano de obra para la recolección, situación que no se presentó en la finca. Muchos frutos atacados por el insecto se quedaron en el árbol, esto permitió que este completara su ciclo de vida y que las hembras emergieran en busca de nuevos frutos, los cuales tenían las condiciones óptimas para su reproducción.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los porcentajes de infestación de los primeros meses (agosto y septiembre) respecto a los otros meses (Tabla.1). Las primeras etapas de la infestación son más lentas porque cuando la hembra ataca frutos inmaduros la oviposición ocurre más tarde (Ruiz, 1996). La oviposición ocurre en menos de 4 a 5 días en frutos mayores a 150 días de desarrollo, que tienen un peso seco del 27%, pero toma hasta 90 días cuando ataca frutos de 60 días de edad (Ruiz, 1996). Los meses en los que se presentaron las diferencias significativas, coinciden también con los periodos donde se completó una nueva generación del insecto y las hembras de esa progenie salen a colonizar nuevos frutos.

En la finca de Adjuntas durante el ciclo productivo 2011 y en la finca de la EEA Adjuntas durante el ciclo productivo 2012, se registraron porcentajes bajos de infestación de la broca durante todos los muestreos realizados. Sin embargo, al finalizar la cosecha (diciembre, 240 ddf), los porcentajes de infestación se incrementaron a 44.9% en la finca y 38% en la EEA. Estos valores no indican crecimientos importantes en la población del insecto respecto a la población inicial, sino, que al final del ciclo productivo, el número de frutos presentes en las ramas fue mínimo y la proporción de frutos atacados por la broca respecto a los totales fue mayor.

7.1.2 Posicionamiento de la broca respecto al desarrollo del fruto

El inicio de la susceptibilidad del fruto al ataque de la broca del café, varía con las condiciones de cada región, tanto por los factores ambientales que afectan la fenología del cultivo, como por la disponibilidad de frutos a través del tiempo (Bustillo, 2008). A pesar de que los frutos empiezan a verse perforados en el campo desde abril (40 ddf), solo entre julio y agosto (105 a 135 ddf para Adjuntas y 120 a 150 ddf para Maricao) empiezan a encontrarse las galerías dentro del endospermo con estados inmaduros. Esto coincide con lo encontrado por Camilo *et al.* (2003) en República Dominicana, donde los frutos comienzan a ser atacados por el insecto desde los 77 ddf pero las primeras oviposiciones ocurren a partir de los 112 ddf. Cintrón y Grillo (2006) en Cuba, encontraron que la susceptibilidad del fruto a la broca se da desde los 107 ddf y la reproducción empieza entre los 137 y 152 ddf. A partir de este período, los frutos tienen más del 20% del peso

seco acumulado, lo requerido por el insecto para garantizar el desarrollo de su progenie (Salazar *et al.*, 1993; Ruiz y Baker, 2010).

El inicio del ataque en una etapa tan temprana del desarrollo de los frutos (40 ddf) puede estar relacionado con el aumento de las precipitaciones en el mes de abril (Fig.5), lo que estimula el vuelo de las hembras que se albergan en los remanentes de la cosecha anterior y la búsqueda de nuevos frutos. Esto concuerda con los resultados de Baker *et al.* (1992) y Ferreira *et al.* (2000), quienes en sus trabajos han encontrado que el volumen de lluvia es un factor determinante para que los adultos de la broca abandonen los frutos en los que se abrigan entre una cosecha y otra.

La broca de café puede atacar frutos en cualquier estado de maduración, pero cuando ataca frutos de menos de 90 días de desarrollo, puede causar su caída prematura. Si estos no caen, la hembra permanece dentro del canal de penetración hasta que el endospermo alcanza la consistencia adecuada para iniciar su postura (Bustillo, 2008). La inactividad de la plaga en frutos inmaduros indica que estos en muchos casos son usados como refugio en vez de hospedero para su multiplicación. Cuando se ataca frutos de menos de 150 días de desarrollo, el tiempo de exposición en el canal de penetración es muy prolongado (Ruiz y Baker, 2010). Identificar la duración de este período, que en este caso fue alrededor de 70 días (abril a junio), es de gran importancia, pues esta es la época de mayor susceptibilidad del adulto a las diferentes alternativas de control químico y biológico (Fantón, 2001). Una vez la hembra perfora el endospermo, las poblaciones del insecto solo pueden controlarse con recolección oportuna o con

liberación de parasitoides que puedan entrar y atacar los diferentes estados de la broca dentro del fruto (Bustillo, 2008).

De acuerdo con el comportamiento de la broca del café bajo las condiciones de la zona cafetalera de Puerto Rico, las prácticas de manejo del insecto deben realizarse entre el final de una cosecha y el inicio de maduración de los frutos de la cosecha siguiente (diciembre a mayo). Esto concuerda, con lo encontrado en zonas cafetaleras donde se da un solo período de cosecha al año (Cure *et al.*, 1998, Fanton, 2001). Durante este período, el control debe ser dirigido a los adultos de la broca, eliminando frutos remanentes de la cosecha anterior (que son la fuente de inóculo), capturando hembras en vuelo cuando inicie la temporada de lluvia con el uso de trampas atrayentes y usando productos químicos o biológicos cuando la hembra espera en el canal de penetración a iniciar la oviposición (Posición B) (Bustillo, 2008).

7.1.3 Número promedio de individuos de la broca del café y ciclo de vida bajo las condiciones de Puerto Rico

Los muestreos de frutos 3 y 5 meses después de la cosecha de 2011 (marzo y mayo de 2012), demostraron que estos frutos contienen un gran número de estados biológicos de la broca del café, que son los encargados de colonizar los nuevos frutos. Sin embargo, el largo período entre el final de una cosecha y la disponibilidad de frutos de la siguiente, hace que los recursos sean escasos y posiblemente explican el por qué el 51% de los adultos encontrados en el muestreo de mayo (5 meses después de la cosecha) estuvieran muertos.

También, podrían explicar en parte la colonización de los nuevos frutos en una etapa tan temprana de desarrollo (40 ddf).

El inicio de la oviposición a partir de los 105 ddf (julio de 2011 y 2012) en Adjuntas y 120 ddf (junio de 2012) en Maricao, concuerda con lo encontrado en trabajos realizados en otras regiones (Camilo *et al.*, 2003; Cintrón y Grillo, 2006; Salazar *et al.*, 1993; Ruiz y Baker, 2010), donde el inicio de las posturas no se da hasta que los frutos tienen la consistencia adecuada para garantizar el desarrollo de su progenie.

