



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Efecto de la sombra y del manejo del café sobre la dinámica poblacional de (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en frutos nuevos y remanentes en Turrialba

Por

Esteban Sánchez González

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Agricultura ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2011

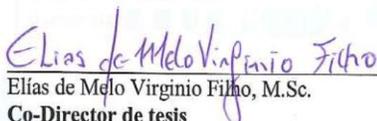
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA

FIRMANTES:



Jacques Avelino, Ph.D.
Co-Director de tesis



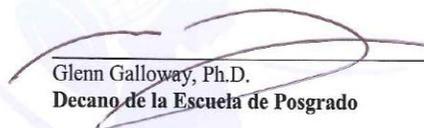
Elias de Melo Virgínio Filho, M.Sc.
Co-Director de tesis



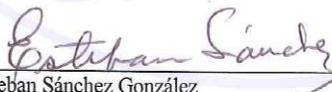
Bernard Dufour, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Eduardo Hidalgo, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Esteban Sánchez González
Candidato

DEDICATORIA

A mi madre y padre, mis hermanas y mi familia residentes en la ciudad de Panamá. Con especial dedicatoria a mi esposa Berly (firme creyente), nuestros hijos Oscar Orlando (el sonriente, generoso y perseverante), Esteban Daniel (el sabio, analítico y crítico) y Elias Miguel el alma más sensible que conozco). Todos han sido el motivo de mis más profundos sentimientos de amor y devoción para perfeccionar el arte de amar y forjar un carácter sensible.

Al amigo Jorge Aued, incansable paladín del perfeccionamiento académico y gestor de nuestros estudios.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Dr. Jacques Avelino por su paciencia y dedicación. A los profesores Elias de Melo y Eduardo Hidalgo por sus apoyos y sugerencias. Al Dr. Bernard Dufour por sus enseñanzas, paciencia y cooperación. A Amada Olivas quien cooperó en los trabajos de disección de frutos en laboratorio. A Cipriano Rivera, don Luís Romero y Evelio López, incansables compañeros en la ejecución de esta investigación en campo.

Estoy muy agradecido del personal del departamento de bioestadística del CATIE, en especial mención al Dr. Fernando Casanoves, Sergio Vilchez y Eduardo Corrales. Especial reconocimiento a todo el personal de la escuela de posgraduados del CATIE por su cooperación y orientación. Especial agradecimiento a la licenciada Rosita Jara, por sus atinados consejos y comentarios. A mis compañeros panameños y demás. A Juan Rojas por su ayuda, y demás compañeros de la biblioteca por su anuencia y cooperación.

Mi especial agradecimiento por el apoyo recibido al proyecto CAFNET de la Unión Europea y Omega 3 del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD), Francia y al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

¡Estoy tan agradecido de Dios, la virgen María, mi esposa e hijos y hermanas!

BIOGRAFÍA

El autor nació en 1957 en la Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Hizo los estudios primarios en la Escuela de Belén, y en el Colegio Secundario de La Concepción, donde se tituló de bachiller en ciencias. En 1984 se graduó en la Universidad de Panamá en la Facultad de agronomía con el título de licenciado en ingeniería agronómica especializado en fitotecnia. Su trabajo de graduación intitulado “Consideraciones ético sociales en torno al trabajo agrícola” fue una fuerte crítica a las estructuras agrícolas injustas imperantes, desde una visión cristiana sustentada en la doctrina social de la iglesia católica. Fue administrador de fincas productoras de naranja, piña y maracuyá en la Empresa Cítricos de Chiriquí A.N. y luego, en 1986, fue nombrado en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), lugar donde se desempeña. Es agricultor pequeño de hortalizas y café en el Distrito de Renacimiento y miembro de varias agrupaciones de productores de Panamá.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO	VI
RESUMEN	X
SUMMARY.....	XII
ÍNDICE DE CUADROS	XIV
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS	XVIII
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 Objetivos del estudio.....	21
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	21
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	21
1.2 Hipótesis del estudio	21
2 MARCO CONCECTUAL.....	22
2.1 Origen y diseminación de <i>H. hampei</i>	22
2.2 Cronología de la diseminación de <i>H. hampei</i> en Mesoamérica y niveles de infestación en Costa Rica.....	22
2.3 Climatografía del ecosistema agroforestal de la región de Turrialba, sus efectos en la fenología del cafeto y en las poblaciones de <i>H. hampei</i>	23
2.3.1 <i>El medio ambiente de la región de Turrialba</i>	23
2.3.2 <i>Efectos de la climatografía de la región de Turrialba sobre Coffea arabica y H. hampei</i>	24
2.4 Aspectos biológicos de <i>H. hampei</i>	26
2.4.1 <i>Taxonomía</i>	26
2.4.2 <i>Descripción morfológica</i>	26
2.4.3 <i>Ciclo de vida</i>	27
2.4.4 <i>Condiciones de desarrollo y factores ambientales</i>	27
2.4.4.1 Efecto de la temperatura	27
2.4.4.2 Efecto de la humedad relativa.....	28
2.4.4.3 Efecto de la precipitación pluvial.....	29
2.4.4.4 Efecto del nivel de sombra	30

2.4.5	<i>Hábitos biológicos</i>	31
2.4.5.1	Relación de sexos.....	31
2.4.5.2	Número de generaciones	31
2.4.5.3	La penetración del fruto.....	32
2.4.5.4	El fruto: un hábitat y nicho ecológico vital	33
2.4.5.5	Comunicación aleloquímica, búsqueda del hábitat y nicho ecológico.....	34
2.4.5.6	Migración y sobrevivencia	35
2.5	Daños y pérdidas.....	37
2.6	Métodos de Control.....	38
2.6.1	<i>Control químico</i>	38
2.6.2	<i>Manejo agronómico</i>	39
2.6.3	<i>Control biológico</i>	39
2.6.3.1	Hongos entomopatógenos.....	40
2.6.3.2	Micro himenópteros parasitoides	40
2.6.4	<i>Control con trampas</i>	42
2.6.5	<i>Manejo integrado de H. hampei</i>	42
2.6.6	<i>Concepto de manejo integrado con tres componentes</i>	43
2.6.7	<i>Cultivares resistentes</i>	44
3	MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1	Ubicación del experimento.....	44
3.2	Descripción del área experimental del CATIE.....	45
3.3	Factores en estudio.....	46
3.4	Caracterización del factor Sombra.....	47
3.5	Caracterización del factor manejo agronómico en el agroecosistema	48
3.6	Dimensiones de la parcela experimental.....	49
3.7	Metodologías de tomas de datos, según la hipótesis.....	52
3.7.1	<i>El nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico afectan el desarrollo de H. hampei en frutos remanentes del arbusto, suelo y la fructificación nueva...</i>	52
3.7.1.1	Conteo inicial de frutos remanentes	52
3.7.1.2	Evaluación de los estadios de <i>H. hampei</i> en los frutos	52

3.7.2	<i>Las poblaciones de H. hampei son afectadas por las etapas fenológicas del fruto en diferentes niveles de sombra e intensidades de manejo agronómico</i>	53
3.7.2.1	Distribución de <i>H. hampei</i> y fenología de la fructificación.....	53
3.7.3	<i>Las poblaciones de H. hampei, en diferentes niveles de sombra están explicadas por el microclima generado en cada caso</i>	55
3.7.3.1	Estimación del microclima en los agroecosistemas	55
3.7.3.2	Estimación del nivel de sombra de los agroecosistemas	56
3.7.4	<i>Variables analizadas</i>	57
3.7.5	<i>Modelo lineal según el diseño</i>	58
3.7.6	<i>Análisis estadísticos</i>	59
4	RESULTADOS.....	62
4.1	Población de frutos iniciales remanentes, perforados por <i>H. hampei</i> del arbusto y suelo, según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico	62
4.1.1	<i>Prueba de hipótesis para el factor sombra_manejo, según el análisis de varianza multivariado de Wilks</i>	62
4.2	Población en número de estadios de <i>H. hampei</i> en los frutos maduros y secos del arbusto, según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico	63
4.2.1	<i>Prueba de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, número de conteo y las interacciones, según las variables poblacionales de H. hampei en los frutos maduros del arbusto en los conteos uno a seis</i>	63
4.2.2	<i>Prueba de hipótesis marginales para el factor sombra_manejo, número de conteo y las interacciones, según las variables poblacionales de H. hampei en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis</i>	65
4.2.3	<i>Prueba de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, tipo de frutos y las interacciones, en función de la proporción del total de individuos por fruto disectado en los conteos uno al seis</i>	69
4.2.4	<i>Población de H. hampei en los frutos maduros y secos del arbusto, a través del tiempo</i>	70
4.3	Efecto del nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en la fenología de los frutos.....	74

4.3.1	<i>Fenología de los frutos de C. arabica cv Caturra.....</i>	74
4.3.2	<i>Prueba de “F” según análisis de varianza multivariado de “Wilks” para los factores sombra_manejo, número de conteo y su interacción en los conteos uno a seis</i>	75
4.4	Efecto del nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en la distribución de <i>H. hampei</i> de acuerdo a la categoría de tamaño de fruto en los conteos tres a seis ..	79
4.4.1	<i>Prueba de “F” según análisis de varianza multivariado de “Wilks”</i>	79
4.5	Caracterización del microclima en condiciones de sombra densa, sin sombra y de precipitación pluvial	83
4.5.1	<i>Variación de la temperatura diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol</i>	83
4.5.2	<i>Variación de la humedad relativa diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.....</i>	85
4.5.3	<i>Variación de la frecuencia de agua libre en los órganos del cafeto de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.....</i>	87
4.6	DISCUSIÓN.....	89
4.6.1	<i>Efecto de la sombra sobre el desarrollo de las poblaciones de H. hampei.....</i>	89
4.6.2	<i>Efecto del manejo sobre el desarrollo de las poblaciones de H. hampei.....</i>	90
4.6.3	<i>Distribución de H. hampei según el nivel de sombra y la fenología del fruto.....</i>	91
4.6.4	<i>Efecto del tipo de fruto sobre las poblaciones de H. hampei.....</i>	92
4.6.5	<i>Posibles consecuencias de los efectos antagónicos de la sombra sobre H. hampei</i>	93
5	CONCLUSIONES	93
6	RECOMENDACIONES	94
7	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	104

RESUMEN

Los efectos de la sombra sobre la dinámica poblacional de *Hypothenemus hampei* son controversiales. Se manifiestan en forma directa a través del microclima, afectando su ciclo de vida, o bien por efectos indirectos a través de la alteración de la fenología del fruto que repercute sobre la disponibilidad de hábitat y nicho ecológico. Por su parte, el manejo convencional con insecticida para el control de *H. hampei* es una práctica que aumenta el riesgo de deterioro del medio ambiente, mientras que los efectos del manejo dirigidos a aumentar la diversidad selectiva, como el uso *Beauveria bassiana*, puede ser una medida aceptable en condiciones de sombra. El objetivo de este trabajo fue aclarar los efectos de la sombra y del manejo de los cafetos sobre las poblaciones de *H. hampei*. La investigación se ejecutó en Turrialba, Costa Rica, a una altitud de 600 m y pluviometría anual promedio de 2700 mm. Se estudiaron tres niveles de exposición a la luz (pleno sol, sombra media de *Erythrina poeppigiana*, sombra densa de *E. poeppigiana* y *Abarema idiopoda*), y tres intensidades de manejo (orgánico más *B. bassiana*; convencional más insecticida, y convencional sin insecticida). Se estudió el efecto de diferentes combinaciones de estos factores sobre (i) la población de *H. hampei* en frutos verdes y remanentes de la cosecha, (ii) el número de frutos verdes perforados desde febrero hasta septiembre de 2010 (iii) y la composición de las poblaciones de frutos a través del tiempo. Se caracterizó el microclima en dos condiciones extremas de sombra y sol. El nivel de sombra densa causó diferencias significativas ($F_{1, 68}=5.08$, $p<0.0274$) en las poblaciones de hembras vivas y adultas de *H. hampei* en los frutos maduros 1.91 ± 0.31 hembras / fruto con respecto a pleno sol 1.20 ± 0.23 hembras / fruto, mientras que las hembras vivas en los frutos secos del arbusto se incrementaron en forma significativa ($F_{1, 63}=10.17$, $p<0.0022$) de 4.01 ± 1.63 hembras / fruto a pleno sol hasta 11.12 ± 1.63 hembras / fruto con sombra media. Lo anterior puede explicarse por las favorables condiciones microclimáticas bajo sombra, que impiden la rápida deshidratación de los frutos y que favorecen el ciclo de vida del insecto. Se observó así que a las 12:00 horas en días con lluvias ≤ 5 mm la temperatura y la humedad relativa fueron inferiores de hasta 3 °C y 12 % respectivamente en la sombra con respecto a pleno sol. Por otro lado, se observó una maduración adelantada al sol comparado con la sombra densa. En julio-agosto, al sol, el 11 % de los frutos aptos para la broca eran pintones, mientras que sólo se encontró un 3 % bajo sombra densa. Esos frutos pintones fueron proporcionalmente más

atacados que los verdes, puesto que concentraron el 29 % de los frutos brocados al sol, y el 9 % bajo sombra densa. Con relación al efecto del manejo agronómico sobre *H. hampei* se observaron 11.12 ± 1.63 hembras adultas / fruto seco en el manejo convencional sin insecticida, un número significativamente más alto ($F_{1, 63} = 12.10$, $p < 0.0009$) que lo observado en el manejo orgánico más *B. bassiana* (3.36 ± 1.63 hembras adultas vivas / fruto seco). Los resultados indican efectos antagónicos de la sombra sobre *H. hampei*. Por un lado, la sombra favorece la multiplicación de la broca en el interior de los frutos, pero por otro lado los frutos más atractivos son más abundantes al sol. Esto podría tener consecuencias sobre la distribución espacial del insecto a nivel de parcela y de paisaje. *H. hampei* podría migrar de las áreas sombreadas, donde se multiplica mejor entre cosechas, hacia las partes soleadas donde los frutos más apetecibles de la nueva cosecha se encuentran en mayor cantidad y en forma adelantada, y de allí se disemina paulatinamente al resto de la plantación o del micro-paisaje. Esto sugiere la posibilidad de implementar acciones de control enfocadas a esas áreas soleadas. Se confirmó también, que los cafetales sombreados, son un hábitat favorable para el desarrollo de los efectos supresivos de *B. bassiana* sobre las poblaciones de *H. hampei*, situación útil para formular estrategias de manejo más efectivas y amigables con el medio ambiente.

Palabras claves: *Coffea arabica*, Sistemas agroforestales, Cashá, Poró, Plaga, Crecimiento poblacional, microclima, fenología, biodiversidad, agroecosistemas, arbusto, ecosistemas forestales.

SUMMARY

The effects of shade on the population dynamics of *Hypothenemus hampei* are controversial. Shade can directly affect *H. hampei* life cycle through the microclimate, or indirectly by altering the fruit phenology that affects the availability of habitat and ecological niche. For its part, the conventional management with insecticide for *H. hampei* control is a practice that increases the risk of environmental degradation, while the effects of management aimed at increasing selective diversity use, as *Beauveria bassiana*, can be an acceptable strategy under shade conditions. The objective of this study was to clarify the effects of shade and coffee tree management on the populations of *H. hampei*. The research was carried out in Turrialba, Costa Rica, at an altitude of 600 m and average annual rainfall of 2700 mm. We studied three levels of exposure to light (full sun, regular shade of *Erythrina poeppigiana*, dense shade of *E. poeppigiana* and *Abarema idiopoda*) and three management intensities (organic with *B. bassiana*, conventional with insecticide, and conventional insecticide-free). We studied the effect of different combinations of these factors on (i) the population of *H. hampei* in green fruits and fruits remaining from the harvest, (ii) the number of bored green fruits from february to september 2010 (iii) and the composition of fruit populations over time. We monitored the microclimate in two extreme conditions of sun and shade. The dense shade level caused significant differences ($F_{1, 68}=5.08$, $p<0.0274$) in populations of alive adult females of *H. hampei* in ripe fruits 1.91 ± 0.31 females / fruit with respect to full sun 1.20 ± 0.23 females / fruit, while alive females in dry fruits remaining in the coffee tree increased significantly ($F_{1, 63}=10.17$, $p<0.0022$), $p < 0.0022$) from 4.01 ± 1.63 females / fruit in full sun to 11.12 ± 1.63 females / fruit with medium shade. This can be explained by the favorable microclimatic conditions under shade, preventing the rapid dehydration of fruits and favoring the insect's life cycle. For example, we observed at noon in days with rainfall ≤ 5 mm, lower temperatures and relative humidities, 3 °C and 12 % respectively, under shade as compared to full sun. In addition, we observed an advanced ripening at full sun exposure compared with dense shade. In July-August, at full sun exposure, 11 % of the fruits suitable to coffee berry borer were ripening fruit, whereas only 3 % of these fruits were found under dense shade. These ripening fruits were proportionally more attacked than green fruits, as they comprised 29 % of the bored fruits at full sun, and 9 % under dense shade. Regarding the effect of agricultural management on *H. hampei* we observed 11.12 ± 1.63 alive adult females / dry

fruit in the conventional insecticide-free management, a number significantly higher ($F_{1,63}=12.10$, $p<0.0009$) than the number observed under the organic management with *B. bassiana* (3.36 ± 1.63 alive adult females / dry fruit). The results indicate antagonistic effects of shade on *H. hampei*. In one side, shade favors coffee berry borer multiplication inside the fruits, but in the other side, the more palatable fruits are more abundant at full sun exposure. These effects could explain the spatial distribution of the insect at plot and micro-landscape scales. *H. hampei* could migrate from the shaded areas, where it multiplies better in the interseason, to the sunny area where the most palatable fruits of the new crop can be encountered sooner and in greater amounts, and then gradually spreads to the rest of the plantation or the micro-landscape. This suggests the possibility of implementing control measures targeted to those sunny areas. It was also confirmed that, shaded coffee plantations are a favorable habitat for the enhancement of the suppressive effects of *B. bassiana* on *H. hampei* populations, which is useful in order to develop management strategies more effective and environmentally friendly.

Keywords: *Coffea arabica*, agroforestry systems, Casha, Poro, Pest, population growth, microclimate, phenology, biodiversity, agroecosystems, bush, forest ecosystems.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comportamiento histórico del clima en el Cantón de Turrialba.....	46
Cuadro 2. Combinación de los factores nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico.....	47
Cuadro 3. Descripción de aspectos biofísicos de las parcelas que contienen los tratamientos factoriales.....	51
Cuadro 4. Número de conteos de frutos y sus respectivas fechas, días acumulados y días antes y después de la floración principal para estimar las poblaciones de <i>H. hampei</i> dentro de los frutos verdes, maduros, secos del arbusto y secos del suelo	53
Cuadro 5. Número de conteos y sus respectivas fechas de ejecución para estimar el número de frutos y la distribución de <i>H. hampei</i> según la categoría de tamaño.....	54
Cuadro 6. Pruebas de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para los factores sombra_ manejo, según las poblaciones de frutos remanentes del arbusto y suelo	62
Cuadro 7. Pruebas de hipótesis marginales para los factores sombra_ manejo, número de conteo y la interacción sombra_ manejo por número de conteo según las poblaciones de <i>H. hampei</i> en los frutos maduros del arbusto en los conteos uno al seis.....	64
Cuadro 8. Prueba de hipótesis para contrastes entre los factores sombra_ manejo en la variable número de hembras vivas en los frutos maduros en los conteos uno a seis	65
Cuadro 9. Pruebas de hipótesis marginales para los factores sombra_ manejo, número de conteo y la interacción sombra_ manejo por número de conteo, según las poblaciones de <i>H. hampei</i> en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis	66
Cuadro 10. Prueba de hipótesis para contrastes del factor sombra_ manejo en la variable poblacional número de hembras vivas en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis	67
Cuadro 11. Prueba de hipótesis para contrastes del factor sombra_ manejo en la variable número de larvas vivas en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis	67
Cuadro 12. Prueba de hipótesis marginales para los factores sombra_ manejo, tipo de fruto y las interacciones, según la proporción del total de individuos por fruto disectado en los conteos uno al seis.....	69
Cuadro 13. Prueba de hipótesis para contrastes del factor sombra_ manejo en la variable número de individuos por fruto disectado en los conteos uno al seis	70