La presencia de los adultos de la broca de la primera generación desde los 165 ddf (principios de septiembre de 2011) en Adjuntas, el incremento en el número promedio de huevos y larvas 179 ddf (mitad de septiembre de 2011) y la aparición de un alto número de adultos 194 ddf (principios de octubre de 2011), indican que para este mes, se han producido dos generaciones del insecto y se ha dado inicio a la tercera generación, de manera que si estos frutos no son recolectados, tendrán un alto contenido de estados biológicos en su interior, completarán su desarrollo y esperarán la formación de los frutos de la próxima cosecha. Ruiz (1996), bajo las condiciones cafeteras de la zona central colombiana, encontró que en un fruto de café, desde que es susceptible al ataque hasta la cosecha se dan dos generaciones del insecto, pero si los frutos no son recolectados, se pueden completar hasta cuatro generaciones

Analizando la proporción de estados biológicos de la broca del café bajo las condiciones de la finca EEA Adjuntas año 2011, se observa que la época de

aparición de los adultos de la primera generación se dio 165 ddf y los de la segunda generación 194 ddf. Se puede concluir que el ciclo de vida del insecto dura aproximadamente 30 días bajo las condiciones de las fincas de Adjuntas. Esto se corrobora observando la figura 10, hubo tres períodos de incremento del número de huevos, el primero entre julio y agosto, el segundo entre septiembre y octubre y el tercero entre noviembre y diciembre, que corresponden a las épocas de colonización de nuevos frutos por parte de la hembra de la broca. La aparición de los primeros adultos casi dos meses después de los ataques iniciales y la segunda generación en un período de 30 días, concuerdan con lo encontrado por Ruiz (1996), ya que el período de pre-oviposición cuando los frutos poco desarrollados son atacados es más prolongado y retarda el ciclo.

7.2 Incidencia natural del hongo *Beauveria Bassiana*

En general se observó que el nivel de incidencia de *B. bassiana* sobre *H. hampei* fue mayor en la finca EEA de Adjuntas que en las fincas comerciales en Adjuntas y Maricao para los ciclos productivos (2011-2012)(Tabla 4). Esto puede deberse a que los niveles de infestación de la broca del café siempre fueron mayores en la finca EEA (Fig.16, 17, 18 y 19), coincidiendo con lo encontrado por Baker (1999) y Vázquez (2010), quienes observaron que la incidencia del hongo es mayor cuando las poblaciones de la plaga son altas y con condiciones de alta humedad.

En muchas de las interacciones hospedero-patógeno, se observa que las altas densidades del hospedero favorecen altos niveles de infección por hongos, lo

que sugiere que se requiere exceder una mínima densidad poblacional del hospedero para que ocurra el inicio de la epizootia (Monzón *et al.*, 2008).

La correlación entre la incidencia del hongo y el nivel de infestación de broca no fue significativa ($r = -0.44$; $P = 0.12$), esto coincide con lo informado por Bustillo (2005), quien no encontró diferencias entre los niveles de infección de *B. bassiana* después de aplicarlo en campos con diferentes niveles de infestación de *H. hampei*.

Monzón *et al.* (2008) evaluaron la incidencia natural de *B. bassiana* sobre las poblaciones de *H. hampei* en plantaciones en las que no se había aplicado el hongo y tampoco encontraron una correlación significativa entre la densidad poblacional de la plaga y la incidencia del hongo. Otros trabajos, por el contrario, han encontrado correlaciones positivas, como lo informado por De la Rosa *et al.* (2000). Posiblemente, realizar los muestreos mensuales durante dos ciclos productivos, no arroja un número suficiente de datos para realizar un análisis que permita concluir si hay una correlación significativa entre estas dos variables.

En la finca EEA de Adjuntas, se observó que la incidencia de *B. bassiana* sobre *H. hampei* fue mayor en los primeros muestreos, cuando se dan los ataques iniciales de la broca del café y fue disminuyendo a través del tiempo, hasta ser casi nula finalizando la cosecha. Estos valores oscilaron entre 3.8% y 0.5% en el 2011 y 12.5% y 0% en el 2012 (Tabla 4). Esta tendencia difiere de lo encontrado en otras regiones cafetaleras, donde la presencia del hongo es mayor entre mediados y finales de la cosecha (Baker, 1999; Vázquez *et al.*, 2010). Una

posible explicación de esta dinámica del hongo bajo las condiciones de Puerto Rico, puede ser el largo período de tiempo que pasa la hembra en el canal de penetración, desde los 40 ddf hasta los 105 ddf, momento en el que comienza su reproducción (entre abril y junio). Esta época coincide con un incremento en las precipitaciones de la región, lo que favorece la diseminación del hongo en el momento en el que la hembra se encuentra expuesta y susceptible a la acción del patógeno.

7.3 Parasitoides y depredadores

El parasitoide *Cephalonomia. Stephanoderis* y los depredadores *Cathartus* sp, *Xylocoris* sp, *Solenopsis* sp y *Wasmania* sp, que se han encontrado bajo las condiciones cafetaleras de Puerto Rico, han sido informadas en otras regiones del mundo donde se ha establecido la plaga (Bustillo *et al*, 2002; Infante *et al.*, 2003; Vázquez *et al.*, 2006; Vera *et al.*, 2007; Jaramillo *et al.*, 2009).

Sobresale la presencia del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* sin haber realizado introducciones previas de este insecto a la isla. Esta es una de las especies de origen africano, que junto a otros enemigos naturales de la broca en su lugar de origen mantiene los niveles de infestación por debajo del 1% (Orozco, 2002). Este insecto ha sido uno de los parasitoides más utilizados en los programas de control biológico clásico, se ha introducido en América, Oceanía y Asia (Infante, 1998; Baker, 1999), con resultados no muy satisfactorios en muchos casos por falta de establecimiento en campo, problemas con la reproducción o bajas tasas de parasitismo (Vega *et al.*, 2009).

Los 225 adultos de la avispa emergidos de frutos de café secos y 0.6% de frutos parasitados en la finca EEA de Adjuntas, indican que el parasitoide ha encontrado condiciones que favorecen su establecimiento en la región. Su presencia se ha observado durante el año 2011, 2012 y 2013 y el número de individuos que se han recuperado en las jaulas de emergencia ha aumentando cada año, pasando de 25 en el 2011 a 114 en el 2012 y 86 en lo que va de 2013 (Fig. 21), esto corrobora su capacidad de establecimiento.

La emergencia del parasitoide se dio a partir de frutos secos recolectados de árboles después de finalizada la cosecha, momento en el que generalmente los porcentajes de infestación de la broca en el campo son mayores y hay mayor disponibilidad de estados biológicos para su multiplicación. Los frutos secos remanentes en los árboles, constituyen la fuente de infestación de broca de la cosecha siguiente, sin embargo, también son el refugio del parasitoide, por lo tanto, la práctica de eliminar los remanentes de cosecha puede estar retirando poblaciones importantes de la avispa y afectando el aumento de sus poblaciones en el campo.

A diferencia de *C. stephanoderis*, el número de individuos emergidos de las especies *Cathartus* sp. y *Xylocoris* sp. disminuyó a través del tiempo (Fig. 21). Su emergencia fue mayor en el año 2011, y se dio a partir de frutos secos recolectados después de finalizada la cosecha, cuando los niveles de infestación de broca son más altos y el número de estados inmaduros en el interior del fruto es mayor, coincide con lo encontrado en Cuba por Vázquez *et al.* (2006). Estas especies han sido informadas en otros países como depredadoras de estados

inmaduros en pruebas de laboratorio (Vera *et al.*, 2007), inclusive se informan especies de estas familias presentes en Togo y Costa de Ivore en África, sin embargo, no han sido de impacto en la regulación de las poblaciones de la broca (Vázquez *et al.*, 2006).

Los géneros de las hormigas encontrados, *Wasmania* sp y *Solenopsis* sp, también han sido reportados en otras zonas cafetaleras donde la plaga está presente (Bustillo *et al.*, 2002, Vázquez *et al.*, 2006; Vera *et al.*, 2007). A pesar de ser depredadoras de todos los estados biológicos de la broca del café, estas hormigas no se han incluido dentro de programas de control biológico debido a las bajas frecuencias en los frutos atacados por el insecto. Adicionalmente, *Wasmania* sp, causa picazón a los humanos y desplaza otras especies de hormigas e invertebrados presentes en el ecosistema cafetero (Vera *et al.*, 2007).

8. CONCLUSIONES

- Los adultos de la broca se albergan en los frutos remanentes en los árboles entre una cosecha y otra. Los primeros ataques en los cafetales se observan desde los 40 días de desarrollo del fruto, a partir de este período se observa un incremento permanente de los niveles de infestación. La magnitud de este incremento depende del número de frutos maduros, sobremaduros y secos que se quedan en los árboles
- Los frutos brocados que caen al suelo, se descomponen rápidamente por efecto de las condiciones ambientales y por la acción de la fauna asociada, de manera que no constituyen una fuente de infestación de broca importante.
- Las primeras oviposiciones de la broca del café se dan a partir de julio (105 ddf) en las fincas de Adjuntas y entre junio y julio (135 ddf) en la finca en Maricao. Desde abril hasta julio, los adultos de la broca permanecen en el canal de penetración (posición B) y es el período de mayor susceptibilidad del insecto a las diferentes medidas de control.
- La duración del ciclo de vida de la broca del café bajo las condiciones de la zona cafetalera de Puerto Rico es de 30 días y pueden darse hasta tres generaciones durante un ciclo productivo.
- El hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* se encuentra presente naturalmente en la región cafetalera de Puerto Rico.

- *Beauveria bassiana* es capaz de ocasionar mortalidad significativa a la broca de café naturalmente, con incidencias hasta del 12.5% sin necesidad de ser aplicado artificialmente.
- La incidencia del hongo es mayor al comienzo del ataque de la broca ya que la alta humedad producto de las lluvias al comienzo del verano favorece su esporulación y diseminación.
- El parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* se encuentra presente en la región cafetalera de Puerto Rico.
- La oferta ambiental de la zona cafetalera de Puerto Rico, ha permitido el establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* en la región. El aumento en el número de adultos de la avispa recuperados de frutos de café desde Junio de 2012 hasta mayo de 2013, demuestran su capacidad de adaptación.
- El parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* se observa principalmente al finalizar la cosecha, dentro de frutos remanentes en los árboles con altos niveles de infestación de broca.

9. RECOMENDACIONES

- Las prácticas de manejo del insecto en Puerto Rico, deben realizarse entre el final de una cosecha y el inicio de maduración de la cosecha siguiente (diciembre a julio).

- El control debe ser dirigido a los adultos de la broca:
 - Eliminando remanentes de cosecha de los árboles.
 - Usando trampas atrayentes de adultos desde el inicio de la temporada de lluvias hasta inicio de maduración de frutos (finales de marzo a julio).
 - Control químico y/o biológico mientras la hembra esta en el canal de penetración (posición B) (entre abril y julio).

- Poner frutos secos remanentes de la cosecha en jaulas de exclusión dentro de los lotes, para que eviten la salida de adultos de la broca pero permitan la emergencia de adultos de *Cephalonomia stephanoderis* y así favorecer el aumento de la población en el campo.

10. LITERATURA CITADA

Baker, P.S., J.F. Barrera, A. Rivas, 1992. Life history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern México. *Journal of Applied Ecology* 29: 656-662.

Baker, P., A. Rivas, R. Balbuena, J.F. Barrera, 1994. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Entomologia Experimentales et Applicata* 71: 201-209.

Baker, P.S., 1999. The coffee berry borer in Colombia. Final report of the DFID-Cenicafé - CABI Bioscience IPM for coffee project. Chinchiná (Colombia), DFID – Cenicafé. 154 p.

Bellini, L., 2007. A cafeicultura e caracterização do manejo da broca do café na região de Viçosa, Minas Gerais. M.S. Dissertação Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 72 p.

Benavides, P., A. Bustillo, E. Montoya, 1994. Avances sobre el uso del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hym:Bethylidae) para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. *Revista Colombiana de Entomología*, 20(4):247-253.

Borbón, M., 1989. Bioecologie d'un ravageur des baies de cafeier. *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera:Scolytidae) et de ses parasitoides au Togo. PhD thesis, Université Paul Sabatier de Toulouse, France. 185 p.

Brocarta-Cenicafé, Centro Nacional de Investigaciones de Café., 1998. La broca del café y su relación con los fenómenos climáticos. Boletín informativo de la Broca del Café. (Colombia), Brocarta N° 34, 4 p.

Bustillo, A.E., 1991. Perspectivas de Manejo Integrado de la Broca del Café, *Hypothenemus hampei* en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología. Socolen, Medellín, Colombia. Miscelánea N° 18, Pp. 106–118.