Cuadro 14. Prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para los factores sombra_manejo, número de conteo y sus interacciones, en función de las variables, proporción de frutos de las categorías de tamaño cinco seis y siete en los conteos uno al seis.....	75
Cuadro 15. Prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para el factor sombra_manejo, en los conteos cinco a seis, en función de la variable proporción de frutos de la categoría siete	76
Cuadro 16. Prueba de hipótesis para los contrastes del factor sombra_manejo en los conteos cinco y seis para la variable proporción de frutos de la categoría siete	77
Cuadro 17. Prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para los factores sombra_manejo, número de conteo y sus interacciones, en función de las variables, proporción de frutos perforados de las categorías cinco, seis y siete en los conteos tres a seis.....	80
Cuadro 18. Prueba de “F” para hipótesis de los contrastes del factor sombra_manejo en la variable, proporción de frutos perforados en los conteos tres a seis	81
Cuadro 19. Variación media y error estándar de la temperatura de acuerdo a la hora, intensidad de la lluvia y exposición al sol.....	85
Cuadro 20. Variación media y error estándar de la humedad relativa de acuerdo a la hora, intensidad de la lluvia y exposición al sol.	87
Cuadro 21. Variación media y error estándar de la frecuencia de agua libre en los órganos del arbusto de café de acuerdo a la hora, intensidad de la lluvia y exposición al sol	89
Anexo 1. Medidas de ajuste y selección de modelos según criterios de AIC y BIC, para número total de individuos por fruto disectado	105
Anexo 2. Medidas de ajuste y selección de modelos según criterios de AIC y BIC, para la población de <i>H. hampei</i> en los frutos maduros de la planta.....	105
Anexo 3. Medidas de ajuste y selección de modelos según criterios de AIC y BIC, para la población de <i>H. hampei</i> en los frutos secos de la planta	106
Anexo 4. Prueba de potencia para las variables.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características fenológicas de <i>C. arabica</i> y comportamiento de las poblaciones de <i>H. hampei</i> en la región de Turrialba.	25
Figura 2. Migración y sobrevivencia de <i>H. hampei</i> en los frutos remanentes del arbusto y suelo.	36
Figura 3. Croquis de campo, aleatorización de filas, arbustos y delimitación del área de muestreo por arbusto de café.	50
Figura 4. Escala visual pictórica y por categoría de tamaño del fruto, con énfasis en los frutos aptos para el desarrollo y distribución de <i>H. hampei</i>	54
Figura 5. Modelo sin escala que demuestra la posición de los sensores de la estación meteorológica, colocadas a pleno sol y en sombra densa.	55
Figura 6. Posición y dirección de los puntos de lectura con el densiómetro esférico.	57
Figura 7. Población de <i>H. hampei</i> según el nivel de sombra, intensidad de manejo agronómico y tipo de fruto en los conteos uno a seis.	68
Figura 8. Promedios ajustados y errores estándares para la población de <i>H. hampei</i> en los frutos maduros del arbusto a través del tiempo.	72
Figura 9. Promedios ajustados y errores estándares para población de <i>H. hampei</i> en los frutos secos del arbusto a través del tiempo.	73
Figura 10. Curva de crecimiento del diámetro de los frutos de <i>C. arabica</i> cv. Caturra y período de fruto apto para <i>H. hampei</i> en sistemas sombreados.	74
Figura 11. Promedios de la proporción de frutos por categoría de tamaño, nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en los conteos uno a seis.	78
Figura 12. Porcentaje promedio de frutos de categoría siete, según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en los conteos cinco a seis.	79
Figura 13. Distribución de <i>H. hampei</i> en los frutos perforados de categorías cinco, seis y siete según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en los conteos tres a seis.	82
Figura 14. Proporción de frutos perforados de categorías cinco, seis y siete a través del tiempo.	83
Figura 15. Variación de la temperatura diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.	84
Figura 16. Variación de la humedad relativa diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.	86

Figura 17. Variación de la frecuencia de agua libre en los órganos del arbusto de café de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol. 88

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

$<$	Menor que
\leq	Menor o igual que
\geq	Mayor o igual que
CAFNET	“Connecting, enhancing and sustaining environmental services and market values of coffee agroforestry in Central America, East Africa and India”
CENICAFE	Centro Nacional de Investigaciones de Café
EC	Emulsión concentrada
F	Distribución de probabilidad continua
GMT	Tiempo medio del meridiano de Greenwich
ha	Hectárea
ICAFFE	Instituto del café de Costa Rica
IDIAP	Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá
km/h	Kilómetro por hora
m	Metro
m²	Metro cuadrado
Mj/ m²	Mega julios/ metro cuadrado
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ng	Nanogramo
°C	Grados Celsius
p	Valor de Probabilidad
r	Coefficiente de regresión
α	Sigma
χ^2	Chi cuadrado

1 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas agroforestales a base de café adquieren con el tiempo, las características de un ecosistema natural, como son la resistencia a perturbaciones, estabilidad, balance, productividad, incremento en el número de hábitats y de enemigos naturales, Gliessman (2002). De esta forma, los mecanismos de regulación de las poblaciones y de la biodiversidad del sistema en conjunto, ofrecen mayor resistencia a los desequilibrios poblacionales, comúnmente denominados plagas.

Altieri (1999) indica que las plagas poco ágiles y monófagas, como *H. hampei*, alcanzan niveles epidémicos en condiciones de agroecosistemas convencionales de café, pero al aumentar la diversidad selectiva, como lo son la cobertura del suelo con arvenses nobles, mediante prácticas agronómicas eficientes y las especies vegetales sombreadoras, se incrementan la abundancia y eficacia de los enemigos naturales, lo que estabiliza las poblaciones.

Staver *et al.* (2001) opinan que los resultados de los estudios efectuados a corto plazo sobre el efecto de la sombra en *H. hampei* son contradictorios y cita a Bergamín (1945), Graner y Godoy (1959), Alonzo (1984), Quezada y Urbina (1987), Barrera (1992) y Decazy (1998) quienes afirman que la sombra favorece el crecimiento de las poblaciones de *H. hampei* y por lo tanto el daño a los frutos. Fonseca (1939), Dakwa (1980), Smith (1981), Wrigley (1988) e ICAFE (1989b) señalan que dependiendo de las condiciones del sitio, los problemas de plagas crecen conforme aumenta el nivel de sombra, o que, al contrario, disminuyen (Tapley 1961, Ahenkorah *et al.* 1974, Nataraj Subamanian 1975, Smith 1981, Eskes 1982, Campbell 1984 citados por Beer *et al.* (1998). (Perfecto *et al.* (1994) afirman que la biodiversidad encontrada en los cafetales con árboles de sombra está dentro del ámbito señalado para los bosques naturales.

Decazy *et al.* (1989) señalan que las poblaciones de *H. hampei* son agregadas y forman focos de infestación. Baker (1984) considera que los focos tienen relación con los niveles de sombra de los agroecosistemas cafetaleros, y también por el hecho de que *H.*

hampei perfora los frutos cercanos a los que se desarrolló, caminando de fruto en fruto (Avelino 2010)¹.

También, son temas controversiales los efectos causados por el nivel de sombra, sobre la fenología y productividad del arbusto, en los ecosistemas agroforestales a base de café, Ahenkorah *et al.* (1974) admiten la complejidad de estos efectos con conclusiones a favor, en contra o sin efecto.

Los señalamientos y conclusiones a favor o en contra de la sombra, su influencia en el desarrollo de las poblaciones de *H. hampei* y los efectos sobre la fenología del fruto, en los ecosistemas forestales a base de café indican una realidad compleja y poco entendida que no ha pasado de algunos estudios muy generales. Esta situación propicia el escenario para continuar desarrollando el conocimiento sobre la fenología de la fructificación y el movimiento poblacional de *H. hampei*.

En consecuencia, la investigación planteada, contribuye a resolver las controversias citadas. Para lograrlo, deben ser estudiadas y entendidas las funciones de la sombra en diferentes niveles y la intensidad del manejo agronómico sobre las poblaciones de *H. hampei*. Estos componentes del sistema, generan condiciones especiales de microclima que pueden afectar la fenología del fruto, el comportamiento de las poblaciones de *H. hampei* y sus hábitos migratorios durante los periodos de escasez de frutos hasta la fructificación nueva.

Los resultados de esta investigación contribuirán a entender mejor el comportamiento de *H. hampei* en los sistemas agroforestales a base de café y elaborar estrategias eficaces y ambientalmente aceptables para que los caficultores desarrollen los servicios ambientales y de mercado de café amigo de la naturaleza, con el fin de recibir remuneraciones aceptables por sus servicios a la sociedad (Giovannucci 2001).

¹ Comunicación personal.

1.1 Objetivos del estudio.

1.1.1 Objetivo general

Estudiar los efectos de la exposición al sol y de la intensidad de manejo agronómico sobre la dinámica poblacional de *H. hampei* en los frutos remanentes del arbusto de café, en el suelo y en los nuevos de la cosecha siguiente en la región de Turrialba.

1.1.2 Objetivos específicos

a. - Evaluar el desarrollo poblacional de *H. hampei* en los frutos remanentes del arbusto de café, del suelo, y de la nueva fructificación de acuerdo al nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico.

b. - Definir la fenología del fruto en función del tiempo y su relación con las poblaciones de *H. hampei* en la fructificación nueva.

c. - Caracterizar el microclima, en los niveles de sombra densa y sin sombra, y su influencia en las poblaciones de *H. hampei*.

1.2 Hipótesis del estudio

a. - El nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico afectan el desarrollo de *H. hampei* en frutos remanentes del arbusto, suelo y la fructificación nueva.

b. - Las poblaciones de *H. hampei* son afectadas por las etapas fenológicas del fruto en diferentes niveles de sombra e intensidades de manejo agronómico.

c. - Las poblaciones de *H. hampei*, en diferentes niveles de sombra están explicadas por el microclima generado en cada caso.

2 MARCO CONCECTUAL

2.1 Origen y diseminación de *H. hampei*

Ticheler (1961) en una revisión bibliográfica extensa cita a varios investigadores como los descubridores de *H. hampei*. Este insecto fue descubierto en Francia en el siglo XVII en granos de café importados. Descrita por Ferrari en 1867 como *Cryphalus hampei*. Fleutiaux (1901), la determinó en cerezas importadas desde el Congo, y Chevalier (1947) la encontró en África Central y Occidental entre 1902 y 1904. Wilkinson la descubrió en Uganda como parásito importante y Van Der Weele encontró y reconoció el macho en Java Occidental. Los autores brasileños la clasifican de acuerdo con Da Costa Lima (1928) en el género *Hypothenemus*.

Benavides *et al.* (2005), explicaron el origen y diseminación de *H. Hampei* mediante técnicas de biología molecular, encontraron que el insecto tiene un origen etíope y que una población procedente del Oeste de África invadió a Asia y América. Tres líneas genéticas distintas entraron a América, ya sea a través de la introducción independiente de varias líneas o por la introducción única de líneas múltiples. Al menos, dos líneas fueron inicialmente introducidas a Brasil y de allí se dispersaron por toda América, mientras que la tercera línea fue descubierta solo en Perú y Colombia.

2.2 Cronología de la diseminación de *H. hampei* en Mesoamérica y niveles de infestación en Costa Rica

Las poblaciones de *H. hampei* se diseminaron en la región Mesoamericana en 34 años; apareció en Guatemala en 1971, luego en Honduras (1977), México (1978), El Salvador (1981), Nicaragua en 1988, Costa Rica (2000) y Panamá en el 2005 (López 1994, Borbón 2001, Pérez 2007). Actualmente, hay 2.500 fincas infestadas que representan 12000 ha y continúa su diseminación por región, y paulatinamente, a nivel nacional (Borbón, 2001).

Desde su llegada a Costa Rica, *H. hampei* se ha diseminado en 12.4 % de la región cafetalera y se ha distribuido en 8.4 % entre los caficultores nacionales. Los niveles de infestación son menores de 2 % en 75 % de las fincas y 25 % han sido infestadas entre 10

% y 30 %. La región cafetalera de Turrialba es la más afectada debido a las floraciones múltiples durante un período de varios meses que mantiene al arbusto con frutos casi todo el año y esto, favorece la multiplicación del insecto (Borbón 2001, Borbón 2005, Borbón 2007b, Rojas 2007a).

2.3 Climatografía del ecosistema agroforestal de la región de Turrialba, sus efectos en la fenología del cafeto y en las poblaciones de *H. hampei*

2.3.1 El medio ambiente de la región de Turrialba

La región de Turrialba está constituida por los cantones de Turrialba, Paraíso y Jiménez. El Cantón de Turrialba está ubicado entre los extremos de las cordilleras Volcánica Central y de Talamanca. Posee altitudes desde 3329 msnm en el Volcán Turrialba, las estribaciones montañosas tienen altitudes intermedias y las del valle, son de 600 msnm. Esta diversidad de altitudes y relieves, y la cercanía al Mar Caribe, originan varios microclimas y *zonas de vida* específicas (Calvo 1993). Predominan los bosques húmedos, muy húmedos y pluviales Holdridge (1978), debido a la alta precipitación y temperatura que caracteriza a la vertiente del Caribe (Hilje 2003).

La precipitación pluvial anual, en la parte baja del Cantón de Turrialba es de 2500 mm, en las alturas medias es de 2500 a 4000 mm y en la parte alta es de 2000 mm. Son lluvias convectivas y orográficas, muy intensas (Jiménez 2003).

La temperatura media anual es de 21.7 °C, es cálida entre mayo y noviembre y relativamente fría entre diciembre y abril. La humedad relativa presenta poca variación temporal, generalmente valores superiores a 85 % durante todo el año, la media anual es de 87 %. La evapotranspiración potencial varía desde 800 mm a 1000 mm y es mínima durante la noche. La niebla mantiene húmeda la vegetación durante períodos prolongados (Calvo 1993).

La radiación solar, en marzo, es mayor, concuerda con un mínimo pluviométrico y un mes transicional creciente en la temperatura. El brillo solar es máximo en octubre,

mientras que en julio las horas sol son mínimas con disminución de la precipitación y condiciones de temperatura menor (Calvo 1993).

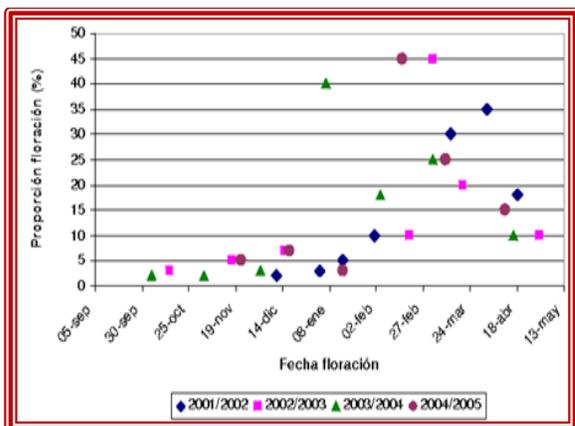
El viento cambia con frecuencia de dirección y velocidad entre el día y la noche. Los vientos fuertes no son frecuentes; sin embargo, en días nublados durante las primeras horas de la tarde, el fenómeno de convección es mayor y causa vientos con velocidad mayor a 40 km/h. En promedio, la velocidad durante el día es de 12 km/h, y durante la noche es de 4 km/h (García 1990).

2.3.2 Efectos de la climatografía de la región de Turrialba sobre Coffea arabica y H. hampei

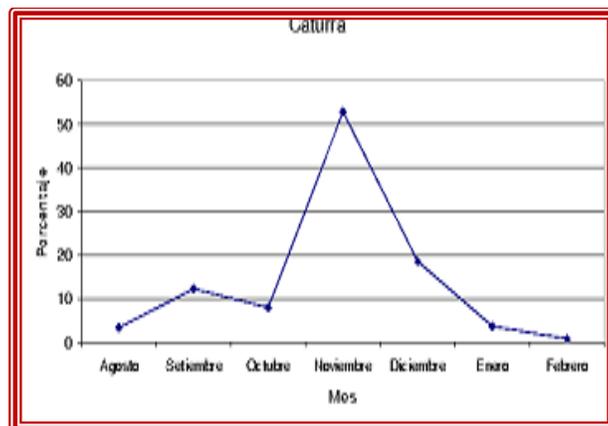
La región de Turrialba se la considera sub óptima para el cultivo de café, debido a las temperaturas altas y la ausencia de una estación seca definida (Merlo 2007). Esto induce floraciones y fructificaciones la mayor parte del año (Figura 1a) lo que prolonga la cosecha durante ocho meses, desde junio hasta febrero, y logra su máxima cantidad en el mes de noviembre (Figura 1b). El constante suministro de alimento propicia las condiciones óptimas para la reproducción, desarrollo y dispersión de *H. hampei* Ferrari, 1867 (Olivas 2010).

El período prolongado de lluvias, que caracteriza a la región de Turrialba favorece la pudrición rápida de los frutos de café, especialmente los del suelo, lo que a su vez puede causar la muerte de *H. hampei* debido a condiciones de humedad desfavorables para el desarrollo de las poblaciones (Rojas 2007b). Las poblaciones potenciales de *H. hampei* procedentes del arbusto y del suelo disminuyen entre enero a febrero y se prolonga hasta mayo, coincidiendo con períodos de menor pluviosidad, máximo pico de vuelo y capturas en trampas (Figuras 1c, 1d y 1e) (Rojas 2007a).

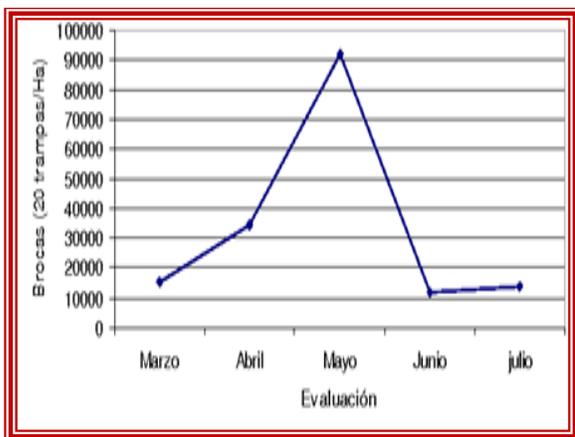
a) Floración. Años 2001 hasta 2004



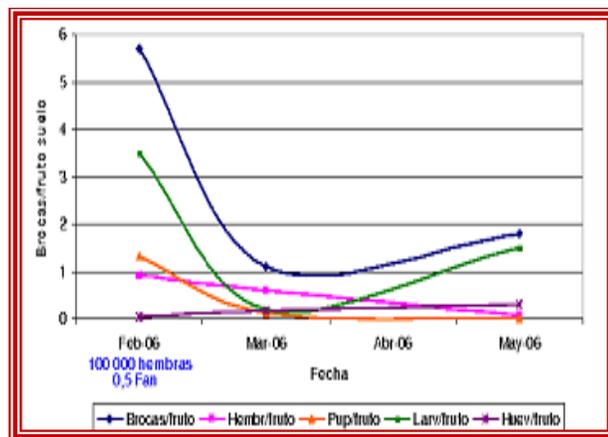
b) Cosecha 2001-2002.



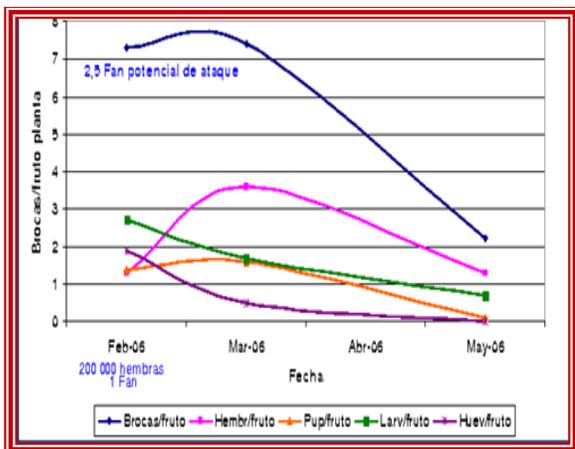
c) Población en 20 trampas / ha. 2006



d) Población en el suelo. Brocas/fruto. 2006



e) Población en el arbusto. Brocas/Fruto. 2006



Fuentes: Rojas B, M. 2007. Manejo integrado del café para el control de la broca en la zona de Turrialba. ICAFE. Editadas por el autor. San José, CR. 26 diapositivas.

Figura 1. Características fenológicas de *C. arabica* y comportamiento de las poblaciones de *H. hampei* en la región de Turrialba.

2.4 Aspectos biológicos de *H. hampei*

2.4.1 Taxonomía

Ticheler (1961), cita a Balachowsky (1949), e indica que, *H. hampei* pertenece al orden Coleoptera, división polyphaga, sub-orden Rhynchophora, super-familia Scolytoidea, clasificada como Curculionoidea por Decazy (1998), familia Curculionidae, subfamilia Scolytinae, super-tribu *Ipini*, tribu Cryphalina. También se le conoce como: *Stephanoderes hampei* Ferrari, *Xyloborus coffeicola* y *Stephanoderes coffea*. (Borbón 1991).

2.4.2 Descripción morfológica

Según Corbett (1933), el adulto es un escarabajo en apariencia algo brillante y color marrón oscuro a negro. Fernández y Cordero (2007) atribuyen el color negro a la madurez fisiológica. “Las antenas y patas son marrones. Las hembras, miden 1.58 mm de longitud y 0.77 mm de anchura, el macho, 0.99 mm de largo y 0.53 mm de ancho. Estas dimensiones están dentro del rango mínimo y máximo establecido por Ticheler en 1961. El cuerpo es cilíndrico y cubierto por zetas. La cabeza es redondeada y oculta desde arriba por el pronoto. Las antenas miden 0.53 mm, pronoto prominente, los márgenes de los élitros son paralelos, Las tibias son dentadas, el primer par de patas tiene seis dientes, el segundo par cinco y cuatro el tercero, Abdomen con cuatro segmentos visibles en la parte ventral, de los cuales, el primero es igual en longitud al segundo y tercero” (Corbett 1933).

“Los huevos son de color blanco lechoso, algo brillantes, alargados, elípticos, redondeados en ambos extremos, ligeramente constreñidos en el centro, con 0.59 mm de longitud y 0.28 mm de ancho” (Corbett 1933).

“La larva al emerger del huevo es de 0.84 mm de longitud y 0.25 mm de ancho por la vista frontal y se reduce en su parte posterior. Es de color blanco, translúcida, con la cabeza marrón pálido, mandíbulas de color marrón y ápodas. Su cuerpo está cubierto por pelos finos. La larva adulta es marcadamente curvada, tiene los pelos más cortos que las larvas jóvenes y mide 2.10 mm de longitud y 0.80 mm de ancho” (Corbett 1933).

“la pupa es blanca, mide alrededor de 1.9 mm de longitud y 0.74 mm de ancho. Su cabeza está completamente oculta bajo el pronoto. El segmento anal tiene dos proyecciones discretas, blanquecinas, transparentes. El ala cubre ampliamente la parte ventral a 0.40 mm de la terminación del abdomen” (Corbett 1933).

2.4.3 Ciclo de vida

El ciclo de vida de *H. hampei* ha sido ampliamente estudiado por Corbett (1933), Ticheler (1961), Baker *et al.* (1992) y Mendesil *et al.* (2000), obteniendo considerables diferencias en la duración de sus estadios, atribuidas a los factores ambientales, los que se describen a continuación.