Bustillo, A., F. Posada, 1996. El uso de entomopatógenos en el control de la broca del café en Colombia. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 42:1-13

Bustillo, A., R. Cárdenas, D. Villalba, P. Benavides, J. Orozco, F. Posada, 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*, en Colombia. FNC-Cenicafé. Editorial Feriva S.A. Cali, Colombia. 134 p.

Bustillo, A., M. Bernal, B. Chaves, P. Benavides, 1999. Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) populations emerging from fallen coffee berries. *Florida Entomologist* 82 (4):491-498.

Bustillo, A., 2002. El manejo de los cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. FNC-Cenicafé, Chinchiná, Colombia. Boletín técnico N° 24, 40 p.

Bustillo, A., M. Cárdenas, F. Posada, 2002. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera:Scolytidae) in Colombia. In: Neotropical Entomology 31(4):635-639.

Bustillo, A., 2005. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera:Curculionidae: Scolytinae). Rev. Acad. Colomb. Cienc.29, 55–68.

Bustillo, A., 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae), en Colombia, Revista Colombiana de Entomología 32:101-116.

Bustillo, A., 2008. Aspectos sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia. En: Los Insectos y su Manejo en la Caficultura Colombiana. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, Pp. 387-426.

CABI Bioscience, 2003. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). <http://pest.cabweb.org/Archive/Pestofmonth/cbb.htm#10>

Camilo, J.E., F. Olivares, H. Jiménez, 2003. Fenología y reproducción de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. Agronomía Mesoamericana 14 (1):59-63

Cárdenas, A., 2006. Evaluación de la eficacia de mezclas de cepas del hongo *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei* (Ferrari)). Tesis Agronomía Universidad de santa Rosa de Cabal UNISARC, Colombia. 61p.

Cintrón, B. y H. Grillo, 2006. Caracterización de la dinámica poblacional de la broca del café (*Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Curculionidae: Scolytidae) durante el desarrollo de los frutos. *Centro Agrícola* 33 (3): 55–60.

Costa, T., A. Villacorta, 1989. Modelo acumulativo para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) com base em suas exigências térmicas. An. Soc. Entomol. Brasil, 18:91-99.

Cure, J., R. Santos, J. Moraes, E. Vilela, A. Gutierrez, 1998. Ecologia, comportamento e binomia. Fenologia e Dinâmica Populacional da Broca do Café *Hypothenemus hampei* (Ferr) Relacionadas às Fases de Desenvolvimento do Fruto. An. Soc. Entomol. Brasil 27(3):325-335.

Damon, A., 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bulletin of Entomological Research 90, 453–465.

De La Rosa, W., R. Alatorre, J. Barrera, C. Toriello, 2000. Effect of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes) upon the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) under field conditions. Econ. Entomol. 93, 1409-1414.

Di Rienzo J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada, C. Robledo, (2008). *InfoStat, versión 2011*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Dunkle, R., 2007. Detection of Coffee Berry Borer in Puerto Rico. Report of USDA. DA-2007-37 september 14, 2007 1p.

Estación Experimental Agrícola Río Piedras, 1999. Conjunto Tecnológico para la producción de café. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, 36 p.

Fanton, C., 2001. Ecología da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) na zona da Mata de Mina Gerais. PhD. Tese Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 57 p.

Félix, D., 2003. Incidencia de la Broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari 1867) y sus controladores naturales en plantas de café bajo diferentes tipos de sombra en San Marcos, Nicaragua. M.S. Tesis Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 75p.

Ferreira, A., V. Bueno, J. Moraes, G. Carvalho, J. Bueno, 2000. Dinâmica Populacional da Broca-do-Café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) em Lavras, MG. An. Soc. Entomol. Brasil 29(2): 237-244.

Flórez, E., A. Bustillo, E. Montoya, 1997. Evaluación de equipos de aspersión para el control de *Hypothenemus hampei* con el hongo *Beauveria bassiana*. Revista Cenicafé 50 (2): 136-144.

Gallardo, F., 1992. Augmentation of *Mirax insularis* Muesebeck: An alternative for the population control of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*, Guerin-Meneville in Puerto Rico. J.Agric.Univ.P.R. 76(2):43-54.

Gallardo, F., E. Hernández, J. Pagán, 2010. Presencia natural del hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. en la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en Puerto Rico. J.Agric.Univ.P.R. 94(1):195-198.

Góngora, C., P. Marín, P. Benavides, 2009, Claves para el éxito del hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico de la broca del café, FNC-Cenicafé. Avance técnico N° 348.

González, M., F. Posada, A. Bustillo, 1993. Desarrollo de un bioensayo para evaluar la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé 44(3): 93-102.

Infante, F., S. Murphy, J. Barrera, J. Gómez, A. Damon, 1994. Cría de *Phymastichus coffea* parasitoide de la broca del café y algunas notas sobre su historia de vida. Southwestern Entomologist 19(3):313–315.

Infante, F., 1998. Biological control of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in Mexico, using the parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae). PhD thesis. Imperial College, UK, p. 173.

Infante, F., J. Mumford, I. Mendez, 2001. Non-recovery of *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae), an imported parasitoid of the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) in Mexico. Southwestern Entomologist 26:159-163.

Infante, F., J. Mumford, A. Garcia-Ballinas, 2003. Predation by native arthropods on the African parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae) in coffee plantations of Mexico. Florida Entomologist 86: 86-88.

Infante, F., J. Mumford, P. Baker, 2005. Life history studies of *Prorops nasuta*, a parasitoid of the coffee berry borer. Biocontrol 50: 259-270.

Jaramillo, J., C. Borgemeister, P. Baker, 2006. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. Bulletin of Entomological Research 96: 223-233.

Jaramillo, J., A. Chabi-Olaye, C. Borgemeister, C. Kamonjo, H. Poehling, F. Vega, 2009. Where to sample? Ecological implications of sampling strata in determining abundance and impact of natural enemies of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. Biological Control 49: 245-253.

Le Pelley, R., 1968. Pest of coffee. Longmans, Green and Co. Ltd., London, 590p.

Maldonado, C., 2007. Variabilidad genética y evaluación biológica del parasitoide *Prorops nasuta* Waterson en Colombia. M.S Tesis. Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. 73 p.

Monroig, M., 2013. Ecos del café. <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id66.htm>

Montoya, S., M. Cárdenas, 1994. Biología de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en frutos de café de diferentes edades. Revista Cenicafé 45: 5-13.

Monzón, A., F. Guharay, I. Klingen, 2008. Natural occurrence of *Beauveria bassiana* in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera:Curculionidae) populations in unsprayed coffee fields. Journal of Invertebrate Pathology 97:134-141.

Murphy, S., D. Moore, 1990. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera:Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. *Biocontrol News and Information*. 1(1):107-117

Narváez, M., M. González, A. Bustillo, B. Chávez, E. Montoya, 1997. Producción de esporas de aislamientos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en diferentes sustratos. *Revista Colombiana de Entomología*. 23 (3-4): 125-132.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2011-2012. Climatological data Puerto Rico and Virgin Islands. 57 (1-12); 58 (1-12)

Orozco, J., 1997. Ciclo de vida del parasitoide *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae). En: Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, 24. July 16–18, 1997, Pereira, Colombia. Pp. 45-46.

Orozco, J. 2002. Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. Curso Internacional Teórico-Práctico sobre entomopatógenos y parasitoides que atacan la broca del café. Cenicafé, Chinchiná (Colombia), Marzo 18-22/ 2002. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca del café. Pp. 71-79.

Peterson, S., J. Pérez, F. Vega, F. Infante, 2003. *Penicillium brocae*, a new species associated with the coffee berry borer in Chiapas, Mexico. *Mycologia* 95(1):141-147.

Rivera, A., 2009. Secretario Departamento de Agricultura Estado libre Asociado de Puerto Rico. 10 p. <http://senado.pr.gov/Proyectos%20del%20Senado/ps0203-09.pdf>

Ruiz, R., 1996. Efecto de la fenología del fruto del café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari. Tesis Ingeniero Agrónomo Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 87 p.

Ruiz, R., P. Baker, 2010. Life table of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in relation to coffee berry phenology under Colombian field conditions. *Sci.Agric.Piracicaba*. Brazil. 67(6): 658-668.

Salazar, M., J. Arcila, N. Riaño, A. Bustillo, 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. Cenicafé, Avances técnicos, N° 194. Colombia. 4 p.

United States Department of Agriculture, 2009. Census of agriculture 2007 Puerto Rico Island and Municipio data. National Agriculture Statistic Center. Volumen 1 Geographic area Series Part 52.

Vázquez, L., E. Blanco, O. Elósegui, Y. Matienzo, J. Alfonso., 2006. Observaciones sobre enemigos naturales de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en Cuba. *Fitosanidad* [en línea] vol 10 [citado 2013-04-05].

<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=209116183011> SN 1562-3009

Vázquez, L., Moreno, O. Claro, L. Leyva, A. Polanco, M. Becerra, S. Monzón, A. Rodríguez, E. Tamayo, C. Toledo, A. Navarro, M. García, 2010. Ocurrencia de epizootias causadas por *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. en poblaciones de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en las zonas cafetaleras de Cuba. Fitosanidad 14(2): 111-116.

Vega, F., R. Franqui, P. Benavides, 2002. The presence of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, en Puerto Rico. Fact or fiction?. Journal of insect Science, 2.13. Available online: insectscience.org/2.13

Vega, F., E. Rosenquist, W. Collins, 2003. Global project needed to tackle coffee crisis. Nature 435: 343.

Vega, F., F. Infante, A. Castillo, J. Jaramillo, 2009. The coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. Terrestrial Arthropod Reviews 2. 129-147

Vera-Montoya, L., Z. Gil-Palacio, P. Benavides-Machado, 2007. Identificación de enemigos naturales de *Hypothenemus hampei* en la zona cafetera central colombiana. Cenicafé 58(3):185-195.

Vera, J., E. Montoya, P. Benavides, C. Góngora, 2011. Evaluation of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as a control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) emerging from fallen, infested coffee berries on the ground. Biocontrol Science and Technology 21(1): 1-14.

Vergara, J., J. Orozco, A. Bustillo, B. Chaves, 2001. Biología de *Phymastichus coffea* en condiciones de campo. Cenicafé 52(2):97-103.

11. APÉNDICES

Apéndice 1: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo *Beauveria bassiana*

EEA Adjuntas ciclos productivos 2011 – 2012 (criterio de clasificación año)

Este análisis se realizó para comparar los porcentajes de infestación de cada mes de 2011 respecto al mismo mes de 2012

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
24/08/2013 - 16:25:45

Análisis de la varianza

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
agos	ASEN PROD % broca	40	0,1787	0,1571	54,0669

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,2178	1	0,2178	8,2696	0,0066
año	0,2178	1	0,2178	8,2696	0,0066
Error	1,0009	38	0,0263		
Total	1,2187	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10390

Error: 0,0263 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,2264	20	0,0363	A
2011	0,3740	20	0,0363	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
agos	ASEN PROD % hongo	40	0,0092	0,0000	211,0363

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0082	1	0,0082	0,3517	0,5567
año	0,0082	1	0,0082	0,3517	0,5567
Error	0,8902	38	0,0234		
Total	0,8985	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09798

Error: 0,0234 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,0582	20	0,0342	A
2011	0,0869	20	0,0342	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
dic	ASEN PROD % broca	40	0,7708	0,7648	21,6176

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo.	7,2996	1	7,2996	127,7998	<0,0001
año	7,2996	1	7,2996	127,7998	<0,0001
Error	2,1705	38	0,0571		
Total	9,4701	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15300

Error: 0,0571 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,6784	20	0,0534	A
2011	1,5327	20	0,0534	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
dic	ASEN PROD % hongo	40	0,0256	0,0000	632,4555

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0034	1	0,0034	1,0000	0,3236
año	0,0034	1	0,0034	1,0000	0,3236
Error	0,1282	38	0,0034		
Total	0,1316	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03719

Error: 0,0034 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,0000	20	0,0130	A
2011	0,0184	20	0,0130	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
nov	ASEN PROD % broca	40	0,9389	0,9373	18,0682

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,1010	1	12,1010	583,6356	<0,0001
año	12,1010	1	12,1010	583,6356	<0,0001
Error	0,7879	38	0,0207		
Total	12,8889	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09218

Error: 0,0207 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,2469	20	0,0322	A
2011	1,3470	20	0,0322	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
nov	ASEN PROD % hongo	40	0,0247	0,0000	374,6715

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0106	1	0,0106	0,9619	0,3329
año	0,0106	1	0,0106	0,9619	0,3329
Error	0,4178	38	0,0110		
Total	0,4284	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06713

Error: 0,0110 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2011	0,0117	20	0,0234	A
2012	0,0442	20	0,0234	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
oct	ASEN PROD % broca	40	0,3665	0,3498	56,2428

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,2466	1	1,2466	21,9824	<0,0001
año	1,2466	1	1,2466	21,9824	<0,0001
Error	2,1550	38	0,0567		
Total	3,4017	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15245