2.4.4 Condiciones de desarrollo y factores ambientales

2.4.4.1 Efecto de la temperatura

Ticheler (1961) comprobó que las variaciones anuales de la temperatura determina la velocidad de desarrollo de *H. hampei*, señala que la emergencia del insecto de frutos parasitados se incrementa considerablemente entre 20-25 °C. Méndez (1992) indica que el insecto produce altas densidades poblacionales en ambientes con 27 °C e indica que la duración media del desarrollo de una generación es de 40 días, a una temperatura media de 26 °C.

Según Guharay *et al.* (2000) la temperatura determina la duración del ciclo biológico y las generaciones de *H. hampei* suelen acortarse a temperaturas altas lo que aumenta la cantidad de generaciones por año y el nivel de infestación.

Trejo y Funez (2004) relacionaron la temperatura con la altitud y destacaron la fuerte influencia de la temperatura sobre *H. hampei*, ya que en los cafetales ubicados entre 500-700 msnm, existe mayor población del insecto, la que alcanza niveles de infestación de 70 - 80% en plantaciones abandonadas.

Rojas (2007a) determinó que el desarrollo de *H. hampei* en diferentes ambientes varía según la altitud desde 40 días en las zonas más bajas, hasta 93 días en las zonas con

mayor altitud y en donde se llega al inicio de la cosecha sin que haya una generación nueva de adultos dentro de los frutos.

Según Bustillo (2006), el ciclo biológico de *H. hampei*, en condiciones de laboratorio en Colombia, está muy influenciado por la temperatura, la incubación del huevo dura 7.6 días a 23 °C y el estado de larva 15 días para los machos y 19 días para las hembras; la pre-pupa dos días y la pupa 6.4 días a 25.8 °C. El ciclo total se estima en 27.5 días a 24.5 °C. En condiciones de campo es de 45 días a una temperatura promedio de 22 °C y de unos 60 días para una temperatura de 19 °C. En las condiciones medio ambientales de la Región de Turrialba, el ciclo de vida se estima en 43 días (Rojas 2007a).

Guharay *et al.* (2000) en Nicaragua, encontraron que los huevos de *H. hampei* eclosionaban en 5 - 15 días, y el período de oviposición disminuía 14 días al aumentar la temperatura 1 °C (82 - 68 días entre los 23 - 24 °C), en igual forma, la incubación disminuyó en cinco días al subir la temperatura 4°C (14 - 9 días en 20 - 24 °C). La oviposición, en Nicaragua es más prolongada que en Colombia, en condiciones de igualdad de temperatura.

Mendesil *et al.* (2000) en Etiopía, mostraron que de huevo a adulto transcurren 24 a 43 días, con una media de 31.7 ± 0.8 días. La oviposición se inició en 7 - 12 días después de la emergencia de *H. hampei* hembra a temperatura de 25 °C y 60 % de humedad relativa. Obtuvieron correlaciones altamente significativas y positivas entre la edad del fruto y el número de huevos ($r = 0.87$, $p < 0.01$). No hubo diferencias significativas en la masa de huevo entre frutos secos del arbusto y caídos ($\chi^2 = 0,22$, $p > 0,05$).

2.4.4.2 Efecto de la humedad relativa

Ticheler (1961) y Decazy (1990) encontraron que las humedades relativas altas causan pudriciones de los frutos secos perforados remanentes del arbusto y del suelo, lo que desfavorece la supervivencia de los escolítidos. Un contenido de agua superior a 75 % es inadecuado para el desarrollo del insecto y las humedades bajas causan secamiento del fruto lo cual reduce las posibilidades de un incremento poblacional de *H. hampei*, y causa su muerte.

Por su cuenta, Bustillo (2006), observó que la humedad afecta la mortalidad y el potencial reproductivo del insecto. En humedades bajas ocurre alta mortalidad, pero también, la fecundidad máxima ocurrió con humedades de 90 y 93.5 %. La combinación de humedades relativas altas (90 – 100 %) y temperaturas menores que 20 °C ralentizan el desarrollo de *H. hampei*, pero se incrementa considerablemente entre 20 - 25 °C (Baker *et al.* 1992).

Méndez (1992), indica que la humedad relativa contribuye significativamente al aumento poblacional de *H. hampei*.

2.4.4.3 Efecto de la precipitación pluvial

Urbina (1987), explica que el parasitismo de *H. hampei* a los frutos es impulsado por la abundancia de las lluvias, que a su vez, beneficia la floración, fructificación y el número de cerezas disponibles para el insecto durante el año. En los climas de estación seca pronunciada, las cerezas maduran simultáneamente, de manera que después de la recolección no se encuentran en el arbusto frutos maduros, mientras que en climas sin estación seca, como en Sumatra, hay floraciones durante todo el año y en consecuencia, *H. hampei* dispone permanentemente de cerezas maduras. Bustillo (2007) indica que al iniciar las lluvias, *H. hampei* comienza su emergencia desde los frutos infestados hacia los frutos nuevos del arbusto.

Según Ticheler (1961), la influencia directa de la lluvia sobre *H. hampei* se limita a impedir el vuelo; esta aseveración es respaldada por Guharay *et al.* (2000) al indicar que las altas precipitaciones disminuye las poblaciones de *H. hampei* porque, las hembras salen en busca de frutos en pre-oviposición, exponiéndose a la lluvia y por lo tanto mueren. Añade, que a menor precipitación, las poblaciones pueden aumentar. Méndez (1992) atribuye las fluctuaciones en la densidad poblacional de *H. hampei* a las fluctuaciones conjuntas de los factores ambientales, siendo especialmente desfavorables las sequías prolongadas.

Los estudios sobre dinámica poblacional de *H. hampei* en los frutos residuales del suelo y arbusto en Costa Rica, indican un aumento en las poblaciones durante períodos

secos y su disminución causada por las lluvias, lo que evidencia su efecto sobre la mortalidad de *H. hampei* encontrada en los frutos del suelo.

Los periodos prolongados de sequía en los agroecosistemas cafetaleros colombianos causan mayor reproducción y desarrollo de *H. hampei* dentro de los frutos caídos al no recibir humedad por las lluvias, mientras que con las altas precipitaciones no se reproduce en grandes cantidades dentro de los frutos. *H. hampei* no emerge de los frutos durante los períodos sin lluvia. Este comportamiento genera una gran descendencia que inicia su salida continua, pero en cantidades bajas cuando comienzan las lluvias (CENICAFE 1997 - 1998, citados por Bustillo 2006).

Por otro lado, Baker (1984), Baker *et al.* (1989), Baker *et al.* (1992) y Barrera *et al.* (1995) en México, concluyeron que con el inicio de la época seca del año, entre noviembre y diciembre, las poblaciones de adultos se refugian en los frutos de café que no fueron cosechados, hasta que son estimuladas por las primeras lluvias del año, entre marzo y mayo, para dejar los frutos viejos de café de la cosecha anterior e infestar los frutos nuevos.

Finalmente, Wegbe *et al.* (2007) sugieren que la dinámica de infestación está determinada por la combinación de factores ambientales y prácticas culturales como el número de días lluvia, altitud, variedad de café, edad de la plantación y la cantidad de *H. hampei*.

2.4.4.4 Efecto del nivel de sombra

La influencia del microclima generado por los árboles de sombra es un tema controversial. Bosselmann *et al.* (2008) demostró una tendencia significativa al aumento de infestaciones por *H. hampei* en los cafetales bajo sombra que los manejados sin sombra. Baker *et al.* (1989) indican que el nivel de sombra no afecta la severidad del daño por *H. hampei*, y que ésta tiene más relación con la lluvia y su efecto indirecto sobre la floración del café.

Féliz (2003) encontró diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre niveles de sombra en junio y julio en función de la infestación de *H. hampei*. Observó que las condiciones de humedad en las plantaciones de café sombreadas favorecen el desarrollo de *H. hampei*. Además, sugiere que las poblaciones del escoltído en los frutos del suelo, de las plantaciones sombreadas y en pleno sol, no variaron, a excepción del mes de mayo.

2.4.5 Hábitos biológicos

2.4.5.1 Relación de sexos

La relación de sexos en *H. hampei* es aproximadamente de 1:10 a favor de las hembras (Ruiz 1996). Esta tasa alta de endogamia, observada por Benavides *et al.* (2005) produce adultos machos con solo función reproductora, no vuela ni puede perforar los frutos y permanece toda su vida dentro de él. Las hembras y machos adultos son diploides, copulan dentro del fruto, pero los machos no pueden transmitir los cromosomas a la progenie (Brun *et al.* 1995).

El comportamiento reproductivo de *H. hampei* en función de su determinación sexual, en el que predominan las hembras sobre los machos, sugiere que ninguno de los siete cromosomas en su forma haploide, presentes en *H. hampei*, han sido ligados a la determinación sexual, se piensa que probacterias endosimbiontes del género *Wolbachia*, son las causantes de la determinación sexual (Brun *et al.* 1995, Vega *et al.* 2002, Bustillo 2006).

2.4.5.2 Número de generaciones

El tiempo generacional determina las veces que un insecto puede repetir su ciclo biológico en un período productivo. Normalmente, *H. hampei* hembra emerge de la pupa y se aparea con un hermano, sale y penetra en otro fruto apetecible e inicia su oviposición. Sin embargo, pueden darse dos generaciones en el mismo fruto hasta la cosecha, e incluso cuatro si los frutos no se cosechan y se dejan secar en el arbusto (Ruiz 1996). Klein (1989?) indica como regla general hasta dos generaciones por fruto.

En Honduras, se estima que *H. hampei* produce tres a cinco generaciones por año y hasta ocho en fincas mal manejadas y asociadas a sequía (Trejo y Funez 2004).

Guharay *et al.* (2000) indican que entre generaciones transcurren 35 a 65 días, pero se produce una reducción del período de desarrollo al aumentar la temperatura ambiental.

Ticheler (1961) indica que “existen cuatro generaciones desde que inicia el ataque en los frutos entre diciembre y enero, hasta la cosecha en mayo, seguido de tres generaciones en los meses siguientes. La evolución lenta del desarrollo de generaciones durante seis meses hace que *H. hampei* se multiplique en proporción a la cantidad de cerezas que quedaron en los arbustos o que cayeron al suelo, sin que haya falta de alimento, lo cual sucedería si ocurrieran cuatro a cinco generaciones en lugar de tres. Esta circunstancia unida a una recolección poco cuidadosa provoca el desarrollo numeroso de insectos que afectarán los frutos nuevos de la cosecha siguiente”.

2.4.5.3 La penetración del fruto

El tiempo que demora *H. hampei* en penetrar por el extremo basal del fruto está en función del estado de desarrollo y de maduración; en frutos verdes, requiere en promedio 5 horas y 36 minutos, en medio maduros 5 horas y 54 minutos, en maduros, 4 horas y 50 minutos y en frutos secos 11 horas y 21 minutos, por lo tanto, existe la tendencia a penetrar con mayor rapidez en los frutos maduros (Bustillo 2006). Mendesil *et al.* (2000) encontró que una hembra puede demorar hasta 5.8 horas en penetrar y causar daños de 8 % hasta 60 % de los frutos.

Ruíz (1996) estudió, en cafetales ubicados entre 1200 a 1350 m, la influencia directa que tiene la acumulación de la materia seca en el fruto de café, sobre el tiempo que tarda el insecto desde inicio de la perforación hasta comienzos de la oviposición. Este tiempo fluctúa entre 91 días para frutos de 60 días de edad (11 % de peso seco) hasta cuatro días en frutos de 210 días de edad (33 % de peso seco).

Rojas (2007a) en la región cafetalera de Costa Rica, determinó que los frutos alcanzan el 20 % de materia seca desde los 100 hasta los 172 días después de la floración,

momento que son infestados fácilmente por el insecto, siendo las zonas más bajas donde se alcanza primero ese porcentaje.

“Cuando *H. hampei* inicia la penetración en frutos no muy desarrollados (< 150 días) el tiempo de exposición en el canal de penetración es muy prolongado ya que espera a que la consistencia del endospermo sea la adecuada para iniciar su oviposición” (Villalba *et al.* citados por Bustillo 2006). Bustillo (2007) observó que después de 180 días de crecimiento del fruto, *H. hampei* penetró en su totalidad el endospermo ya que éste tenía la consistencia adecuada para iniciar la oviposición.

2.4.5.4 El fruto: un hábitat y nicho ecológico vital

En los sistemas agroforestales y café, los frutos remanentes en el arbusto sean secos, maduros, verdes aptos y los secos del suelo proveen de refugio y alimento a *H. hampei* lo que conduce a una relación ecológica de parasitismo obligado.

Guharay *et al.* (2000) sostienen la hipótesis de que los frutos proveen el hábitat para la reproducción del escolítido durante febrero a mayo, formando poblaciones de adultos, principalmente hembras recién fecundadas y listas para ovipositar en los frutos nuevos de las floraciones precoces, y luego se reproducen durante junio a agosto y salen a colonizar los frutos apetecibles de las floraciones principales, lo que asegura el aumento drástico de la población.

Dufour *et al.* (2007) estudiaron minuciosamente el papel vital que tienen los frutos remanentes del arbusto y suelo en el desarrollo de las poblaciones de *H. hampei*, además de los factores biológicos y ecológicos que generan a esos frutos, como lo son la maduración por el efecto de factores fisiológicos, en especial por defectos de nutrición, biológicos causados por enfermedades, mecánicos como las fracturas de ramas, agresiones climatológicas, los que cayeron durante la cosecha y los que se quedaron abandonados sobre los cafetos. Dufour y colaboradores, indican que la cantidad de frutos del suelo está relacionada con la duración de los cortes. Así, los últimos lotes que se cosecharon tenían un café más maduro, a veces sobre maduro que los primeros y por lo tanto, se cayó fácilmente y en abundancia al tocar las ramas. Esta situación es aprovechada por *H.*

hampei para perpetuarse al parasitar, en promedio 29 % de frutos del suelo y 49 % de los que permanecieron en la planta un mes después del último corte.

2.4.5.5 Comunicación aleloquímica, búsqueda del hábitat y nicho ecológico

Uno de los componentes más importantes en el sistema de comunicación química de los insectos son los aleloquímicos, sustancias químicas que intervienen en la relación interespecífica de los insectos. Dependiendo de su función se dividen en alomonas, kairomonas, sinimonas y apneumonas. Las kairomonas son moléculas orgánicas que sirven para la comunicación interespecífica, y son favorables al receptor pero no al emisor; se utilizan en el trapeo de *H hampei* (Villalobos y Blanco-Metzler 2006).

H. hampei primero es atraída por metabolitos secundarios que produce el fruto en su proceso de crecimiento y desarrollo, las que llegan después, son atraídas por los mismos factores, pero también por los volátiles liberados por la primera *H. hampei*. He aquí una relación ecológica importante que condiciona el hábito de agregamiento del insecto. Es evidente que en los desechos fecales se producen sustancias que atraen a otras hembras, por esto, tienden a concentrarse en ciertas ramas y arbustos de café (Bustillo 2006). Barrera *et al.* (2006) reportaron la atracción del insecto hacia sustancias volátiles provenientes de sus desechos alimenticios y fecales.

Borbón (2007a) afirma que las cerezas de café contienen más de 50 tipos diferentes de alcoholes. Mendesil *et al.* (2009) encontraron en frutos maduros y secos, seis componentes volátiles activos en *C. Arabica*, metilciclohexano; etilbenceno; nonano 1-octen-3-ol; (R)-limoneno y (R)-3-etil-4-methylpentanol. Cuatro de estas sustancias demostraron una significativa respuesta atractiva de *H. hampei*, (R)-3-etil-4-methylpentanol, metilciclohexano, nonano 1-octen-3-ol, etilbenceno, y a la mezcla sintética de estos cuatro compuestos.

En el mismo orden de ideas, Prates (1969) y Barrera *et al.* (2006) encontraron que *H. hampei* era significativamente atraída hacia los extractos de frutos verdes y maduros puros o rebajados a 50 % en comparación al testigo agua.

Rojas (2007b) considera que la mezcla de metanol-etanol y café soluble en benzaldehído y salicilato de metilo, aumenta significativamente la atracción de *H. hampei*; pero señala que los extractos acuosos de frutos verdes y rojos solos o agregados al metanol: etanol (3:1 v/v) fueron menos atractivos para *H. hampei* que la mezcla sola. Gutiérrez y Ondarza (1996) indican que la relación 3:1 v/v de metanol y etanol es la más atractiva para el insecto.

Barrera *et al.* (2006) indican que la adición de café puro tostado y molido incrementa la captura de *H. hampei* de la mezcla de metanol - etanol. También, el efecto contrario, repelencia, fue reportado por Borbón *et al.* (2000) para varios compuestos, especialmente en el caso del Z-3 hexenol.

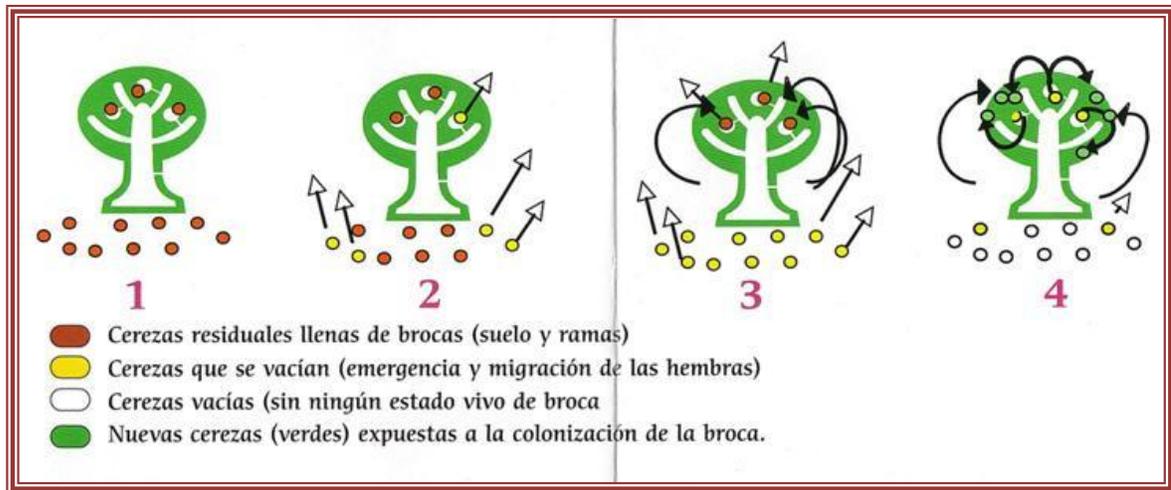
Mendoza (1991) en Brasil, Borbón *et al.* (2000) y Cárdenas (2000) señalan un efecto sinergista de atractividad de *H. hampei* del etanol mezclado con metanol en proporción 3:1 v/v sin embargo, la proporción 1:1 v/v fue encontrada mejor por (Cárdenas 2000, González y Dufour 2000).

2.4.5.6 Migración y sobrevivencia

La evolución de las poblaciones de *H. hampei* en los frutos remanentes es el aspecto bioecológico que mejor describe la estrategia migratoria y de sobrevivencia del insecto (Figura 2). Dufour *et al.* (2007) explica que “después de la cosecha, el insecto se desarrolla en los frutos que quedan en los cafetos y en los que han caído al suelo; con las primeras lluvias, las hembras salen de esos frutos y vuelan para colonizar un fruto nuevo. Generalmente, los primeros escolítidos colonizadores no encuentran frutos apetecibles, por lo tanto, una parte muere y la otra se refugia en las cerezas secas que han quedado sobre las ramas. Con el tiempo, los frutos nuevos crecen y se vuelven atractivos para las poblaciones que han sobrevivido”. La migración también puede hacerla caminando entre los frutos (Dufour *et al.* 2007).

Siguen explicando que “las brocas migrantes que se refugiaron en los frutos secos del suelo los abandonan; pero al mismo tiempo, los frutos secos que quedaban sobre las ramas se llenaron de hembras adultas reproduciéndose de inmediato ya que muestran

numerosos estadios inmaduros. Este comportamiento, alcanza su máximo a finales de junio cuando los frutos del suelo estaban vacíos. La estrategia de *H. hampei* que no encuentra nuevos hospederos después de haber migrado de los frutos del suelo, consiste en colonizar temporalmente los frutos secos de la planta esperando el momento oportuno para parasitar la fructificación nueva, siendo los frutos prematuros de la nueva cosecha el primer blanco de *H. hampei* en fase de migración” (Dufour *et al.* 2007).



Fuente: Dufour, B. 2007. Manejo integrado de la broca del café diseñado con tres componentes. IICA-Promecafé. San Salvador. SV. 8 p.

Figura 2. Migración y supervivencia de *H. hampei* en los frutos remanentes del arbusto y suelo.

En ese orden de ideas, Castaño *et al.* (2005) indican que los hábitos migratorios y de supervivencia de *H. hampei* en cafetales eliminados en Colombia están explicados por la cantidad de adultos en el suelo, su desarrollo en los frutos infestados, la emergencia de adultos y el nivel de infestación en los cafetales vecinos. Señalan también que aunque los frutos inmaduros caídos al suelo presentaron menor porcentaje de infestación y menor número de estadios biológicos, suministraron el 80 % del total de hembras que volaron en búsqueda de frutos apetecibles.

Según Baker (1984) las poblaciones migrantes de *H. hampei* se concentran sobre las ramas y arbustos de café, al final de la cosecha en época seca, este comportamiento evidencia la escasez de frutos aptos para colonizar. Pero luego, al inicio de la época

lluviosa, las poblaciones se incrementan debido al efecto de las lluvias sobre los frutos caídos que refugiaron al escolítido durante la época de escasez de frutos en el arbusto.