Error: 0,0567 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,2469	20	0,0532	A
2011	0,6000	20	0,0532	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
oct	ASEN PROD % hongo	40	0,0001	0,0000	390,3319

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,8E-05	1	1,8E-05	0,0044	0,9473
año	1,8E-05	1	1,8E-05	0,0044	0,9473
Error	0,1542	38	0,0041		
Total	0,1542	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04078

Error: 0,0041 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2011	0,0157	20	0,0142	A
2012	0,0170	20	0,0142	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sep	ASEN PROD % broca	40	0,0001	0,0000	54,5312

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0001	1	0,0001	0,0039	0,9505
año	0,0001	1	0,0001	0,0039	0,9505
Error	1,0617	38	0,0279		
Total	1,0618	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10701

Error: 0,0279 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2011	0,3049	20	0,0374	A
2012	0,3082	20	0,0374	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sep	ASEN PROD % hongo	40	0,0246	0,0000	308,8189

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0087	1	0,0087	0,9587	0,3337
año	0,0087	1	0,0087	0,9587	0,3337
Error	0,3443	38	0,0091		
Total	0,3530	39			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06094

Error: 0,0091 gl: 38

año	Medias	n	E.E.	
2012	0,0161	20	0,0213	A
2011	0,0456	20	0,0213	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Apéndice 2: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo *Beauveria bassiana*

EEA Adjuntas ciclos productivos 2011 – 2012 (criterio de clasificación mes)

Este análisis se realizó para determinar si había diferencias a través de los meses de muestreo en un ciclo productivo.

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
24/08/2013 - 15:27:17

Análisis de la varianza

AÑO 2011

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % broca	100	0,8881	0,8834	22,3033

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	25,9544	4	6,4886	188,5729	<0,0001
mes	25,9544	4	6,4886	188,5729	<0,0001
Error	3,2689	95	0,0344		
Total	29,2233	99			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16312

Error: 0,0344 gl: 95

mes	Medias	n	E.E.	
sep	0,3049	20	0,0415	A
agos	0,3740	20	0,0415	A
oct	0,6000	20	0,0415	B
nov	1,3470	20	0,0415	C
dic	1,5327	20	0,0415	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % hongo	100	0,0763	0,0374	283,1670

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0799	4	0,0200	1,9608	0,1068
mes	0,0799	4	0,0200	1,9608	0,1068
Error	0,9674	95	0,0102		
Total	1,0473	99			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08874

Error: 0,0102 gl: 95

mes	Medias	n	E.E.	
nov	0,0117	20	0,0226	A
oct	0,0157	20	0,0226	A
dic	0,0184	20	0,0226	A
sep	0,0456	20	0,0226	A
agos	0,0869	20	0,0226	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

AÑO 2012

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
29/08/2013 - 15:50:17

Análisis de la varianza

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % broca	160	0,3681	0,3390	55,6450

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,0350	7	0,4336	12,6492	<0,0001
mes	3,0350	7	0,4336	12,6492	<0,0001
Error	5,2101	152	0,0343		
Total	8,2451	159			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17782

Error: 0,0343 gl: 152

mes	Medias	n	E.E.	
agos	0,2264	20	0,0414	A
oct	0,2469	20	0,0414	A
nov	0,2469	20	0,0414	A
jun	0,2700	20	0,0414	A
sep	0,3082	20	0,0414	A
may	0,3150	20	0,0414	A
jul	0,3700	20	0,0414	A
dic	0,6784	20	0,0414	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % hongo	160	0,2172	0,1811	213,2378

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,2573	7	0,1796	6,0246	<0,0001
mes	1,2573	7	0,1796	6,0246	<0,0001
Error	4,5315	152	0,0298		
Total	5,7888	159			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16584

Error: 0,0298 gl: 152

mes	Medias	n	E.E.		
dic	0,0000	20	0,0386	A	
sep	0,0161	20	0,0386	A	
oct	0,0170	20	0,0386	A	B
nov	0,0442	20	0,0386	A	B
agos	0,0582	20	0,0386	A	B
jul	0,0607	20	0,0386	A	B
may	0,1822	20	0,0386		B C
jun	0,2693	20	0,0386		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Apéndice 3: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo *Beauveria bassiana*

Municipio Adjuntas

Dos localidades: EEA Adjuntas y Finca ciclo productivo 2011 (criterio de clasificación localidad)

Este análisis se realizó para determinar si había diferencias en cada mes de muestreo entre las localidades.

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
24/08/2013 - 15:33:51

Análisis de la varianza

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
agos	ASEN PROD % broca	40	0,1597	0,1376	41,0442

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,1233	1	0,1233	7,2201	0,0106
localidad	0,1233	1	0,1233	7,2201	0,0106
Error	0,6491	38	0,0171		
Total	0,7725	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08367

Error: 0,0171 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,2629	20	0,0292
EEA	0,3740	20	0,0292

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
agos	ASEN PROD % hongo	40	0,1320	0,1091	263,1250

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0755	1	0,0755	5,7774	0,0212
localidad	0,0755	1	0,0755	5,7774	0,0212
Error	0,4965	38	0,0131		
Total	0,5719	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07317

Error: 0,0131 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,0000	20	0,0256
EEA	0,0869	20	0,0256

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
dic	ASEN PROD % broca	40	0,5944	0,5837	27,8291

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,7419	1	5,7419	55,6862	<0,0001
localidad	5,7419	1	5,7419	55,6862	<0,0001
Error	3,9182	38	0,1031		
Total	9,6601	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,20556

Error: 0,1031 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,7750	20	0,0718
EEA	1,5327	20	0,0718

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
dic	ASEN PROD % hongo	40	0,0256	0,0000	632,4555

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0034	1	0,0034	1,0000	0,3236
localidad	0,0034	1	0,0034	1,0000	0,3236
Error	0,1282	38	0,0034		
Total	0,1316	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03719

Error: 0,0034 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,0000	20	0,0130
EEA	0,0184	20	0,0130

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
nov	ASEN PROD % broca	40	0,4940	0,4807	34,3194

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,4778	1	4,4778	37,0939	<0,0001
localidad	4,4778	1	4,4778	37,0939	<0,0001
Error	4,5872	38	0,1207		
Total	9,0651	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,22242

Error: 0,1207 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,6778	20	0,0777
EEA	1,3470	20	0,0777

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
nov	ASEN PROD % hongo	40	0,0197	0,0000	398,4842

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0082	1	0,0082	0,7628	0,3880
localidad	0,0082	1	0,0082	0,7628	0,3880
Error	0,4102	38	0,0108		
Total	0,4184	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06651

Error: 0,0108 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
EEA	0,0117	20	0,0232
FINCA	0,0404	20	0,0232

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
oct	ASEN PROD % broca	40	0,2356	0,2155	52,8290

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,7116	1	0,7116	11,7124	0,0015
localidad	0,7116	1	0,7116	11,7124	0,0015
Error	2,3087	38	0,0608		
Total	3,0203	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,15779

Error: 0,0608 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,3332	20	0,0551
EEA	0,6000	20	0,0551

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
oct	ASEN PROD % hongo	40	0,0522	0,0272	437,3894

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0024	1	0,0024	2,0909	0,1564
localidad	0,0024	1	0,0024	2,0909	0,1564
Error	0,0445	38	0,0012		
Total	0,0470	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02191

Error: 0,0012 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
FINCA	0,0000	20	0,0077
EEA	0,0157	20	0,0077

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sep	ASEN PROD % broca	40	0,0464	0,0213	55,0793

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0417	1	0,0417	1,8476	0,1821
localidad	0,0417	1	0,0417	1,8476	0,1821
Error	0,8567	38	0,0225		
Total	0,8984	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09612

Error: 0,0225 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.	
FINCA	0,2403	20	0,0336	A
EEA	0,3049	20	0,0336	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sep	ASEN PROD % hongo	40	0,0006	0,0000	249,7038

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0004	1	0,0004	0,0242	0,8773
localidad	0,0004	1	0,0004	0,0242	0,8773
Error	0,5582	38	0,0147		
Total	0,5586	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07759

Error: 0,0147 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.	
EEA	0,0456	20	0,0271	A
FINCA	0,0515	20	0,0271	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Apéndice 4: Análisis de varianza paramétrica porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo *Beauveria bassiana*

Municipio Adjuntas

Dos localidades: EEA Adjuntas y Finca ciclo productivo 2011 (criterio de clasificación mes)

Este análisis se realizó para determinar si había diferencias en una localidad a través de los meses de muestreo

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
24/08/2013 - 15:27:17

Análisis de la varianza

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % broca	100	0,8881	0,8834	22,3033

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	25,9544	4	6,4886	188,5729	<0,0001
mes	25,9544	4	6,4886	188,5729	<0,0001
Error	3,2689	95	0,0344		
Total	29,2233	99			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16312

Error: 0,0344 gl: 95

mes	Medias	n	E.E.	
sep	0,3049	20	0,0415	A
agos	0,3740	20	0,0415	A
oct	0,6000	20	0,0415	B
nov	1,3470	20	0,0415	C
dic	1,5327	20	0,0415	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % hongo	100	0,0763	0,0374	283,1670

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0799	4	0,0200	1,9608	0,1068
mes	0,0799	4	0,0200	1,9608	0,1068
Error	0,9674	95	0,0102		
Total	1,0473	99			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08874

Error: 0,0102 gl: 95

mes	Medias	n	E.E.	
nov	0,0117	20	0,0226	A
oct	0,0157	20	0,0226	A
dic	0,0184	20	0,0226	A
sep	0,0456	20	0,0226	A
agos	0,0869	20	0,0226	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FINCA	ASEN PROD % broca	100	0,3557	0,3285	67,4175

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,9961	4	1,2490	13,1096	<0,0001
mes	4,9961	4	1,2490	13,1096	<0,0001
Error	9,0512	95	0,0953		
Total	14,0473	99			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,27144

Error: 0,0953 gl: 95

mes	Medias	n	E.E.	
sep	0,2403	20	0,0690	A
agos	0,2629	20	0,0690	A
oct	0,3332	20	0,0690	A
nov	0,6778	20	0,0690	B
dic	0,7750	20	0,0690	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FINCA	ASEN PROD % hongo	100	0,0719	0,0329	456,7908

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0519	4	0,0130	1,8408	0,1274
mes	0,0519	4	0,0130	1,8408	0,1274
Error	0,6702	95	0,0071		
Total	0,7222	99			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07386

Error: 0,0071 gl: 95

mes	Medias	n	E.E.	
agos	0,0000	20	0,0188	A
dic	0,0000	20	0,0188	A
oct	0,0000	20	0,0188	A
nov	0,0404	20	0,0188	A
sep	0,0515	20	0,0188	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Apéndice 5: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo *Beauveria bassiana*

Municipios Adjuntas y Maricao

Dos localidades: EEA Adjuntas y Finca Maricao ciclo productivo 2012 (criterio de clasificación localidad)

Este análisis se realizó para determinar si había diferencias en cada mes de muestreo entre las localidades.

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
29/08/2013 - 19:26:05

Análisis de la varianza

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
agos	ASEN PROD % broca	40	0,0914	0,0674	86,3495

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0910	1	0,0910	3,8203	0,0580
localidad	0,0910	1	0,0910	3,8203	0,0580
Error	0,9047	38	0,0238		
Total	0,9957	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09878

Error: 0,0238 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
MARICAO	0,1310	20	0,0345
EEA	0,2264	20	0,0345

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
agos	ASEN PROD % hongo	40	0,0015	0,0000	392,6627

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0041	1	0,0041	0,0576	0,8117
localidad	0,0041	1	0,0041	0,0576	0,8117
Error	2,7378	38	0,0720		
Total	2,7420	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17183

Error: 0,0720 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
EEA	0,0582	20	0,0600
MARICAO	0,0785	20	0,0600

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
jul	ASEN PROD % broca	40	0,4929	0,4796	61,3381

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,7531	1	0,7531	36,9356	<0,0001
localidad	0,7531	1	0,7531	36,9356	<0,0001
Error	0,7748	38	0,0204		
Total	1,5280	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09141

Error: 0,0204 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
MARICAO	0,0956	20	0,0319
EEA	0,3700	20	0,0319

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
jul	ASEN PROD % hongo	40	0,0058	0,0000	340,2520

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0168	1	0,0168	0,2199	0,6418
localidad	0,0168	1	0,0168	0,2199	0,6418
Error	2,9027	38	0,0764		
Total	2,9195	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17693

Error: 0,0764 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
EEA	0,0607	20	0,0618
MARICAO	0,1017	20	0,0618

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
jun	ASEN PROD % broca	40	0,2585	0,2390	68,2217

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,2318	1	0,2318	13,2490	0,0008
localidad	0,2318	1	0,2318	13,2490	0,0008
Error	0,6647	38	0,0175		
Total	0,8965	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08467