Trejo y Funez (2004) afirman que *H. hampei* migra activamente desde horas tempranas de la tarde hasta el final del día. Aunque vuelan lentamente, tienen la capacidad de efectuar un vuelo sostenido durante 30 minutos. El vuelo del adulto obedece a la necesidad de cubrir algunos requerimientos de alimentación, reproducción - procreación y refugio.

2.5 Daños y pérdidas

H. hampei es el mayor problema que confronta la caficultura mundial. Es capaz de causar pérdidas significativas, destruye los frutos en estado blando - lechoso aunque no los coloniza, granos maduros, granos almacenados, disminuye el rendimiento, calidad física y organoléptica de la bebida y arriesga la salud al favorecer el desarrollo de microorganismos (Decazy 1990, Dufour *et al.* 1999, Guharay *et al.* 2000, Aristizábal 2001, Wegbe *et al.* 2003, Rojas 2007a).

Los daños que causa el escolítido están influenciadas por la altitud, con registros de pérdidas de 34 %, 32 % y 23 % en zonas bajas, medias y altas respectivamente (Ochoa *et al.* 1990).

En Costa Rica, la caída de frutos nuevos causados por la infestación de *H. hampei*, provocan pérdidas entre 5 a 23%; baja calidad del grano, que causa rechazo por los países importadores; pérdida de rendimiento y peso en campo, que disminuye el rendimiento en el beneficiado en un rango de 1 a 10 kg por fanega²; pérdidas de prestigio ante el Mercado Internacional, debido a que no se cuenta con un estricto control de la calidad en los beneficios; aumento en los costos de beneficiado, por una mayor inversión en la selección de los granos dañados por *H. hampei*; aumento en los costos de producción, por las labores de manejo del insecto como granea, juntas y la aplicación de métodos de control (Borbón 2001).

² Una fanega es igual a 400 litros y equivale a 250-255 kg de café en cerezas.

Teixeira *et al.* (2006) afirman que la caída de los frutos de café al suelo durante la fructificación, puede ser el factor principal de pérdidas. Durante la fructificación, la caída de los frutos ocurre continuamente y, en promedio, la proporción de *H. hampei* en esos frutos fue de 4 a 20 veces mayor en el suelo que en los arbustos.

Bustillo (2007) explica que el daño causado por *H. hampei* consiste en perforaciones a los frutos y caída de éstos. Cuando ataca frutos de 60 días de edad, más del 50 % de ellos caen de las ramas y muchos de ellos toman un color característico de la madurez; pero si el ataque ocurre después de 90 días de edad, la caída de frutos es menor que 24 %. La pérdida de peso del café pergamino seco por causa de *H. hampei* fue en promedio de 18 %. Los frutos que fueron atacados tempranamente tienen maduración prematura, lo cual repercute en un manchado del pergamino de los granos sanos lo que disminuye su calidad. En ese sentido Montoya-Restrepo (1999) demostró que los granos perforados tienen una calidad de taza disminuida.

2.6 Métodos de Control

Cervera López (s.f.) define el manejo integrado como la aplicación asociada de varios métodos de control, en la que se mantienen las poblaciones perjudiciales por debajo de los niveles que causan daños, mediante la puesta en práctica de técnicas racionales compatibles como el control químico, biológico, prácticas culturales, etc. de forma que se disminuyan los costos, más cuidado con el medio ambiente, para que sea socialmente aceptable. Los métodos de control por separado y el manejo integrado de *H. hampei* se describen a continuación.

2.6.1 Control químico

Bustillo (2007) indica que el control de *H. hampei* en los agroecosistemas cafetaleros con el uso de insecticidas sintéticos es errático, debido al ingrediente activo, la correcta dosificación, la calibración de los operarios y de los equipos, la topografía del terreno, las condiciones ambientales al hacer las aspersiones, el momento oportuno de las aplicaciones relacionado con la posición del insecto en el grano y la edad del fruto. Los insecticidas mostraron 98 % de eficacia cuando los frutos tuvieron 60 y 120 días de edad y

disminuyó cerca de los 210 días. Esto significa que *H. hampei* está protegido del insecticida dentro del fruto.

El ingrediente activo más utilizado es Endosulfan (Thiodan[®]), pero produce daños ambientales y a la salud humana que supera los beneficios y por tales razones se ha restringido (Bustillo 2006).

2.6.2 Manejo agronómico

Ramírez-Bacca (2009) sostiene que el mejor método de control es un conjunto de prácticas manuales dirigidas a disminuir los frutos remanentes de la cosecha. Consisten en la recolección e incineración de las cerezas parasitadas por *H. hampei*, y la recolección de las cerezas sanas y maduras, sin dejar nada, en el árbol y en el suelo. A finales de los años noventa el manejo agronómico de los frutos remanentes se evidenció como el conjunto de prácticas culturales que más contribuyó a disminuir las poblaciones de *H. hampei* y a su vez generó los mayores ingresos.

Decazy (1990), Borbón (2005) y Dufour (2008) recomiendan la poda de cafetos y de árboles de sombra, porque contribuyen a la aireación del cafetal, que modifica las condiciones ambientales favorables para *H. hampei*, tales como humedad y temperatura constantes. La mejora del manejo de arvenses facilita las labores de pepena y repela, además, causa mejor exposición solar de los frutos remanentes no cosechados, y por lo tanto, el secamiento de estos desfavorece la sobrevivencia de *H. hampei*.

Borbón (2005) indica que el manejo apropiado de la broza y los residuos de los beneficios, contribuyen a disminuir la diseminación de las poblaciones.

2.6.3 Control biológico

El control biológico, se realiza mediante cepas virulentas de hongos entomopatógenos e insectos micro himenópteros utilizados como parasitoides de *H. hampei*.

2.6.3.1 Hongos entomopatógenos

El hongo más conocido es *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, se desarrolla y mata al insecto en tres a seis días si las condiciones de humedad relativa están entre 70 a 80 %. Produce un micelio blanco que desarrolla entre los tegumentos de su hospedero. El hongo ataca a *H. hampei* cuando está fuera del fruto, o en el canal de penetración. Puede controlar al insecto hasta un 40 % (Borbón 2005).

Según Bustillo (2007) el efecto patogénico de *B. bassiana* (Bals.) cepa Bb9205, es independiente del porcentaje de infestación del escoltído. La sombra y la posición de las ramas bajas del cafeto incrementan la eficacia del hongo al ser asperjado sobre el área foliar. La residualidad de *B. bassiana* (Bals) Bb9205 sin formular, en el cafetal, disminuye a través del tiempo, encontrándose desde 74 % de control hasta 19 % en 15 días después de aplicado el hongo. La evaluación de cuatro dosis entre 1×10^8 y 5×10^9 esporas/árbol de *B. bassiana* (Bals) Bb9205 permitió encontrar que incrementos de la dosis, aumentó la mortalidad de *H. hampei*.

Con relación al control de *H. hampei* que emerge de los frutos caídos al suelo utilizando aspersiones de *B. bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae*, se encontró hasta 30% de eficacia para *B. bassiana* (Bals) y de 11% para *M. anisopliae*. Fue evidente la reproducción de los hongos en el suelo y la acumulación de esporas infectivas sobre insectos atacados que re infectan nuevos insectos para asegurar la persistencia del microorganismo. Se intenta aumentar la virulencia de las cepas de *B. bassiana*, mediante el uso de técnicas moleculares que permitan la transformación genética y puedan ser más eficaces en el control del insecto (Bustillo 2007).

2.6.3.2 Micro himenópteros parasitoides

Con relación al uso de parasitoides, los estudios han demostrado la viabilidad y eficacia de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, *Prorops nasuta* (Waterston) y *Phymastichus coffea* (La salle) para reducir las infestaciones del escoltído, pero requieren de relaciones altas que oscilan entre 3 y 10 parasitoides por fruto infestado. *C. stephanoderis* y *P. nasuta* al establecerse y distribuirse en el ecosistema cafetalero,

consumen los huevos y las larvas de primer instar, luego, paralizan las larvas de segundo instar, las prepupas y pupas sobre las cuales ovipositan y se desarrollan (Bustillo *et al.* 1996).

Benavides *et al.* (1994) en estudios de campo, encuentra que *C. stephanoderis* disminuye significativamente el número de estados biológicos inmaduros de *H. hampei* en frutos recolectados en árboles y del suelo. Sin embargo, *P. nasuta* demuestra más adaptación al medio ya que se encuentra en mayor proporción y en más lugares que *C. stephanoderis*. El nivel de ataque fue de 48 hasta 65 % para *C. stephanoderis* y de 60 a 70 % para *P. nasuta*.

El control biológico utilizando *P. coffea* es promisorio, parasita al adulto del escolítido que está penetrando los frutos, esto lo hace un complemento ideal para las otras dos especies. En condiciones de campo, se ha comprobado una alta capacidad de búsqueda y adaptación de *P. coffea* sobre poblaciones de *H. hampei*. Los estudios sobre dispersión han mostrado buena capacidad para establecerse en el campo, aún en presencia de poblaciones de *H. hampei* inferiores al 5 % de infestación.

La época oportuna para liberar los parasitoides es al terminar la cosecha principal. Los parasitoides se liberan en los “focos” o puntos de agregación de las poblaciones de *H. hampei* donde los niveles de infestación son más altos. El parasitismo ocasionado por *C. stephanoderis*, aumenta conforme lo hacen las densidades poblacionales de *H. hampei* (Bustillo *et al.* 1996).

Los parasitoides y los hongos entomopatógenos pueden usarse en un programa de manejo integrado de plagas siempre que los primeros sean liberados ocho días antes o después de la aspersión de los entomopatógenos (Bustillo 2007).

Una limitante importante en el uso del control biológico con parasitoides es su alto costo de producción.

2.6.4 Control con trampas

Dufour *et al.* (2005), Dufour *et al.* (2007) y Dufour *et al.* (2008) en condiciones de agroecosistemas cafetaleros en El Salvador, desarrollaron técnicas de capturas con el uso de la trampa Brocap® con una mezcla de etanol/metanol en proporción 1:1 v/v, realizadas cuando los frutos son escasos y *H. hampei* está migrando. Se instalan 18 trampas / hectárea ubicadas a alturas de 1.0 hasta 2.5 m. Las trampas deben limpiarse cada 15 días y se verifica que el difusor tenga atrayente (Barrera *et al.* 2006).

Aunque no se descarta el hecho de que los frutos prematuros atraen al insecto con la misma facilidad que ésta, la trampa Brocap® es eficiente debido al número elevado de insectos capturados por trampa, 3,820 insectos / día y la consecuente reducción del nivel de infestación entre 85 % a 87 %.

Las técnicas descritas, también son mencionadas por Jarquín *et al.* (2006) como componentes importantes en el manejo integrado de *H. hampei*.

2.6.5 Manejo integrado de *H. hampei*

Es la gestión e integración de varios componentes con la finalidad de reducir las poblaciones de *H. hampei* a niveles bioecológicos aceptables, y costos bajos.

Bustillo (2002) y Bustillo (2007) proponen consolidar un programa de manejo integrado de *H. hampei*, con el objetivo de disminuir las poblaciones mediante la combinación de los manejos agronómicos, culturales, biológicos y químicos. La parte agronómica contempla una visión general del manejo integrado de la finca y de toda las prácticas tendientes a mejorar el cultivo del café como selección de variedades, renovación de cafetales, división de la finca por lotes, trazados bien definidos, manejo de arvenses, fertilizaciones, recolección oportuna del café, el beneficiado ecológico, entre otras.

Aristizábal (2001) añade que en un programa de manejo integrado del escolítido y del agroecosistema cafetalero, el componente socioeconómico es importante y se deben realizar procesos de generación, desarrollo y transferencias de tecnologías, que le permita a

los caficultores continuar produciendo café de buena calidad, competir en los mercados internacionales y sostener una caficultura a largo plazo, desarrollista y en equilibrio agroecológico.

Por su parte, Pareja (2008) indica que un programa de manejo integrado de plagas es una posibilidad viable porque se basa en un conocimiento sólido de la ecología del sistema de producción, incluyendo el cultivo, sus plagas, los enemigos naturales y los factores socioeconómicos. En conjunto, pueden afectar la adopción de prácticas fitoproteccionistas y la toma de decisiones, por parte de los agricultores sobre el momento, la forma de proteger el cultivo y el desarrollo de opciones no químicas.

2.6.6 Concepto de manejo integrado con tres componentes

El concepto de manejo integrado con tres componentes es un tipo de manejo integrado de plagas simplificado. Consiste en la aplicación de la repela estricta, trapeo y manejo agronómico, fue desarrollado por Dufour en agroecosistemas cafetaleros de El Salvador, a partir del entendimiento del comportamiento migratorio y sobrevivencia del escolítido después de la cosecha.

Dufour (2008) demostró que los factores agroecológicos como la lluvia, la humedad ambiental y la temperatura pueden ser modificados por la sombra a favor del insecto, también puede afectar la estrategia de manejo integrado, por esta razón, su aplicación se restringe a áreas cafetaleras donde están bien definidas la estación seca y lluviosa, en la cual se produce una sola cosecha anual y donde las condiciones de sombra favorezcan el trapeo; sin embargo, puede ser útil en cafetales a pleno sol.

La estrategia del manejo integrado de *H. hampei* diseñado con tres componentes consiste en la aplicación de una repela estricta, es decir, la recolección de todos los frutos residuales de las ramas, verdes, maduros, secos y los frutos generados por las floraciones precoces, para evitar que el insecto se refugie y disperse.

“Con el trapeo se captura el escolítido que vuela de las cerezas residuales del suelo, al inicio de la temporada lluviosa. Las trampas se instalan a principio de marzo y se retiran a finales de junio y deben utilizarse 18 por hectárea” (Dufour 2008).

El manejo agronómico consiste en “la poda de los cafetos, la regulación de las especies de sombra y el ordenamiento del cafetal. La poda de los cafetos se realiza después de la cosecha para regenerar el tejido productivo, ventilar el cafetal y mejorar la penetración de la luz, de esa forma, se acelerara el desecamiento de los frutos residuales caídos al suelo lo que reduce el desarrollo de poblaciones de *H. hampei* que sobreviven en estos frutos”. La regulación de la sombra tiene el mismo efecto, y el ordenamiento del cafetal facilita la repela y trapeo” (Dufour 2008).

“Con la aplicación de los tres componentes en agroecosistemas cafetaleros con sombra se reduce la infestación de *H. hampei* en más de 90 %. La repela y el trapeo contribuyen en 70 % y el manejo agronómico en 20 %” (Dufour 2008).

2.6.7 Cultivares resistentes

El desarrollo de cultivares resistentes es un componente importante para el manejo sostenible de *H. hampei*, por su viabilidad económica, ambiental y es compatible con los programa de manejo integrado de plagas. Romero y Cortina (2007), encontraron cuatro accesiones de *C. arabica* con un número menor de oviposición y progenies de *H. hampei* que en *C. arabica* cv. Caturra, lo que incidió en una menor tasa reproductiva neta e intrínseca. Estas introducciones pueden utilizarse como fuentes de resistencia en programas de mejoramiento genético.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

La investigación se ejecutó en la finca experimental del CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, durante febrero a septiembre de 2010, en el área ocupada por el ensayo de sistemas agroforestales con el cultivo de café, las coordenadas geográficas lo ubican entre el paralelo 9° 53′ 44″ de

latitud norte; y el meridiano 83° 40 '7'' de longitud oeste; y altitud de 600 msnm. La zona de vida, según el sistema de clasificación de Holdridge fue Bosque premontano muy húmedo (Merlo 2007).

3.2 Descripción del área experimental del CATIE

“El área ocupada por el ensayo de sistemas agroforestales con el cultivo de café es de aproximadamente 9.2 ha. Los datos meteorológicos de la estación El CATIE, ubicada en el Campus del Centro en Turrialba, a una altitud de 602 msnm y con coordenadas 90° 53' latitud Norte y 83° 38' longitud Oeste, indican promedios de precipitación pluvial histórico de 2698 mm/año, un total de 3028 mm/ año en el 2008, temperatura promedio de 21.8 °C, humedad relativa promedio de 88.1 % y radiación solar promedio de 16.7 Mj/m². “Los suelos se clasifican como aluviales mixtos, Ultisol e Inceptisol, con texturas entre franco y franco-arcilloso en los primeros horizontes” (Melo de *et al.* 2002) (Cuadro 1).

El cultivar de café utilizado fue (*C. arabica* L. - cv. Caturra), plantado en agosto del año 2000 colocando dos arbustos por punto de siembra y con distancias de 2.0 m entre hileras y 1.0 m entre arbustos, lo que es igual a una densidad de siembra de 5000 plantas / hectárea. Las especies de sombra permanente fueron Poró (*Erythrina poeppigiana*) (Walp) D.F. Cook), Roble Coral/Amarillón (*Terminalia amazonia*) y Cashá (*Chloroleucon eurycyclum/ Abarema idiopoda*) (Blake) Barneby & Grimes), sembrados en octubre de 2000 a una distancia original de siembra de 6.0 m entre hileras y 4.0 m entre árboles, Aquino de *et al.* (2007) y densidad teórica de siembra de 417 árboles por hectárea. Debido a los raleos, los espaciamientos han aumentado y el arreglo topológico ha cambiado.

Cuadro 1. Comportamiento histórico del clima en el Cantón de Turrialba.

Meses	Precipitación pluvial Total Promedio mensual (2008) (mm)	Precipitación total mensual (1942-2008) (mm)	Temperatura media mensual (1958-2008) (°C)	Humedad relativa media mensual (1958-2008) (%)	Radiación solar Promedio mensual (1958-2008) (Mj/m ²)
Enero	101.3	189.3	20.6	87.6	15.3
Febrero	54.7	138.8	20.8	86.4	17.1
Marzo	43.1	87.0	21.5	85.3	19.0
Abril	143.6	129.9	22.1	86.0	18.8
Mayo	346.2	246.5	22.7	87.9	17.8
Junio	205.0	279.6	22.6	89.0	16.5
Julio	395.7	279.3	22.2	89.8	15.4
Agosto	390.7	258.4	22.3	89.2	16.7
Septiembre	209.7	253.2	22.4	88.5	17.9
Octubre	284.6	249.9	22.3	89.0	17.1
Noviembre	541.5	279.9	21.7	89.8	14.6
Diciembre	312.4	306.8	20.9	89.2	13.9
Total	3028.	2698.0	-	-	-
Prom. Anual	252.4	224.8	21.8	88.1	16.7

Fuente: Salas, A. 2008. Estación Meteorológica El CATIE, CATIE. Editado por el autor.

Debido a la aplican productos químicos de síntesis en las parcelas con manejo convencional, se optó por utilizar los bordes de las parcelas para establecer los tratamientos que contienen el factor manejo convencional sin insecticida.

3.3 Factores en estudio

Los factores estudiados en el agroecosistema cafetalero fueron, nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico; la sombra abarcó tres niveles denominados, sombra densa (SD), sombra media (SM) y sin sombra (SS). La sombra densa estuvo constituida por el sistema agroforestal de las especies Cashá (*C. euryciclum/A. idiopoda*) (Blake Barneby & Grimes) y Poró (*E. poeppigiana*) (Walp) D.F. Cook), con rangos promedios de sombra de 61 %; la sombra media por el agroecosistema de la especie Poró (*E. poeppigiana*) (33 %) y sin sombra (SS), por el agroecosistema café expuesto al sol. El factor manejo agronómico se aplicó en tres niveles de intensidad de insumos, manejo medio convencional más insecticida de síntesis para el control de *H. hampei* (MCI), Manejo orgánico intensivo más *B. bassiana* (Bals) para el control de *H. hampei* (MOB) y manejo medio convencional sin insecticida para el control de *H. hampei* (MCS). Las combinaciones de los factores nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Combinación de los factores nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico

Nivel de sombra	Intensidad de manejo agronómico	Combinaciones factoriales
Sombra densa (SD) (<i>A. idiopoda</i> y <i>E. poeppigiana</i>)	Medio Convencional más Insecticida sintético para el control de <i>H. hampei</i> (MCI)	SD_MCI
	Orgánico Intensivo más <i>B. bassiana</i> para el control de <i>H. hampei</i> (MOB)	SD_MOB
	Medio Convencional sin control de <i>H. hampei</i> (MCS)	No existe
Sombra media (SM) (<i>E. poeppigiana</i>)	Medio Convencional más Insecticida sintético para el control de <i>H. hampei</i> (MCI)	No existe
	Orgánico Intensivo más <i>B. bassiana</i> para el control de <i>H. hampei</i> (MOB)	SM_MOB
	Medio Convencional sin control de <i>H. hampei</i> (MCS)	SM_MCS
Sin sombra (SS) (Pleno Sol)	Medio Convencional más Insecticida sintético para el control de <i>H. hampei</i> (MCI)	SS_MCI
	Orgánico Intensivo más <i>B. bassiana</i> para el control de <i>H. hampei</i> (MOB)	No existe
	Medio Convencional sin control de <i>H. hampei</i> (MCS)	SS_MCS

3.4 Caracterización del factor Sombra

A. idiopoda (cashá) es una leguminosa de la familia mimosaceae, de copa alta y abierta que requiere de poda de formación debido a su ramificación irregular. *E. poeppigiana* (poró) es una leguminosa papilonoideae de copa baja y compacta que tolera podas frecuentes, cualidad buena en una especie sombreadora y productora de biomasa (Merlo 2007).

Los árboles de cashá han sido sometidos a podas de formación de fuste desde los primeros dos años de establecida.

En los árboles de poró se practican dos tipos de poda, la poda drástica y la poda regulada intercaladas. La poda regulada se efectúa a 4.5 m de altura y depende de la entrada de luz, consiste en dejar dos a tres ramas en forma de sombrilla con la finalidad de que la copa no cierre. Actualmente se realiza dos veces por año en los árboles de poró. La

poda drástica consiste en la eliminación de la copa a dos metros de altura al inicio del año (diciembre a enero) y en junio.

La densidad de siembra actual en el agroecosistema cashá - poró es de 130 árboles de cashá / ha y 156 árboles de poró / ha. La mitad de la densidad de árboles de poró está en poda drástica y la otra mitad con poda regulada. La densidad de siembra en el agroecosistema poró solo (sombra media) es de 305 árboles/ ha de los que 152 árboles/ ha tienen poda regulada y 153 con poda drástica.

Los tipos de poda descritos se practican tanto en el agroecosistema cashá - poró (sombra densa), poró (sombra media) y dentro de las parcelas con manejos orgánico intensivo y convencional respectivamente.³

3.5 Caracterización del factor manejo agronómico en el agroecosistema

El manejo agronómico medio convencional más insecticida (MCI) consiste en la aplicación de fertilizantes químicos en una tasa mayor a los nutrientes extraídos por la planta de café; prácticas de manejo de enfermedades de uso infrecuente de fungicidas de síntesis, manejo de plagas insectiles con prácticas manuales y uso infrecuentes del insecticida de síntesis Solver 48 EC[®] (Clorpirifos); manejo selectivo de arvenses con practicas manuales y herbicidas en la calle y carril limpio (Melo de *et al.* 2002).

El manejo agronómico medio convencional sin insecticida (MCS) es igual al anterior, pero sin el uso de insecticidas de síntesis y de extractos orgánicos.

El manejo agronómico orgánico más control de *H. hampei* con *B. bassiana* (Balsamo) Vuillemin (MOB), se ha aplicado ininterrumpidamente desde el año 2006. En el año 2010 se aplicó la cepa Sar-05 revigorizada por mes en *H. hampei*, con una concentración de 1.34×10^9 esporas, viabilidad de 100% en 8 meses de almacenamiento y asperjada el 26 de marzo de 2010. Prácticas de fertilización con pulpa de café, gallinaza y piedra mineral molida que suministran al suelo nutrimentos en cantidades mayores a los

³ Elías de Melo. Comunicación personal (2010).

extraídos por el arbusto de café; las enfermedades se manejan con aplicaciones foliares de fungicidas botánicos y biológicos; las plagas insectiles con prácticas manuales e insecticidas botánicos y biológicos; Se practica el manejo selectivo de las arvenses con practicas manuales en la calle y carril limpio (Melo de *et al.* 2002).

3.6 Dimensiones de la parcela experimental

Los aspectos biofísicos de las parcelas que contienen los tratamientos se describen en el Cuadro 3; observe que el área de las parcelas experimentales y de muestreo, así como el número de árboles de especies sombreadoras y el número de cafetos varía de acuerdo al tratamiento. Esto se debe a la forma y tamaño de las parcelas originales del experimento de Sistemas Agroforestales con el cultivo de Café en el que se ha establecido esta investigación.

El croquis de campo con los tratamientos factoriales se muestra en la Figura 3a.

Cuadro 3. Descripción de aspectos biofísicos de las parcelas que contienen los tratamientos factoriales

Tratamiento	Parcelas	Aspecto biofísico	Bloques		
			I	II	III
SD_MCI	Parcela experimental	Área (m ²)	1976	1976	1976
		Número de especies	56	56	56
		Número de cafetos	1040	1040	1040
	Parcela de muestreo	Área (m ²)	900	900	900
		Número de especies	25	25	25
		Número de cafetos	450	450	450
SD_MOB	Parcela experimental	Área (m ²)	1976	1976	1976
		Número de especies	56	56	56
		Número de cafetos	1040	1040	1040
	Parcela de muestreo	Área (m ²)	900	900	900
		Número de especies	25	25	25
		Número de cafetos	450	450	450
SS_MCI	Parcela experimental	Área (m ²)	4000	2263	1958
		Número de especies	0	0	0
		Número de cafetos	1294	1381	744
	Parcela de muestreo	Área (m ²)	450	450	450
		Número de especies	0	0	0
		Número de cafetos	1050	414	457
SS_MCS	Parcela experimental	Área (m ²)	180	2263	1958
		Número de especies	0	0	0
		Número de cafetos	90	1381°	744
	Parcela de muestreo	Área (m ²)	104	396	904
		Número de especies	0	0	0
		Número de cafetos	52	198	457
SMMOB	Parcela experimental	Área (m ²)	1988	1476	1014
		Número de especies	61	45	31
		Número de cafetos	1095	1800	560
	Parcela de muestreo	Área (m ²)	450	370	370
		Número de especies	14	11	11
		Número de cafetos	216	180	180
SM_MCS	Parcela experimental	Área (m ²)	240	1476	1014
		Número de especies	7	45	31
		Número de cafetos	120	779	576
	Parcela de muestreo	Área (m ²)	144	370	370
		Número de especies	4	11	11
		Número de cafetos	72	180	180

Notas: Número de especies se refiere a Cashá (*C. euryciclum/A. idiopoda*) (Blake) Barneby & Grimes) y Poró (*E. poeppigiana*) (Walp) D.F. Cook). El número de especies en los tratamientos con sombra densa y sombra media se calculó asumiendo una densidad de siembra actual de 286 árboles / ha y 305 árboles / ha respectivamente.

3.7 Metodologías de tomas de datos, según la hipótesis

3.7.1 El nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico afectan el desarrollo de *H. hampei* en frutos remanentes del arbusto, suelo y la fructificación nueva

3.7.1.1 Conteo inicial de frutos remanentes

El conteo inicial de frutos remanentes, perforados del arbusto y suelo, se efectuó el 10 de febrero de 2010 en el área de muestreo de cada parcela experimental, en cinco arbustos. Se procedió a contar los surcos de arbustos de café en el área de muestreo, al azar se delimitaron cinco surcos y sobre ellos un arbusto por surco, totalizando una población de cinco arbustos (Figura 3b). Con el uso de estacas colocadas a media distancia del arbusto a muestrear y del vecino se definió un área de 0.5 m² donde se recolectaron todos los frutos remanentes de café existentes en el arbusto de café y en el suelo (Figura 3c). Luego se procedió a separarlos y contarlos, como: número de frutos iniciales remanentes perforados del arbusto, número de frutos iniciales remanentes perforados del suelo y número total de frutos iniciales remanentes (Cuadro 4).

3.7.1.2 Evaluación de los estadios de *H. hampei* en los frutos

Para evaluar las poblaciones de *H. hampei* y sus diferentes estadios se procedió a coleccionar, dentro del área de muestreo de la parcela experimental, según el tipo de fruto, y su procedencia: 30 frutos secos perforados de la parte alta, media y baja del arbusto, 30 frutos secos perforados del suelo, 15 frutos verdes perforados del arbusto y 15 frutos maduros perforados del arbusto. La colecta se planeó hacerla cada 21 días, iniciando el 10 de febrero y terminando el 1 de junio; o bien con la periodicidad con que las lluvias lo permitieron. Se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas de la manera siguiente: Tratamiento, número de bloque, fecha de recolección, nombre del recolector, tipo de fruto (verde, maduro y seco) y procedencia del fruto recolectado (arbusto o suelo) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de conteos de frutos y sus respectivas fechas, días acumulados y días antes y después de la floración principal para estimar las poblaciones de H. hampei dentro de los frutos verdes, maduros, secos del arbusto y secos del suelo

Nº de conteo	Fecha de conteo	Días acumulados	DAFP ¹	DDFP ²
1	10/02/2010	0	13	-
2	23/02/2010	13	-	0
3	16/03/2010	34	-	21
4	15/04/2010	64	-	51
5	10/05/2010	89	-	76
6	01/06/2010	111	-	98

Notas: DAFP¹: Días antes de la floración principal. DDFP²: Días después de la floración principal.

En el laboratorio se procedió a almacenar las bolsas en una incubadora a 18 °C y 75 % de humedad relativa con el fin de disectar los frutos de cada colecta según el tipo y fecha de conteo. De cada fruto disectado se contó el número de hembras adultas vivas y muertas, número de machos adultos vivos y muertos, número de huevos, número de larvas vivas y muertas y número de pupas vivas y muertas.

3.7.2 Las poblaciones de H. hampei son afectadas por las etapas fenológicas del fruto en diferentes niveles de sombra e intensidades de manejo agronómico

3.7.2.1 Distribución de H. hampei y fenología de la fructificación

Para observar la distribución de *H. hampei* en la nueva fructificación, el crecimiento y desarrollo de los frutos y el estado fenológico apto para que fuesen colonizados por *H. hampei*, se efectuó un muestreo cada 30 días, hasta totalizar seis, iniciando el 11 de marzo de 2010 y finalizando el 28 de agosto de 2010 (Cuadro 5).

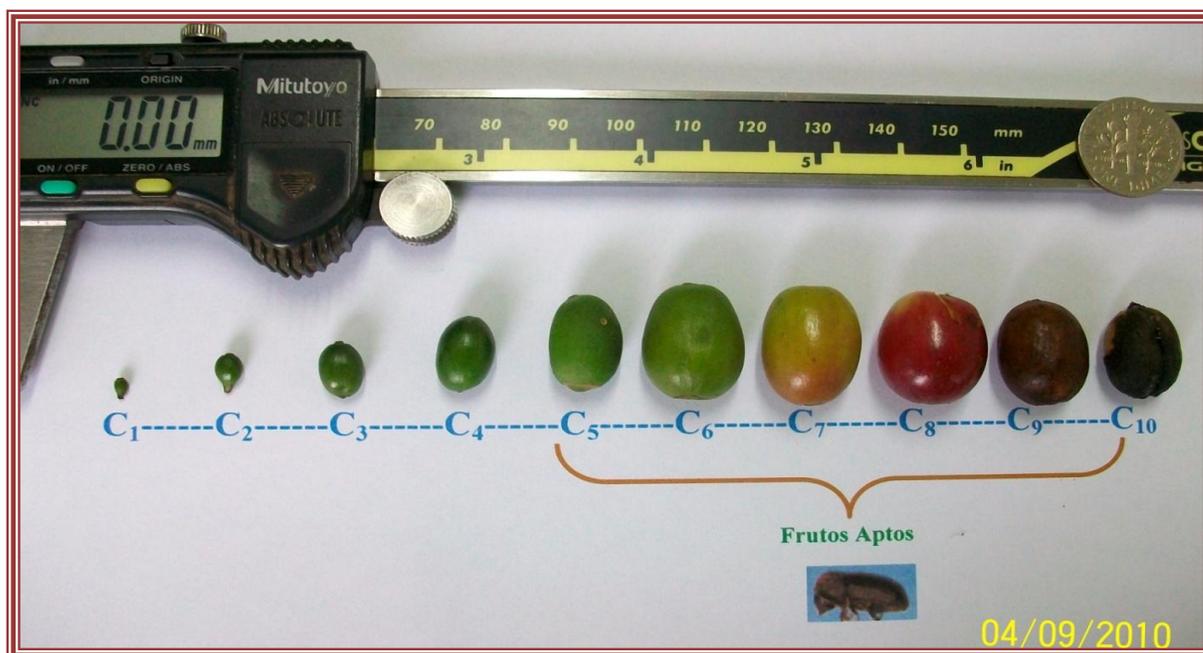
Cuadro 5. Número de conteos y sus respectivas fechas de ejecución para estimar el número de frutos y la distribución de *H. hampei* según la categoría de tamaño

Nº de conteo	Fecha de conteo	Días acumulados	DDFP ¹
1	11/03/2010	0	16
2	13/04/2010	33	49
3	17/05/2010	67	83
4	29/06/2010	110	126
5	28/07/2010	139	155
6	30/08/2010	172	188

Notas: DDFP¹: Días después de la floración principal. La floración principal ocurrió el 23 de febrero de 2010 y representó 75-80% de los frutos.

El muestreo se hizo en los cinco arbustos de café seleccionados al azar previamente, en el conteo inicial de frutos remanentes. En cada arbusto se aleatorizaron cuatro ramas y sobre ellas se contaron los frutos perforados y no perforados de cada rama según su tamaño y coloración utilizando la escala pictórica de la Figura 4.

Los resultados de los conteos se anotaron como: número de frutos perforados de categoría cinco hasta 10 y número de frutos de categoría uno hasta 10. Se tomó en cuenta que los frutos de categorías inferiores a cinco no son aptos para *H. hampei*.



Nota: C: Número de categoría.

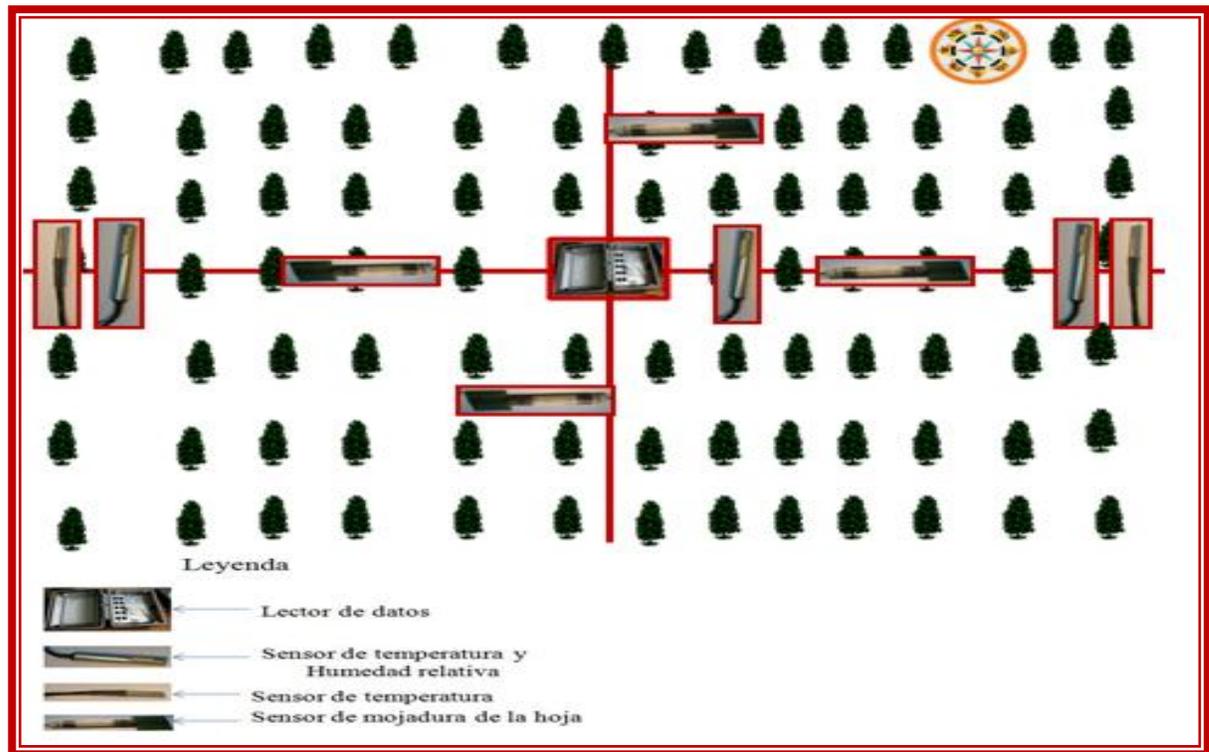
Fuente: Elaboración del autor

Figura 4. Escala visual pictórica y por categoría de tamaño del fruto, con énfasis en los frutos aptos para el desarrollo y distribución de *H. hampei*.

3.7.3 Las poblaciones de *H. hampei*, en diferentes niveles de sombra están explicadas por el microclima generado en cada caso

3.7.3.1 Estimación del microclima en los agroecosistemas

Para registrar y cuantificar los datos del microclima, en los estratos bajo, medio y alto del arbusto de café se utilizaron dos estaciones meteorológicas Hobo Ware[®], ubicadas en el área de muestreo de la parcela experimental, del tratamiento sombra densa y manejo orgánico intensivo más el uso de *B. bassiana* para el control de *H. hampei* y el tratamiento sin sombra y manejo convencional sin insecticida, en el tercer bloque del experimento. Se aleatorizó un grupo de cinco filas de arbustos de café para colocar los sensores dentro de las filas, cerca a un arbusto contiguo.



Fuente: Elaboración del autor

Notas: Las estaciones meteorológicas registraron datos de temperatura diaria, humedad relativa diaria y frecuencia de mojadura de los órganos del cafeto en los estratos bajo, medio y alto del arbusto de café desde del 03/02/2010 al 16/06/2010.

Figura 5 Modelo sin escala que demuestra la posición de los sensores de la estación meteorológica, colocadas a pleno sol y en sombra densa.

La temperatura del aire en el estrato alto, se monitoreó con dos sensores ubicados a 1.0 m de altura y situados en la tercera fila, contadas desde la fila central.

Dos de tres sensores de humedad relativa se colocaron en esa misma posición, pero a alturas de 0.20 m, mientras que el tercer sensor se ubicó a 1.0 m de altura, aproximadamente 0.60 m de distancia del lector de datos. De esa forma, se cubrió el microclima del estrato bajo y alto del arbusto de café.

Los sensores de mojadura⁴ fueron cuatro, dos se ubicaron a 1.0 m de distancia del lector de datos a una altura de 0.20 m, los otros a 2.0 m en direcciones opuestas, pero a una altura de 0.50 m. La lámina de los sensores de mojadura se colocó en un ángulo de 60° y se orientó, en un azimut norte de 220°.

El registro de los datos del microclima (temperatura diaria, humedad relativa diaria y frecuencia de mojadura de los órganos del cafeto) se inició el jueves 3 de febrero de 2010 y finalizó el miércoles 16 de junio de 2010, se compilaron con el programa Hobo Ware[®], el que generó información gráfica de los datos del microclima, cada 30 segundos y promedios de lecturas en cada de 30 minutos (Figura 5).

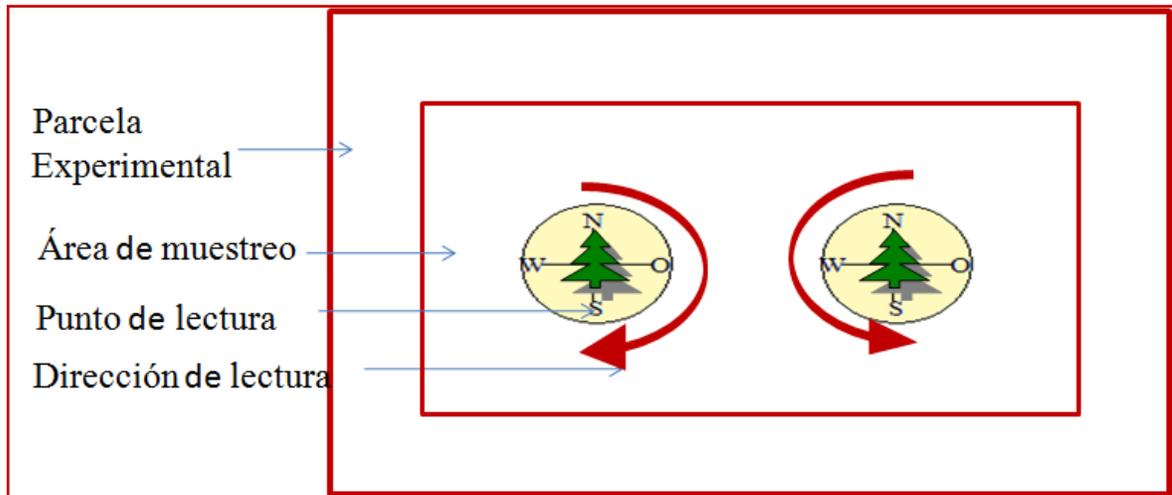
Los datos de precipitación pluvial fueron estimados por la estación meteorológica El CATIE y fueron útiles para caracterizar el microclima en tres intensidades de lluvia, iguales a cero, menores e iguales a cinco y mayores e iguales a cinco.

3.7.3.2 Estimación del nivel de sombra de los agroecosistemas

Para caracterizar el nivel de sombra en cada agroecosistema, se seleccionaron al azar dos arbustos de café en el área de muestreo de las parcelas experimentales. Con el densiómetro esférico modelo C[®] se hicieron dos lecturas del porcentaje de sombra, cada 54 días (27 de marzo de 2010 y 19 de mayo 2010). Cada lectura constó de cuatro sub-lecturas efectuadas en los puntos norte, sur, este y oeste del arbusto aleatorizado. Las cuatro sub-lecturas de la primera lectura se efectuaron en dirección Norte a Oeste mientras que las cuatro

⁴ Los sensores de mojadura miden la cantidad de agua libre.

sub-lecturas de la segunda lectura en dirección Norte a Este, luego se promediaron. Como cada lectura constó de cuatro sub-lecturas, se sumaron todos los promedios de las lecturas para obtener un promedio total de sombra. Los datos de porcentaje de sombra se anotaron como porcentaje de sombra de la fecha uno y porcentaje de sombra de la fecha dos (Figura 6).



Notas: Se hicieron dos lecturas del porcentaje de sombra con el densiómetro esférico el 27/03/2010 y 19/05/2010. Cada lectura resulta de cuatro sub-lecturas tomadas en dirección Norte a Oeste (primera lectura) y Norte a Este (segunda lectura), se sumaron los promedios de cada lectura para obtener el porcentaje total de sombra para cada fecha de lectura.

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 6. Posición y dirección de los puntos de lectura con el densiómetro esférico.