Error: 0,0175 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
MARICAO	0,1177	20	0,0296
EEA	0,2700	20	0,0296

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
jun	ASEN PROD % hongo	40	0,1664	0,1445	171,1702

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,5292	1	0,5292	7,5872	0,0090
localidad	0,5292	1	0,5292	7,5872	0,0090
Error	2,6505	38	0,0698		
Total	3,1797	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16907

Error: 0,0698 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.	
MARICAO	0,0393	20	0,0591	A
EEA	0,2693	20	0,0591	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
may	ASEN PROD % broca	35	0,2231	0,1995	54,6574

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,1809	1	0,1809	9,4760	0,0042
localidad	0,1809	1	0,1809	9,4760	0,0042
Error	0,6298	33	0,0191		
Total	0,8107	34			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09551

Error: 0,0191 gl: 33

localidad	Medias	n	E.E.	
MARICAO	0,1698	15	0,0357	A
EEA	0,3150	20	0,0309	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
may	ASEN PROD % hongo	35	0,2098	0,1858	173,1138

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,2846	1	0,2846	8,7592	0,0057
localidad	0,2846	1	0,2846	8,7592	0,0057
Error	1,0723	33	0,0325		
Total	1,3569	34			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,12462

Error: 0,0325 gl: 33

localidad	Medias	n	E.E.	
MARICAO	0,0000	15	0,0465	A
EEA	0,1822	20	0,0403	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
oct	ASEN PROD % broca	40	0,2306	0,2103	69,3488

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,1778	1	0,1778	11,3889	0,0017
localidad	0,1778	1	0,1778	11,3889	0,0017
Error	0,5934	38	0,0156		
Total	0,7713	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08000

Error: 0,0156 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.	
MARICAO	0,1135	20	0,0279	A
EEA	0,2469	20	0,0279	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
oct	ASEN PROD % hongo	40	0,0256	0,0000	632,4555

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0029	1	0,0029	1,0000	0,3236
localidad	0,0029	1	0,0029	1,0000	0,3236
Error	0,1097	38	0,0029		
Total	0,1126	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03440

Error: 0,0029 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
MARICAO	0,0000	20	0,0120
EEA	0,0170	20	0,0120

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sep	ASEN PROD % broca	40	0,2912	0,2726	74,3030

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,3819	1	0,3819	15,6154	0,0003
localidad	0,3819	1	0,3819	15,6154	0,0003
Error	0,9293	38	0,0245		
Total	1,3112	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10011

Error: 0,0245 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
MARICAO	0,1128	20	0,0350
EEA	0,3082	20	0,0350

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

mes	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
sep	ASEN PROD % hongo	40	0,0256	0,0000	632,4555

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0026	1	0,0026	1,0000	0,3236
localidad	0,0026	1	0,0026	1,0000	0,3236
Error	0,0983	38	0,0026		
Total	0,1009	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03257

Error: 0,0026 gl: 38

localidad	Medias	n	E.E.
MARICAO	0,0000	20	0,0114
EEA	0,0161	20	0,0114

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Apéndice 6: Análisis de varianza paramétrica del porcentaje de infestación de broca e incidencia de hongo *Beauveria bassiana*

Municipios Adjuntas y Maricao

Dos localidades: EEA Adjuntas y Finca Maricao ciclo productivo 2012 (criterio de clasificación mes)

Este análisis se realizó para determinar si había diferencias en una localidad a través de los meses de muestreo

C:\Users\Tere\Documents\TESIS DATOS\base datos trans asen.IDB2:
24/08/2013 - 19:04:39

Análisis de la varianza

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % broca	120	0,0847	0,0445	55,6286

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,2733	5	0,0547	2,1088	0,0693
mes	0,2733	5	0,0547	2,1088	0,0693
Error	2,9548	114	0,0259		
Total	3,2281	119			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14758

Error: 0,0259 gl: 114

mes	Medias	n	E.E.	
agos	0,2264	20	0,0360	A
oct	0,2469	20	0,0360	A
jun	0,2700	20	0,0360	A
sep	0,3082	20	0,0360	A
may	0,3150	20	0,0360	A
jul	0,3700	20	0,0360	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EEA	ASEN PROD % hongo	120	0,2018	0,1668	190,0451

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,0530	5	0,2106	5,7629	0,0001
mes	1,0530	5	0,2106	5,7629	0,0001
Error	4,1659	114	0,0365		
Total	5,2189	119			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,17523

Error: 0,0365 gl: 114

mes	Medias	n	E.E.	
sep	0,0161	20	0,0427	A
oct	0,0170	20	0,0427	A
agos	0,0582	20	0,0427	A
jul	0,0607	20	0,0427	A
may	0,1822	20	0,0427	A B
jun	0,2693	20	0,0427	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MARICAO	ASEN PROD % broca	115	0,0334	0,0000	97,9935

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,0533	5	0,0107	0,7528	0,5858
mes	0,0533	5	0,0107	0,7528	0,5858
Error	1,5421	109	0,0141		
Total	1,5953	114			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11177

Error: 0,0141 gl: 109

mes	Medias	n	E.E.	
jul	0,0956	20	0,0266	A
sep	0,1128	20	0,0266	A
oct	0,1135	20	0,0266	A
jun	0,1177	20	0,0266	A
agos	0,1310	20	0,0266	A
may	0,1698	15	0,0307	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

localidad	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MARICAO	ASEN PROD % hongo	115	0,0346	0,0000	583,2749

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,1935	5	0,0387	0,7805	0,5659
mes	0,1935	5	0,0387	0,7805	0,5659
Error	5,4055	109	0,0496		
Total	5,5990	114			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,20925

Error: 0,0496 gl: 109

mes	Medias	n	E.E.	
may	0,0000	15	0,0575	A
sep	0,0000	20	0,0498	A
oct	0,0000	20	0,0498	A
jun	0,0393	20	0,0498	A
agos	0,0785	20	0,0498	A
jul	0,1017	20	0,0498	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Apéndice 7: Correlación de la temperatura y la precipitación pluvial con el porcentaje de infestación de broca e incidencia del hongo *Beauveria bassiana*

C:\Users\Tere\Documents\tesis dic 2012\datos\clima correlacion\tabla correlacion clima.IDB2: 07/02/2013 - 12:03:26

Coefficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	temperatura	precipitación	% infestación	% hongo
temperatura	1,00	0,16	0,09	0,29
precipitación	0,40	1,00	0,10	0,81
% infestación	-0,48	-0,45	1,00	0,12
% hongo	0,30	-0,07	-0,44	1,00