3.7.4 Variables analizadas

a - Variables poblacionales:

Número de frutos iniciales remanentes, perforados del arbusto

Número de frutos iniciales remanentes, perforados del suelo

Número total de frutos iniciales remanentes

Número de *H. hampei* hembras adultas vivas por tipo de fruto disectado

Número de *H. hampei* hembras adultas muertas por tipo de fruto disectado

Número de huevos por tipo de fruto disectado

Número de larvas vivas por tipo de fruto disectado

Número de pupas vivas por tipo de fruto disectado

Número total de individuos por fruto disectado

b - Variables de distribución de *H. hampei* en frutos aptos:

Proporción de frutos perforados de categoría de tamaño 5

Proporción de frutos perforados de categoría de tamaño 6

Proporción de frutos perforados de categoría de tamaño 7

c - Variables fenológicas:

Proporción de frutos de categoría de tamaño 5

Proporción de frutos de categoría de tamaño 6

Proporción de frutos de categoría de tamaño 7

d - Variables meteorológicas:

Variación de la temperatura diaria en niveles de sombra densa y sin sombra.

Variación de la humedad relativa diaria en niveles de sombra densa y sin sombra.

Variación del agua libre en los órganos del cafeto en niveles de sombra densa y sin sombra.

3.7.5 Modelo lineal según el diseño

El modelo de análisis es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_y + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} : Es la variable de respuesta de población y fenología

μ : Es la media general

T_i : Es el efecto del i -ésimo tratamiento

B_j : Es el efecto del j -ésimo bloque

ε_{ijk} : Es el término de error aleatorio, independiente, y supuestamente distribuido normal con media cero y varianza constante.

3.7.6 Análisis estadísticos

Para las variables poblacionales se utilizó el modelo lineal mixto, donde se probó la mejor estructura de covariación, los efectos fijos fueron el factor *sombra_manejo*, número de conteos y la interacción que resultó de ambos factores a fin de establecer las diferencias estadísticas mediante la prueba de hipótesis marginales. También, se declaró el efecto de los bloques como aleatorio para remover su efecto y hacer inferencias solo para los tratamientos. Se utilizó el modelo de correlación autorregresivo continuo de orden uno donde el factor número de conteo fue la variable que indicó el orden de las observaciones, mientras que los bloques se utilizaron como criterio de agrupamiento.

El factor *sombra_manejo* resultó del cruce de los factores *sombra* y *manejo* para utilizar el modelo de correlación continua de orden uno en las variables poblacionales.

En los casos donde se requirió homogenizar las varianzas, para cumplir con los supuestos de independencia de medias, homogeneidad de varianzas y normalidad se procedió a utilizar funciones de ajuste de varianza, como la varianza de identidad (*varIdent*), varianza exponencial (*varExp*), varianza de potencia (*varPower*), varianza corrida por una constante (*var ConstPower*) y los modelos normales. La selección de los modelos de función de ajuste de la varianza fue bajo el menor valor de los criterios de información de Akaike (AIC) y el criterio de información Bayesiano (BIC) D’Rienzzo *et al.* (2008) (Anexos 1, 2 y 3).

Además, para contribuir al cumplimiento de los supuestos de homogeneidad y normalidad de varianza, las variables dependientes poblacionales de número de hembras muertas, número de huevos, número de larvas vivas y número de pupas vivas en los frutos

maduros fueron transformadas a logaritmo natural del número. De igual forma se hizo para las poblaciones de huevos, larvas vivas y pupas vivas en los frutos secos. Como en estas variables poblacionales hubo la presencia de ceros se les sumo uno para transformarlas.

Por falta de homogeneidad en las varianzas no pudieron analizarse, mediante modelos mixtos, las variables, número de hembras y machos adultos, vivos y muertos, número de larvas vivas y número de pupas y huevos en los frutos verdes del arbusto y los secos del suelo.

Para probar la hipótesis sobre los niveles del factor sombra_manejo se realizaron pruebas de contrastes no ortogonales; y para comparar las medias de los factores en estudio se usó la prueba LSD de Fisher ($\alpha=0.05$).

Las variables porcentaje de sombra estimada en la fecha uno, porcentaje de sombra estimada en la fecha dos y número total de frutos de todas las categorías fueron utilizadas como co-variables en los modelos mixtos; sin embargo, ninguna de ellas logró diferencias significativas por lo que se descartaron de los análisis.

En las variables de frutos iniciales remanentes del arbusto y suelo se utilizó un modelo multivariado, donde se declaró como criterio de clasificación a los factores bloque, sombra_manejo y número de conteo.

Con relación a las variables fenológicas, proporción de frutos de categoría cinco, seis y siete, y proporción de frutos perforados por *H. hampei* de categoría cinco, seis y siete se utilizó el análisis de varianza multivariado en base a los estadísticos de Wilks, Pillai, Lawley-Hottelling y Roy los que permitieron decidir sobre la hipótesis de igualdad entre los factores (vectores) en estudio, basado en al menos dos de los cuatro análisis de varianza que expresaron diferencias significativas entre los factores. La prueba de comparación de medias de Hottelling con $\alpha= 0.05$ permitió separar a los factores (Di Rienzo *et al.* 2008).

La comprobación del tamaño muestral se realizó con pruebas de potencia, utilizando la diferencia mínima entre la media mayor y la media menor, la varianza común dentro de los tratamientos o desviación estándar residual ($\sigma: \alpha$), el número de repeticiones de cada tratamiento y la cantidad total de tratamientos con un nivel de significación de $p<0.05$. Los resultados de las pruebas se aprecian en el Anexo 4.

Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2008).

Con relación a la base de datos estadísticos de las variables poblacionales, a excepción del número de frutos iniciales remanentes del suelo y planta y número total de frutos remanentes; fueron estandarizadas mediante la razón del número total de *H. hampei* de cada estadio entre el número total de frutos disectados, lo que dio como resultado a la variable número de *H. hampei* de cada estadio por fruto disectado. También, se estandarizó el número total de *H. hampei* (suma de todos los estadios) entre el número total de frutos disectados y obtener la variable número de individuos totales por fruto disectado.

De las diez categorías de fruto que resultaron según el tamaño y la coloración del fruto (Figura 4) se seleccionaron las categorías cinco, seis y siete que no fueron perturbadas por la cosecha, eran frutos atractivos para *H. hampei* y por lo tanto, las variables de proporción de frutos por categoría y proporción de frutos perforados por *H. hampei* por categoría, fueron objeto de análisis estadístico. Los frutos de las categorías uno, dos, tres y cuatro no eran aptos para la colonización por *H. hampei* y los de categorías, ocho, nueve y diez fueron perturbados por la cosecha por lo que se descartaron del análisis estadístico.

La estimación de la proporción de frutos perforados de categoría cinco, seis y siete se inició en el conteo tres y finalizó en el conteo seis, ya que los conteos uno y dos no pudieron realizarse.

Con relación al microclima, los datos de temperatura, humedad relativa y frecuencia de mojadura fueron procesados con el fin de generar gráficos de temperatura media diaria, humedad relativa media diaria y frecuencia de mojadura media diaria en diferentes categorías de días lluviosos (días secos, ≤ 5 mm y lluvias ≥ 5 mm. En cada gráfico se señaló las condiciones de microclima óptimo para el desarrollo de poblaciones de *H. hampei*.

Para el análisis estadístico de cada variable microclimática, se utilizó la media aritmética y su error estándar calculado en tres horas del día (8:00, 12:00 y 16:00 GMT-06:00), tres intensidades de lluvia (0, ≤ 5 y ≥ 5) y en condiciones de sombra densa y sin sombra.

4 RESULTADOS

4.1 Población de frutos iniciales remanentes, perforados por *H. hampei* del arbusto y suelo, según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico

4.1.1 Prueba de hipótesis para el factor sombra_manejo, según el análisis de varianza multivariado de Wilks

Las pruebas de hipótesis para el factor sombra_manejo indican que no existen diferencias significativas y por lo tanto, los promedios poblacionales de frutos iniciales remanentes del arbusto y suelo son estadísticamente iguales y se comprueba que las poblaciones iniciales no influyen en las poblaciones encontradas posteriormente (Cuadro 6). A pesar de la falta de significancia estadística del factor sombra_manejo, se efectuó una prueba de hipótesis para los contrastes, resultando con diferencias no significativas.

Cuadro 6. Pruebas de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para los factores sombra_manejo, según las poblaciones de frutos remanentes del arbusto y suelo

Variable dependiente	Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Número de frutos iniciales remanentes y perforados del arbusto	Bloque	2	10	5.18	0.0286*
	Sombra_manejo	5	10	0.67	0.6577ns
Número de frutos iniciales remanentes y perforados del suelo	Bloque	2	10	1.16	0.3527ns
	Sombra_manejo	5	10	1.47	0.2828ns

Notas: * = $P < 0.05$. ns: Diferencia no significativa. GLN: Grados de libertad numéricos, GLD: Grados de libertad dentro. Las poblaciones iniciales de *H. hampei* se estimaron en el conteo uno efectuado el 10 de febrero de 2010.

4.2 Población en número de estadios de *H. hampei* en los frutos maduros y secos del arbusto, según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico

4.2.1 Prueba de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, número de conteo y las interacciones, según las variables poblacionales de *H. hampei* en los frutos maduros del arbusto en los conteos uno a seis

Las pruebas de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, número de conteos y su interacción, así como sus respectivos grados de libertad y valores de “F” y “p” se observan en el Cuadro 7. Existen diferencias significativas en los conteos de todas las variables poblacionales de *H. hampei* en los frutos maduros del arbusto de café. Se observan probabilidades con ($F_{5, 57}=11.24, p<0.0001$) para la población de hembras vivas, ($F_{5, 57}=5.17, p<0.0006$) para la población de hembras muertas, ($F_{5, 57}=18.38, p<0.0001$) para las larvas vivas, ($F_{5, 82}=18.98, p<0.0001$) para la población de huevos y ($F_{5, 56}=9.80, p<0.0001$) para la población de pupas vivas. El factor sombra_manejo y la interacción sombra_manejo por número de conteos resultaron con diferencias no significativas, indicando con esto que los efectos causados por los factores sombra_ manejo y número de conteo sobre las variables poblacionales son independientes.

Cuadro 7. Pruebas de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, número de conteo y la interacción sombra_manejo por número de conteo según las poblaciones de H. hampei en los frutos maduros del arbusto en los conteos uno al seis

Variable dependiente	Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Población de hembras vivas en frutos maduros	Sombra _ Manejo	5	10	1.73	0.2148ns
	Número de conteo	5	57	11.24	<0.0001**
	Som._Man. x NC	25	57	0.84	0.6744ns
⁽¹⁾ Población de hembras muertas en frutos maduros	Sombra _ Manejo	5	10	0.22	0.9480ns
	Número de conteo	5	57	5.17	0.0006**
	Som._Man. x NC	25	57	0.72	0.8193ns
⁽¹⁾ Población de huevos en frutos maduros	Sombra _ Manejo	5	10	1.09	0.4238ns
	Número de conteo	5	82	18.98	<0.0001**
	Som._Man. x NC	-	-	-	-
⁽¹⁾ Población de larvas vivas en frutos maduros	Sombra _ Manejo	5	10	0.94	0.4956ns
	Número de conteo	5	57	18.38	<0.0001**
	Som._Man. x NC	25	57	0.80	0.7314ns
⁽¹⁾ Población de pupas vivas en frutos maduros	Sombra _ Manejo	5	10	0.40	0.8368ns
	Número de conteo	5	56	9.80	<0.0001**
	Som._Man. x NC	25	56	1.19	0.2922ns

Notas: ** = P<0.01. ns: Diferencia no significativa. (1) = Variables expresadas en el logaritmo natural de la población. La interacción sombra_manejo por número de conteo en la población de huevos en los frutos maduros no pudo estimarse debido a una varianza muy alta. NC: Número de conteo. GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. los conteos uno al seis se realizaron del 10/ 02/2010 al 01/06/2010).

A pesar de que la prueba de hipótesis marginales indicó ausencia de algún nivel de significancia estadística en el factor sombra_manejo para las variables poblacionales en los frutos maduros, se efectuó una prueba de hipótesis para los contrastes en todas las variables poblacionales, resultando el contraste SS_MCI (sin sombra con manejo convencional más insecticida) versus SD_MCI (sombra densa con manejo convencional más insecticida) de la variable poblacional de número de hembras vivas por fruto maduro, con diferencias significativas ($F_{1, 68}=5.08$, $p<0.0274$) (Cuadro 8). Las diferencias causadas por los niveles de sombra se aprecian en la Figura 7a donde los valores promedios del número de hembras vivas por fruto maduro fueron 1.20 ± 0.23 y 1.91 ± 0.31 respectivamente.

Cuadro 8. Prueba de hipótesis para contrastes entre los factores sombra_manejo en la variable número de hembras vivas en los frutos maduros en los conteos uno a seis

Sombra_ Manejo	Contraste	Valor de F	GLN	GLD	Valor de p
SS_MCI vs SD_MCI	-0.72	5.08	1	68	0.0274*
SS_MCI vs SS_MCS	-0.23	0.74	1	68	0.3921ns
SM_MCS vs SS_MCS	0.35	0.99	1	68	0.3229ns
SM_MCS vs SM_MOB	0.04	0.01	1	68	0.9112ns
SD_MOB vs SD_MCI	-0.04	0.01	1	68	0.9158ns
SD_MOB vs SM_MOB	0.14	0.12	1	68	0.7319ns

Notas: *: Diferencias significativas con valores de $P < 0.05$. ns: Diferencia no significativa. SM_MOB: Sombra media (33%) y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. El insecticida sintético utilizado fue: Solver® (Clorpirifos). GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

4.2.2 Prueba de hipótesis marginales para el factor sombra_manejo, número de conteo y las interacciones, según las variables poblacionales de *H. hampei* en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis

Las pruebas de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, número de conteos y su interacción, así como sus respectivos grados de libertad y valores de “F” y “p” se observan en el Cuadro 9. Las diferencias son significativas en el factor sombra_ manejo ($F_{5, 63}=3.48$, $p < 0.0077$) para la variable poblacional de número de hembras vivas por fruto seco. Las demás variables poblacionales resultaron con diferencias no significativas para el factor sombra_ manejo y en la interacción con los conteos.

En relación con el factor, número de conteo para toda variable poblacional de *H. hampei* en los frutos secos, se aprecian probabilidades con ($F_{5, 53}=19.04$, $p < 0.0001$) para la población de huevos, ($F_{5, 53}=16.98$, $p < 0.0001$) en las larvas vivas, y de ($F_{5, 53}=16.89$, $p < 0.0001$) para las pupas vivas. No existe diferencia significativa para la población de hembras vivas por fruto.

Cuadro 9. Pruebas de hipótesis marginales para los factores sombra_ manejo, número de conteo y la interacción sombra_ manejo por número de conteo, según las poblaciones de *H. hampei* en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis

Variable dependiente	Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Población de hembras vivas en frutos secos del arbusto	Sombra _ Manejo	5	63	3.48	0.0077**
	Número de conteo	5	63	0.98	0.4379ns
	Som._Man. x NC	25	63	1.05	0.4202ns
⁽¹⁾ Población de huevos en frutos secos del arbusto	Sombra _ Manejo	5	10	1.75	0.2112ns
	Número de conteo	5	53	19.04	<0.0001**
	Som._Man. x NC	25	53	0.76	0.7714ns
⁽¹⁾ Población de larvas vivas en frutos secos del arbusto	Sombra _ Manejo	5	10	1.54	0.2609ns
	Número de conteo	5	53	16.98	<0.0001**
	Som._Man. x NC	25	53	1.48	0.1145ns
⁽¹⁾ Población de pupas vivas en frutos secos del arbusto	Sombra _ Manejo	5	10	0.30	0.8996ns
	Número de conteo	5	53	16.89	<0.0001**
	Som._Man. x NC	25	53	1.08	0.3969ns

Notas: ** = P<0.01. ns: Diferencia no significativa. (1) = Variables expresadas en el logaritmo natural de la población. NC: Número de conteo. GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

La prueba de hipótesis para los contrastes entre sombra_manejo en función de la variable poblacional número de hembras vivas por fruto seco (Cuadro 10) indica diferencias significativas ($F_{1, 63}=12.10$, $p<0.0009$ en la comparación de manejo orgánico más *B. bassiana* (MOB, 3.36 ± 1.63) y manejo convencional sin insecticida (MCS, 11.12 ± 1.63) en igualdad de condiciones de sombra media (SM). De igual forma, la comparación de sombra media (SM, 11.12 ± 1.63) y sin sombra (SS, 4.01 ± 1.63) bajo condiciones de manejo convencional sin insecticida (MCS) resultó con diferencias significativas ($F_{1, 63}=10.17$, $p<0.0022$) (Figura 7b).

Cuadro 10. Prueba de hipótesis para contrastes del factor sombra_manejo en la variable poblacional número de hembras vivas en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis

Sombra_Manejo	Contraste	Valor de F	GLN	GLD	Valor de p
SD_MCI vs SD_MOB	0.65	0.08	1	63	0.7760ns
SD_MCI vs SS_MCI	2.08	0.84	1	63	0.3635ns
SD_MOB vs SM_MOB	1.45	0.42	1	63	0.5189ns
SM_MOB vs SM_MCS	-7.76	12.10	1	63	0.0009**
SM_MCS vs SS_MCS	7.12	10.17	1	63	0.0022**
SS_MCI vs SS_MCS	-0.63	0.08	1	63	0.7782ns

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P < 0.01$. ns: Diferencia no significativa. SM_MOB: Sombra media (33%) y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. El insecticida sintético utilizado fue: Solver® (Clorpirifos). GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010

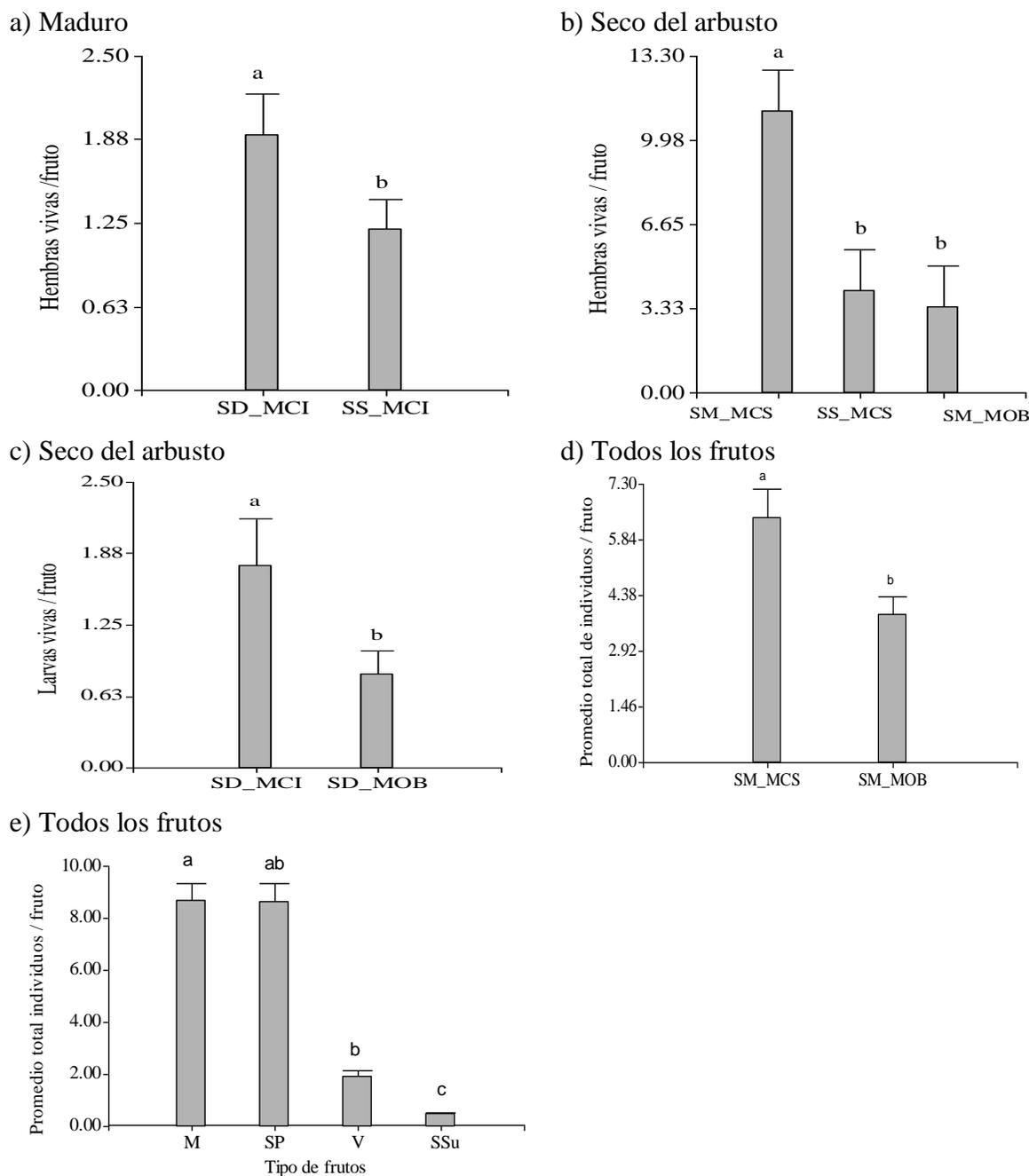
Con relación al número de larvas vivas por fruto seco del arbusto se tiene que la comparación de SD_MCI (sombra densa con manejo convencional más insecticida) (1.77 ± 0.41 larvas vivas / fruto) versus SD_MOB (sombra densa con manejo orgánico más *B. bassiana*) (0.82 ± 0.20 larvas vivas / fruto) resultó con diferencias significativas ($F_{1, 63} = 4.71$, $p < 0.0337$) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Prueba de hipótesis para contrastes del factor sombra_manejo en la variable número de larvas vivas en los frutos secos del arbusto en los conteos uno al seis

Sombra_Manejo	Contraste	Valor de F	GLN	GLD	Valor de p
SD_MCI vs SD_MOB	0.95	4.71	1	63	0.0337*
SD_MCI vs SS_MCI	0.82	2.90	1	63	0.0936ns
SD_MOB vs SM_MOB	-0.02	0.01	1	63	0.9310ns
SM_MOB vs SM_MCS	-0.48	1.04	1	63	0.3108ns
SM_MCS vs SS_MCS	0.29	0.37	1	63	0.5455ns
SS_MCI vs SS_MCS	-0.08	0.06	1	63	0.8106ns

Notas: *: Diferencias significativas con valores de $P < 0.05$. ns: Diferencia no significativa. SM_MOB: Sombra media (33%) y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. El insecticida sintético utilizado fue: Solver® (Clorpirifos). GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

Ambos tratamientos tiene en común el mismo nivel de sombra, por lo que se puede concluir que las diferencias observadas en el número de larvas vivas en los frutos secos del arbusto se deben a la intensidad de los manejos (Figura 7c).



Notas: Letras iguales sobre las barras indican diferencias no significativas. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida. SD_MOB: Sombra densa con manejo orgánico más *B. bassiana*. SM_MCS: Sombra media (33%) y manejo convencional sin insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SM_MOB: Sombra media y manejo orgánico más *B. bassiana*. M: Maduros. SP: Secos del arbusto. V:verdes. SSu: Secos del suelo. Insecticida sintético utilizado. Solver® (Clorpirifos). Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

Fuente: Elaborado por: Vilchez, S. y el autor. 2010.

Figura 7. Población de H. hampei según el nivel de sombra, intensidad de manejo agronómico y tipo de fruto en los conteos uno a seis.

4.2.3 Prueba de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, tipo de frutos y las interacciones, en función de la proporción del total de individuos por fruto disectado en los conteos uno al seis

La prueba de hipótesis marginales para las fuentes de variación mostradas en el Cuadro 12 indica que existen diferencias significativas en el factor tipos de frutos con un valor probabilístico de ($F_{3, 49}=98.12$, $p<0.0001$), basado en la media de la proporción del total de individuos por fruto disectado. Además, existe evidencia estadística de que las diferencias no son significativas entre el factor sombra_manejo y la interacción sombra_manejo por tipo de fruto. Sin embargo, el factor sombra_manejo, por tener un valor de probabilidad ($F_{5, 49}=2.11$, $p<0.0799$), cercano a $p<0.05$, sugiere que al menos puede existir una diferencia estadística significativa en algunos de los contrastes, por lo tanto, se analizó el factor sombra_manejo mediante la prueba de hipótesis para contrastes, mostrada en el Cuadro 13.

Cuadro 12. Prueba de hipótesis marginales para los factores sombra_manejo, tipo de fruto y las interacciones, según la proporción del total de individuos por fruto disectado en los conteos uno al seis

Variable dependiente	Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Proporción del total de individuos/fruto disectado	Sombra _ Manejo	5	49	2.11	0.0799ns
	Tipo de Fruto	3	49	98.12	<0.0001**
	Som. _ Man. x TF	15	49	1.41	0.1791ns

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P<0.01$. ns: Diferencia no significativa. TF: Tipo de fruto. GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

La prueba de hipótesis para contrastes entre los tratamientos de intensidades de sombra y tipos de manejos agronómicos del agroecosistema café (Cuadro 13), indica que el contraste SM_MOB (sombra media con manejo orgánico más *B. bassiana*) versus SM_MCS (sombra media con manejo convencional sin insecticida) resultó con diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de ($F_{1, 49}=7.52$, $p<0.0085$). Las diferencias encontradas se deben a la intensidad de los manejos convencional sin insecticida (MCS) y manejo orgánico más *B. bassiana* (MOB). Los promedios obtenidos para cada caso fueron 6.40 ± 0.78 y 3.86 ± 0.50 individuos por fruto disectado (Figura 7d).

Cuadro 13. Prueba de hipótesis para contrastes del factor sombra_manejo en la variable número de individuos por fruto disectado en los conteos uno al seis

Sombra _ Manejo	Contraste	Valor de F	GLN	GLD	Valor de p
SD_MCI vs. SD_MOB	0.39	0.19	1	49	0.6633ns
SS_MCI vs SS_MCS	-1.22	2.25	1	49	0.1404ns
SM_MOB vs SM_MCS	-2.54	7.52	1	49	0.0085**
SD_MOB vs SM_MOB	0.91	1.33	1	49	0.2547ns
SS_MCS vs SM_MCS	-1.17	1.38	1	49	0.2463ns
SD_MCI vs SS_MCI	1.16	1.91	1	49	0.1731ns

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P < 0.01$. ns: Diferencia no significativa. SM_MOB: Sombra media (33%) y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. El insecticida sintético utilizado fue: Solver® (Clorpirifos). GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

Para el factor tipo de fruto se tiene la expresión gráfica del efecto del número total de individuos por fruto disectado, presentada en la Figura 7e y donde se observa que los frutos maduros y los secos de la planta producen los máximos valores estadísticos significativos, pero no difieren entre ellos (8.65 ± 0.69 y 8.60 ± 0.71 individuos / fruto). Le siguen los frutos verdes, con valor promedio de 1.91 ± 0.21 individuos / fruto, que estadísticamente son diferentes al valor de promedio mínimo alcanzado por los frutos secos del suelo (0.46 ± 0.08 individuos / fruto).

4.2.4 Población de *H. hampei* en los frutos maduros y secos del arbusto, a través del tiempo

Las poblaciones de *H. hampei* en los frutos maduros crecen con el tiempo (Figura 8), mientras que en los frutos secos del arbusto tienden a decrecer drásticamente (Figura 9). Es interesante observar que existen inflexiones en la población de hembras vivas en los frutos maduros en los conteos uno y dos, en igual forma, se observa este comportamiento en los huevos para los frutos secos del arbusto en los mismos conteos.

Las tendencias poblacionales de las hembras vivas en los frutos secos del arbusto es zigzagueante, pero se observa un patrón definido hacia la baja (Figura 9a). En tanto que esta población en los frutos maduros es al aumento poblacional con el tiempo (Figura 8a),

observándose fluctuaciones no significativas del promedio de hembras vivas en los conteos uno a dos y entre tres y cuatro. Los promedios de huevos en los frutos secos decrecen drásticamente hasta el conteo cuatro y luego tienden a fluctuar levemente a través del tiempo, hasta caer a cero en el conteo seis. Lo contrario se observa con las poblaciones de huevo en los frutos maduros donde se ve claramente la tendencia al aumento, a pesar de las inflexiones observadas en los conteos uno a dos y tres a cuatro (Figuras 8c y 9c).

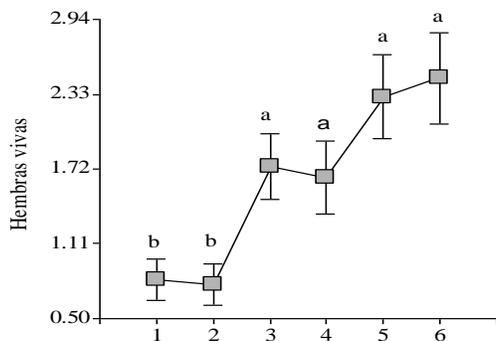
Las poblaciones de larvas y pupas vivas en los frutos secos (Figuras 9c y d) tienen un patrón de descenso rápido, produciendo valores mínimos significativos hacia el conteo seis, no obstante, se observa un crecimiento en ambas poblaciones en los conteos uno a dos. Comparativamente, estas poblaciones crecen a un ritmo casi sostenido en los frutos maduros, observándose un crecimiento no significativo de las larvas vivas entre los conteos tres y cuatro, además una tendencia leve al descenso en el promedio de pupas vivas en los frutos maduros en los conteos uno a dos.

Finalmente, se tiene las tendencias poblacionales de las hembras muertas en los frutos maduros donde se observa cierta estabilidad en la mortalidad en los primeros cuatro conteos, luego un crecimiento relativamente acelerado en el conteo cinco para caer a su valor mínimo en el conteo seis (Figuras 8b).

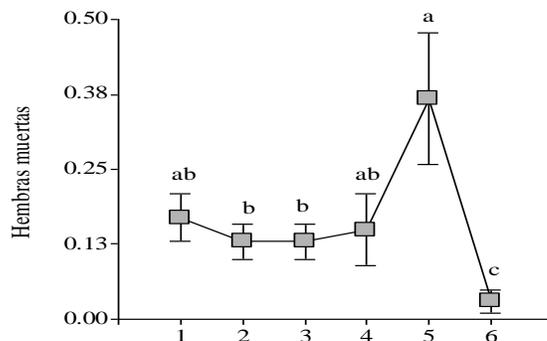
Por dificultades en la homogeneidad de la varianza, las poblaciones de *H. hampei* y sus estadios no pudieron estimarse en los frutos secos del suelo y en los verdes del arbusto.

Población promedio de *H. hampei* en frutos maduros

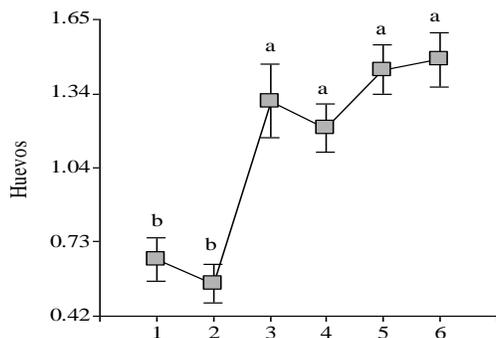
a) Hembras vivas



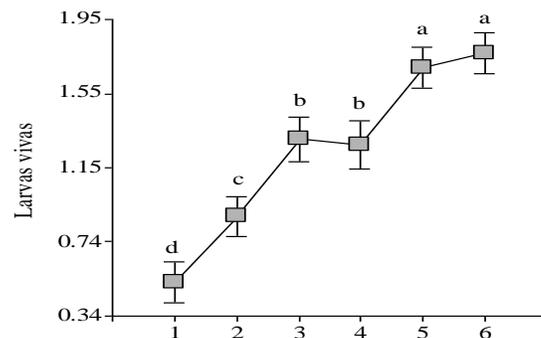
b) Hembras muertas



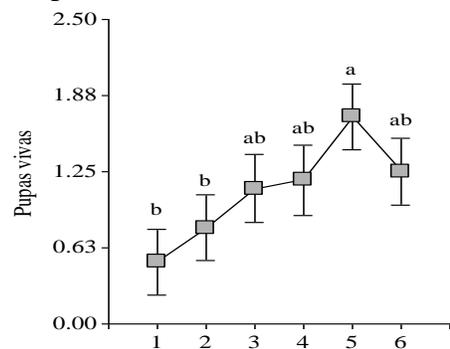
c) Huevos



d) Larvas vivas



e) Pupas vivas



Número de conteos

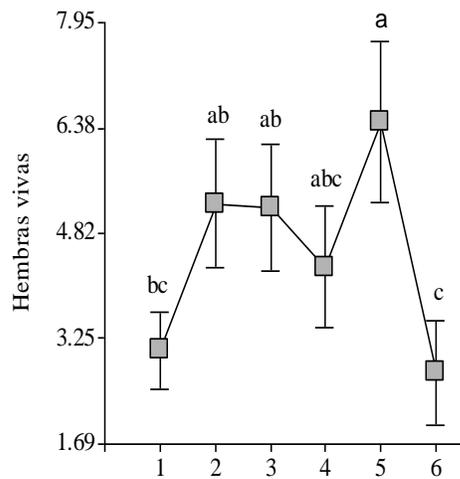
Notas: Letras iguales sobre las barras indican diferencias no significativas. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 a 01/06/2010.

Fuente: Elaborado por Vilchez, S. y el autor 2010.

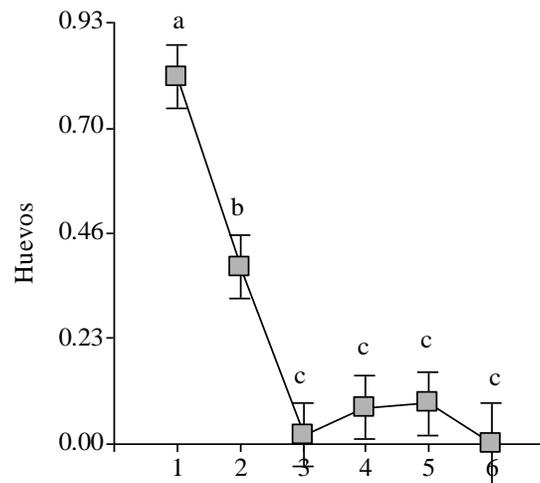
Figura 8. Promedios ajustados y errores estándares para la población de *H. hampei* en los frutos maduros del arbusto a través del tiempo.

Población promedio de *H. hampei* en frutos secos del arbusto

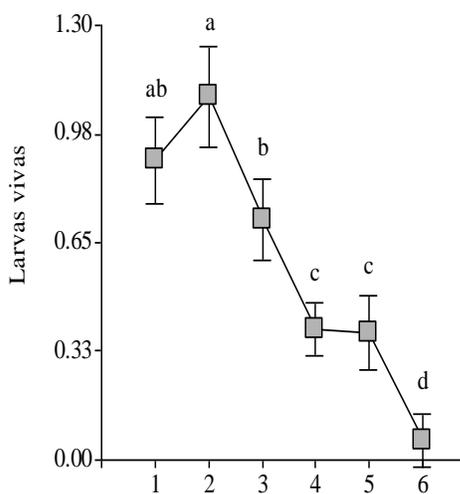
a) Hembras vivas



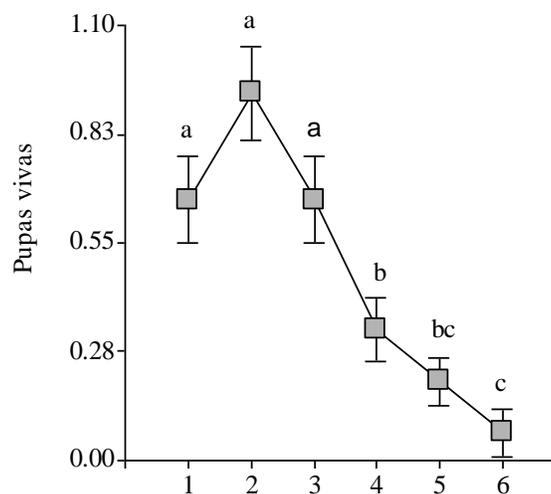
b) Huevos



c) Larvas vivas



d) Pupas vivas



Número de conteos

Nota: Letras iguales sobre las barras indican diferencias no significativas. Los conteos del uno al seis se realizaron del 10/02/2010 al 01/06/2010.

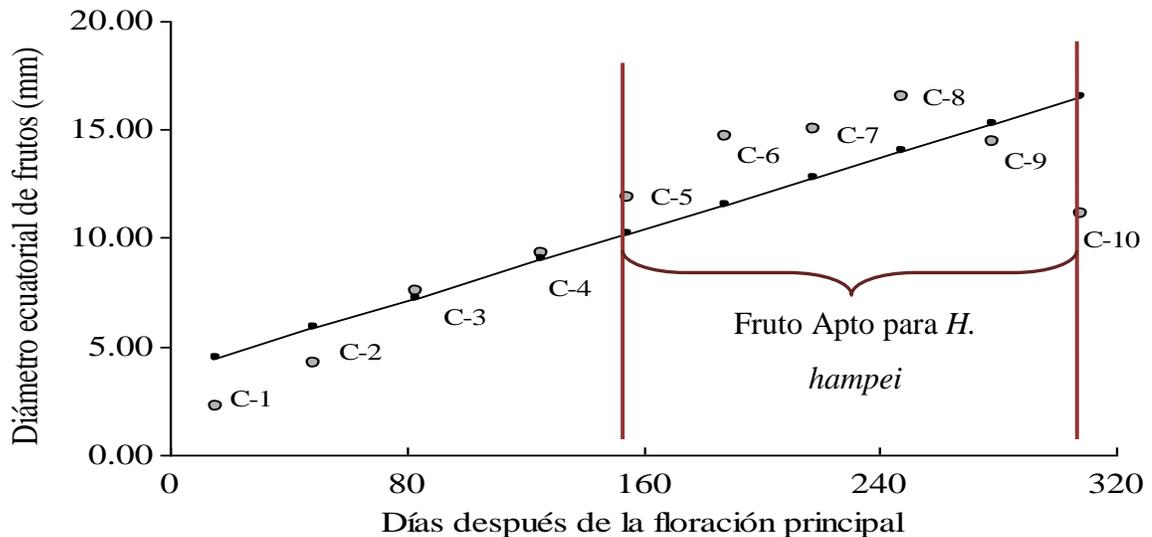
Fuente: Elaborado por Vilchez, S. y el autor. 2010.

*Figura 9. Promedios ajustados y errores estándares para población de *H. hampei* en los frutos secos del arbusto a través del tiempo.*

4.3 Efecto del nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en la fenología de los frutos

4.3.1 Fenología de los frutos de *C. arabica* cv *Caturra*

El desarrollo de los frutos de *C. arabica* cv *Caturra* en condiciones de sombra (33-61% de sombra), corresponde a una gráfica de valores de diámetro ecuatorial crecientes con la edad de los frutos, como se visualiza en la Figura 10.



Notas: C: Categoría de tamaño. Edad de C-1(16 días), C-2 (49 días), C-3(83 días), C-4 (126 días), C-5 (155 días), C-6 (188 días), C-7(218 días), C-8 (248 días), C-9 (278 días) y C-10 (308 días). Valores de edad de C-7 a C-10 aproximada. Número de observaciones: 14. Coeficiente de variación: 7.5%. La floración principal ocurrió el 23 de febrero de 2010. El período de mayor susceptibilidad de los frutos al ataque de *H. hampei* inicia a los 155 días, cuando los frutos tienen un tamaño C-5.

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 10. Curva de crecimiento del diámetro de los frutos de *C. arabica* cv. *Caturra* y período de fruto apto para *H. hampei* en sistemas sombreados.

Las categorías de fruto aptos para el ataque de *H. hampei* corresponden a C-5 a C-10. Este período crítico se caracteriza porque los frutos presentan un tamaño y coloración que a la vista, tienen las condiciones de crecimiento y desarrollo adecuado para que *H. hampei* los colonice y desarrolle nuevas generaciones, como efectivamente se comprobó en campo. Se presentan desde los 155 días después de la floración principal. Los frutos C-1 a C-4 corresponden a edades de 16 a 116 días después de la floración; el poco crecimiento y desarrollo dificulta que *H. hampei* los colonice.

4.3.2 Prueba de “F” según análisis de varianza multivariado de “Wilks” para los factores sombra_manejo, número de conteo y su interacción en los conteos uno a seis

Se efectuó la prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de “Wilks” solo para los frutos de las categorías cinco seis y siete porque son los que tienen la mayor cantidad de frutos perforados por *H. hampei*; además, los frutos de categorías ocho, nueve y diez son cosechados, lo que dificulta el análisis.

La prueba de “F” para los factores sombra_manejo y número de conteos expresada en el Cuadro 14, demuestra que existen diferencias significativas en la interacción de los factores sombra_manejo por número de conteo con ($F_{75, 204}=535.07$, $p<0.0001$). Estas diferencias muestran que los efectos causados por los factores sobre la proporción de frutos de categoría cinco, seis y siete son interdependientes y sugiere que el efecto del factor sombra_manejo varía de acuerdo al conteo.

También se destaca el hecho de que el factor sombra_manejo resultó con diferencias significativas ($F_{15, 188}=8.33$, $p<0.0001$), de igual forma el número de conteo ($F_{15, 188}=183.57$, $p<0.0001$).

Cuadro 14. Prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para los factores sombra_manejo, número de conteo y sus interacciones, en función de las variables, proporción de frutos de las categorías de tamaño cinco seis y siete en los conteos uno al seis

Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Bloque	6	136	2.72	0.0157**
Sombra_Manejo	15	188	8.33	<0.0001**
Número de conteo	15	188	183.574	<0.0001**
Sombra _ Manejo x Número de conteo	75	204	535.07	<0.0001**

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P<0.01$. GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del uno al seis se realizaron del 11/03/2010 al 30/08/2010.

La prueba de diferenciación de medias de “Hotelling” con $\alpha= 0.05$ aplicada a las tres categorías de frutos (Figura 11a), sugiere que la categoría seis es más numerosa a medida que el tiempo pasa (1.85 % en el conteo uno hasta 66.85 % en el conteo seis), seguidos por los

frutos de categoría cinco (1.09 % en el conteo uno hasta 51.31 % en el conteo cuatro) y los frutos de categoría siete (0.06 % en el conteo dos hasta 8.80 % en el conteo seis). Se nota una inflexión fuerte en la proporción de los frutos de categoría seis en el cuarto conteo debido a que estos pasan a la siguiente categoría de tamaño a través del tiempo.

En promedio, la proporción de frutos más numerosa en cada categoría se dio en las condiciones de sombra media con manejo convencional sin insecticida (SM_MCS) con 86 % de frutos de la categoría seis en el conteo cinco, seguida de sombra densa con manejo convencional más insecticida (SD_MCI) con 61 % de frutos de la categoría cinco en el conteo cuatro y sin sombra con manejo convencional sin insecticida (SS_MCS) con 17 % de frutos de categoría siete en el conteo seis (Figuras 11 b, c y d).

Las categorías de fruto cinco y seis son similares para todos los tratamientos (Figuras 11 b y c); pero es notorio la diferencia significativa observada para los frutos de la categoría siete, en los conteos cinco a seis y donde la mayor cantidad de frutos de esta categoría se dan en condiciones de sin sombra (Figura 11 d), por lo que se procedió a analizar y comprobar este comportamiento.

Cuadro 15. Prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para el factor sombra_manejo, en los conteos cinco a seis, en función de la variable proporción de frutos de la categoría siete

Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Bloque	2	22	1.13	0.3404
Sombra_Manejo	5	22	20.36	<0.0001**
Número de conteo	1	22	22.17	0.0001**
Sombra _ Manejo x Número de conteo	5	22	0.72	0.6180ns

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P < 0.01$. ns: Diferencia no significativa. GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos cinco a seis se realizaron del 28/07/2010 al 30/08/2010.

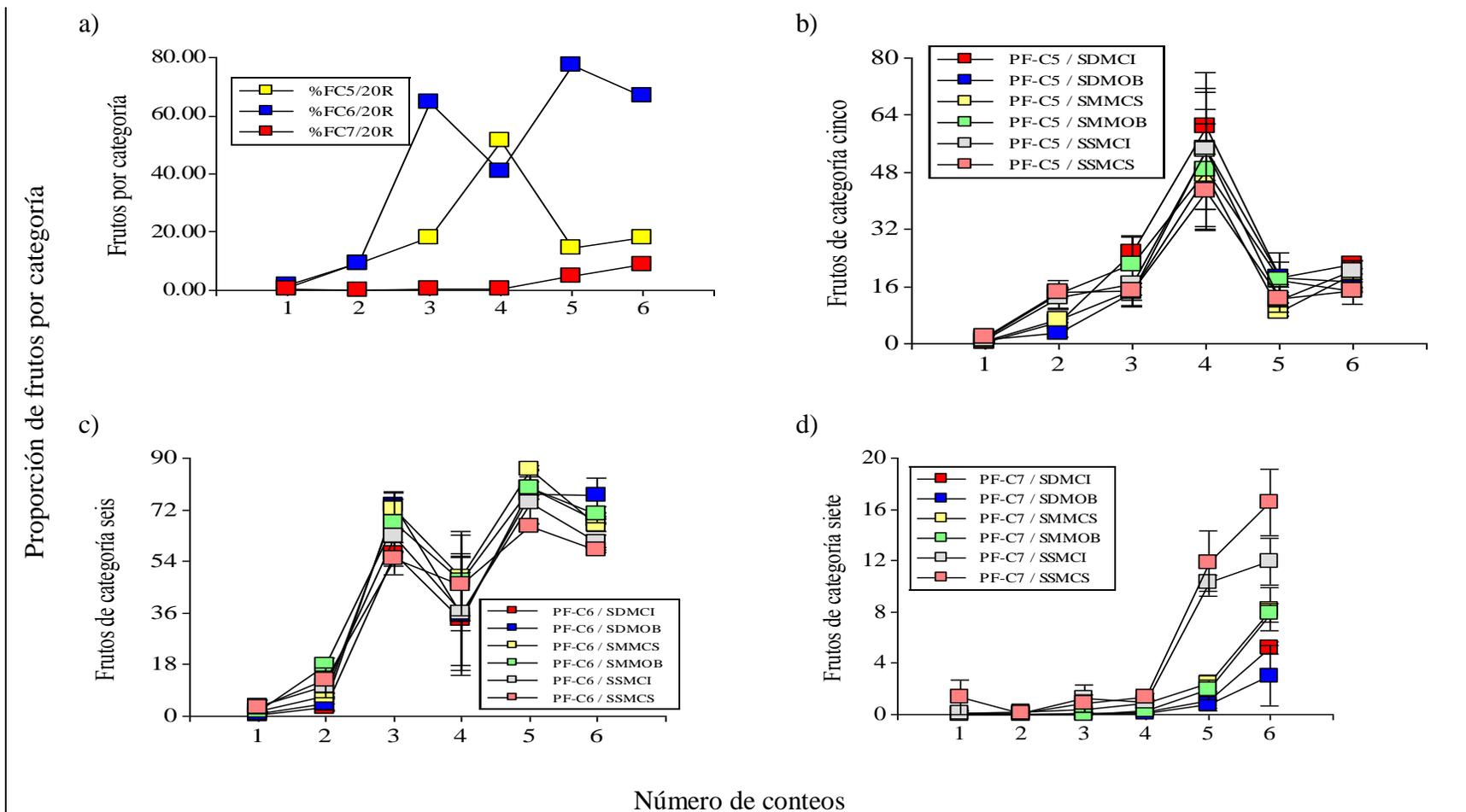
El análisis de varianza multivariado de Wilks (Cuadro 15) muestra evidencias estadísticas significativas en el factor sombra_manejo ($F_{5, 22} = 20.36$, $p < 0.0001$), mientras que la prueba de “F” para la hipótesis de los contrastes sugiere diferencias significativas para las comparaciones entre SD_MCI (3.10 %), (sombra densa con manejo convencional más

insecticida) vs SS_MCI (11.09 %), (sin sombra con manejo convencional más insecticida ($F_{1, 22}=27.95$, $p<0.0001$) y SM_MCS (5.30 %), (sombra media con manejo convencional sin insecticida) vs SS_MCS (14.17 %), (sin sombra con manejo convencional sin insecticida) ($F_{1, 22}=34.43$, $p<0.0001$) (Cuadro 16). De esta forma se demuestra que los niveles de sombra de esos tratamientos causan efectos significativos en la proporción de frutos de la categoría siete y deja claro que la mayor proporción de frutos de la categoría siete ocurrió en condiciones de sin sombra con o sin presencia de insecticida (Figuras 12 a y b).

Cuadro 16. Prueba de hipótesis para los contrastes del factor sombra_manejo en los conteos cinco y seis para la variable proporción de frutos de la categoría siete

Sombra_manejo	Estadístico	Valor de F	GLN	GLD	Valor de p
SD_MCI vs SS_MCI	0.44	27.95	1	22	< 0.0001 **
SD_MOB vs SM_MOB.	0.84	4.05	1	22	0.0566ns
SM_MCS vs SS_MCS	0.39	34.43	1	22	< 0.0001 **
SS_MCI vs SS_MCS	0.84	4.15	1	22	0.0538ns
SM_MCS vs SM_MOB	1.00	0.06	1	22	0.8071ns
SD_MCI v s SD_MOB	0.97	0.64	1	22	0.4305ns

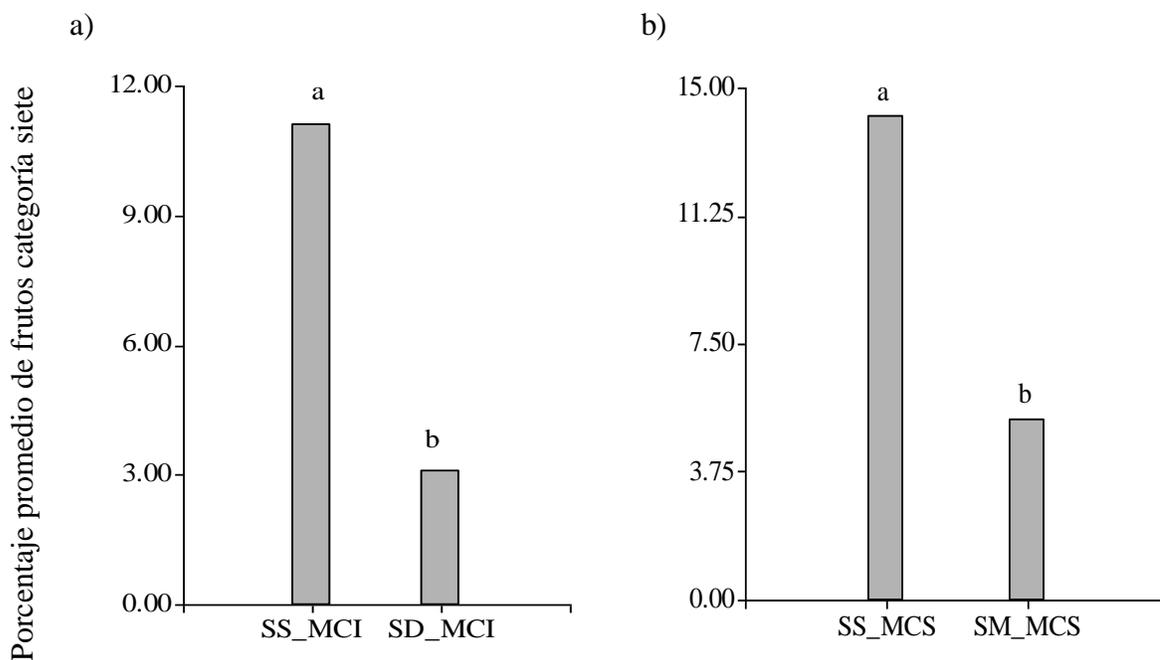
Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P < 0.01$. ns: diferencia no significativa. SM_MOB: Sombra media (33%) y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. El insecticida sintético utilizado fue: Solver® (Clorpirifos). GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos cinco a seis se efectuaron del 28/07/2010 al 30/08/2010.



Notas: SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida. SM_MCS: Sombra media (33%) y manejo convencional sin insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SM_MOB: Sombra media y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. Insecticida sintético utilizado: Solver® (Clorpirifos). % FC5/20R: Porcentaje de frutos de categoría 5 en 20 ramas /5 arbustos. % FC6/20R: Porcentaje de frutos de categoría 6 en 20 ramas /5 arbustos. % FC7/20R: Porcentaje de frutos de categoría 7 en 20 ramas /5 arbustos. PF-C5: Proporción de frutos de la categoría 5. PF-C6: Proporción de frutos de la categoría 6. PF-C7: Proporción de frutos de la categoría 7. Los conteos del uno al seis se realizaron del 11/03/2010 al 30/08/2010.

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 11. Promedios de la proporción de frutos por categoría de tamaño, nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en los conteos uno a seis.



Nivel de sombra y manejo agronómico

Notas: SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida. SD_MCI: Sombra densa y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. . Insecticida sintético utilizado: Solver® (Clorpirifos). Los conteos cinco a seis se efectuaron del 28/07/2010 al 30/08/2010.

Fuente: Elaboración del autor.

Figura 12. Porcentaje promedio de frutos de categoría siete, según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en los conteos cinco a seis.

4.4 Efecto del nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en la distribución de *H. hampei* de acuerdo a la categoría de tamaño de fruto en los conteos tres a seis

4.4.1 Prueba de “F” según análisis de varianza multivariado de “Wilks”

Se analiza la distribución de *H. hampei* en los frutos de las categorías cinco, seis y siete, las que son más afectadas por el insecto, durante los conteos tres a seis. Del total de frutos perforados en esas tres categorías juntas, se calcula la proporción presente en cada categoría. En adelante, se denominará esta variable como proporción de frutos perforados. Mediante la prueba de “F” del análisis de varianza multivariado de Wilks se evidenció que existen diferencias significativas en el factor sombra_manejo ($F_{15, 119}=1.93, p<0.0265$) y en los conteos del tres al seis ($F_{9, 105}=3.85, p<0.0003$). Estas diferencias muestran que los efectos causados por los factores sobre la proporción de frutos perforados de categoría cinco, seis y siete son independientes (Cuadro 17).

Cuadro 17. Prueba de “F” según el análisis de varianza multivariado de Wilks para los factores sombra_manejo, número de conteo y sus interacciones, en función de las variables, proporción de frutos perforados de las categorías cinco, seis y siete en los conteos tres a seis

Fuente de variación	GLN	GLD	Valor de F	Valor de p
Bloque	6	86	2.00	0.07ns
Sombra_Manejo	15	119	1.93	0.0265*
Número de conteo	9	105	3.85	0.0003**
Sombra _ Manejo x Número de conteo	45	129	0.81	0.7886ns

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P < 0.01$, *: Diferencias significativas con valores de $P < 0.05$. ns: Diferencias no significativas. GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del tres al seis se realizaron del 17/05/2010 al 30/08/2010.

La prueba de “F” para la hipótesis de los contrastes entre los tratamientos de niveles de sombra e intensidades de manejo agronómico del agroecosistema forestal con café, indica que el contraste entre SD_MCI (sombra densa con manejo convencional más insecticida) versus SS_MCI (sin sombra con manejo convencional más insecticida) resultó con diferencias estadísticas significativas con una probabilidad de ($F_{3, 43} = 5.94$, $p < 0.0018$). Básicamente, las diferencias se deben al nivel de sombra, ya que en ambos tratamientos la intensidad de manejo agronómico es la misma (Cuadro 18).

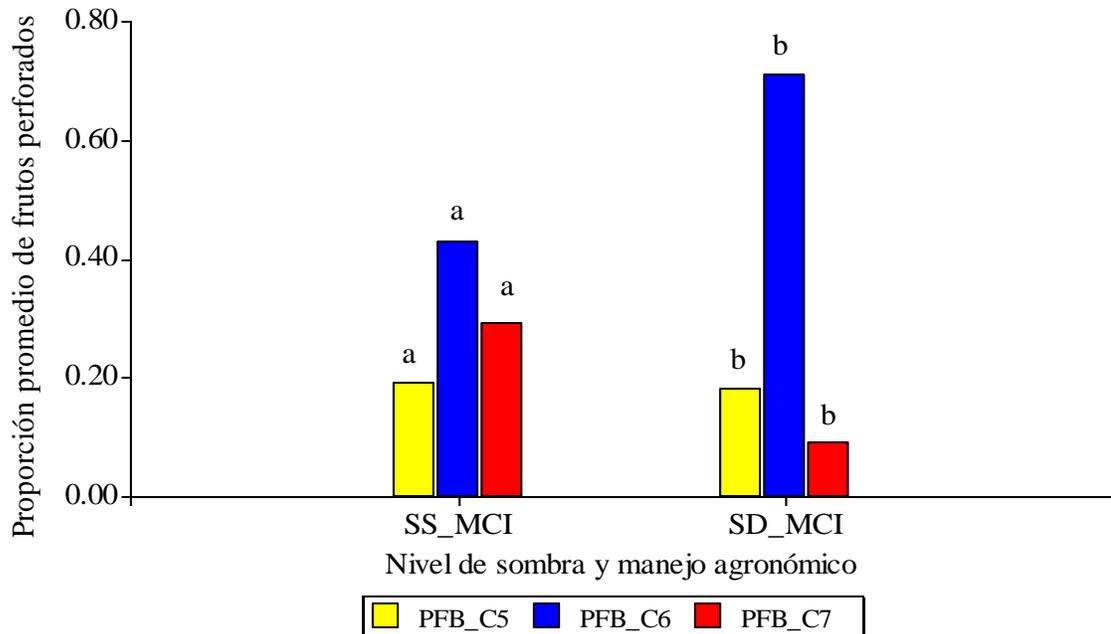
Cuadro 18. Prueba de “F” para hipótesis de los contrastes del factor sombra_manejo en la variable, proporción de frutos perforados en los conteos tres a seis

Sombra_manejo	Estadístico	Valor de F	GLN	GLD	Valor de p
SD_MCI vs SS_MCI	0.71	5.94	3	43	0.0018**
SD_MOB vs SM_MOB	0.94	0.87	3	43	0.4636ns
SM_MCS vs SS_MCS	0.99	0.10	3	43	0.9589ns
SS_MCI vs SS_MCS	0.88	1.94	3	43	0.1374ns
SM_MCS vs SM_MOB	0.93	1.09	3	43	0.3645ns
SD_MCI vs SD_MOB	0.93	1.09	3	43	0.3653ns

Notas: **: Diferencias significativas con valores de $P < 0.01$. SM_MOB: Sombra media (33%) y manejo orgánico más *B. bassiana*. SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida. SS_MCS: Sin sombra y manejo convencional sin insecticida. SD_MOB: Sombra densa y manejo orgánico más *B. bassiana*. SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida. SM_MCS: Sombra media y manejo convencional sin insecticida. El insecticida sintético utilizado fue: Solver® (Clorpirifos). GLN: Grados de libertad numéricos. GLD: Grados de libertad dentro. Los conteos del tres al seis se realizaron del 17/05/2010 al 30/08/2010.

La expresión gráfica de la prueba de comparación de medias de Hotteling con $\alpha = 0.05$ demuestra la distribución de *H. hampei* en los frutos de las categorías cinco, seis y siete en los conteos tres a seis. Sugiere diferencias significativas en los efectos causados por el factor sombra_manejo, observándose que un 71 % del 100 % de los frutos perforados son de la categoría seis en condiciones de SD_MCI (sombra densa con manejo convencional más insecticida), mientras que en condiciones de SS_MCI (sin sombra con manejo convencional más insecticida) representan un 43 %. Para la proporción de frutos perforados de la categoría siete se observa un 29 % en condiciones de SS_MCI (sin sombra con manejo convencional más insecticida), mientras que alcanza 9 % en SD_MCI (sombra densa con manejo convencional más insecticida; además, se observa que la proporción de frutos perforados de la categoría cinco son casi similares en SS_MCI (sin sombra con manejo convencional más insecticida) y SD_MCI (sombra densa con manejo convencional más insecticida) con 19 % y 18 % respectivamente (Figura 13).

Es importante señalar que existe una concentración de *H. hampei* en los frutos de categoría siete (29 %) cuando hay menos de 12 % de estos frutos en el conteo seis (Figura 12a). Esta fuerte atracción de *H. hampei* por los frutos de la categoría siete supone un riesgo alto de atraer el insecto de diferentes lugares, en la medida de que existan más frutos de esta categoría.



Notas: Letras iguales sobre las barras significa que no existen diferencias significativas con ($p > 0.05$). SS_MCI: Sin sombra y manejo convencional más insecticida; SD_MCI: Sombra densa (61%) y manejo convencional más insecticida; Insecticida sintético utilizado: Solver® (Clorpirifos). PFB_5: Proporción de frutos perforados de categoría cinco. PFB_6: Proporción de frutos perforados de categoría seis. PFB_7: Proporción de frutos perforados de categoría siete. Los conteos del tres al seis se efectuaron del 17/05/2010 al 30/08/2010.

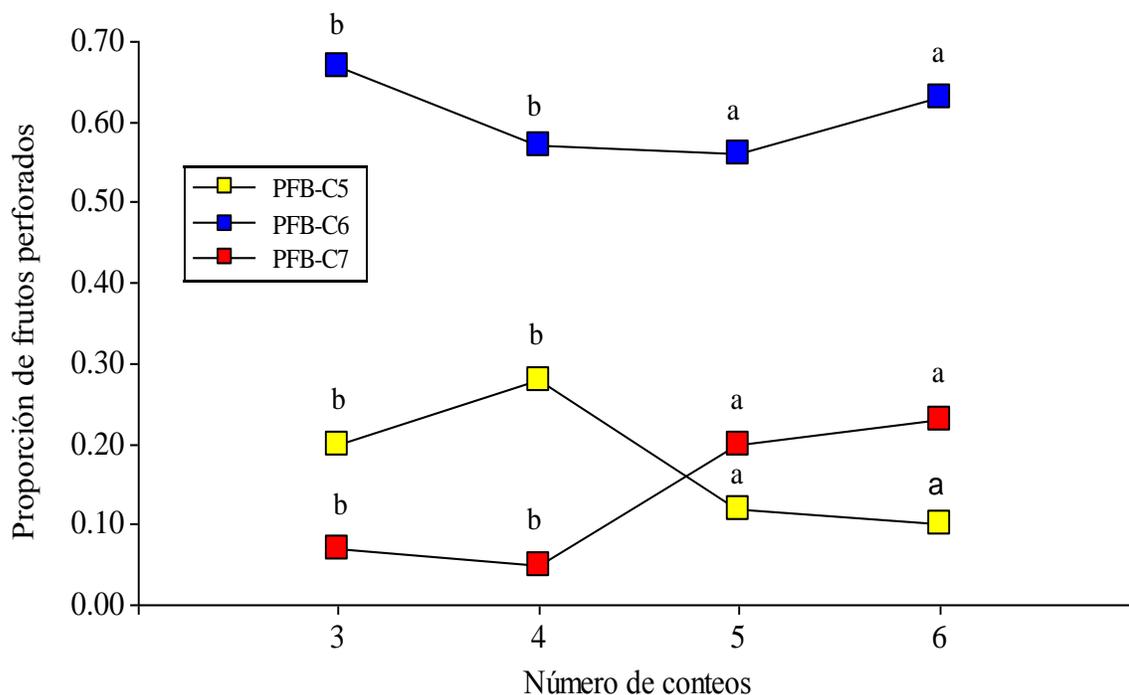
Fuente: Elaboración del autor

Figura 13. Distribución de H. hampei en los frutos perforados de categorías cinco, seis y siete según el nivel de sombra e intensidad de manejo agronómico en los conteos tres a seis.

En relación con la distribución de *H. hampei* en los frutos perforados de categoría seis a través del tiempo, se observa en la Figura 14 que se producen las proporciones más altas de frutos perforados, desde 67 % en el conteo tres hasta 63 % en el conteo seis en comparación con las producidas por los frutos perforados de categorías cinco y siete, 20 % en el conteo tres hasta 10 % en el conteo seis y 7 % en el conteo tres hasta 23 % en el conteo seis), respectivamente.

Además, en los conteos tres y cuatro, se observa que hay mayor proporción de frutos perforados de la categoría cinco (20 % a 28 %) respectivamente con respecto a los mismos conteos de frutos perforados de la categoría siete (7 % hasta 5 %) respectivamente. A partir de los conteos cuatro a cinco hay una interacción expresada por una inflexión en la proporción de frutos de categoría cinco y a la vez un incremento de las poblaciones del insecto en los frutos perforados de categoría siete. Luego, a partir de los conteos cinco a seis las poblaciones de

frutos categoría siete siguen aumento mientras que los frutos de categoría cinco disminuyen, pero en ambos casos la variación es muy poca en el tiempo.



Fuente: Elaboración del autor.

Notas: PFB-5: Proporción de frutos perforados de categoría cinco. PFB-6: Proporción de frutos perforados de categoría seis. PFB-7: Proporción de frutos perforados de categoría siete. Los conteos del tres al seis se efectuaron del 17/05/2010 al 30/08/2010.

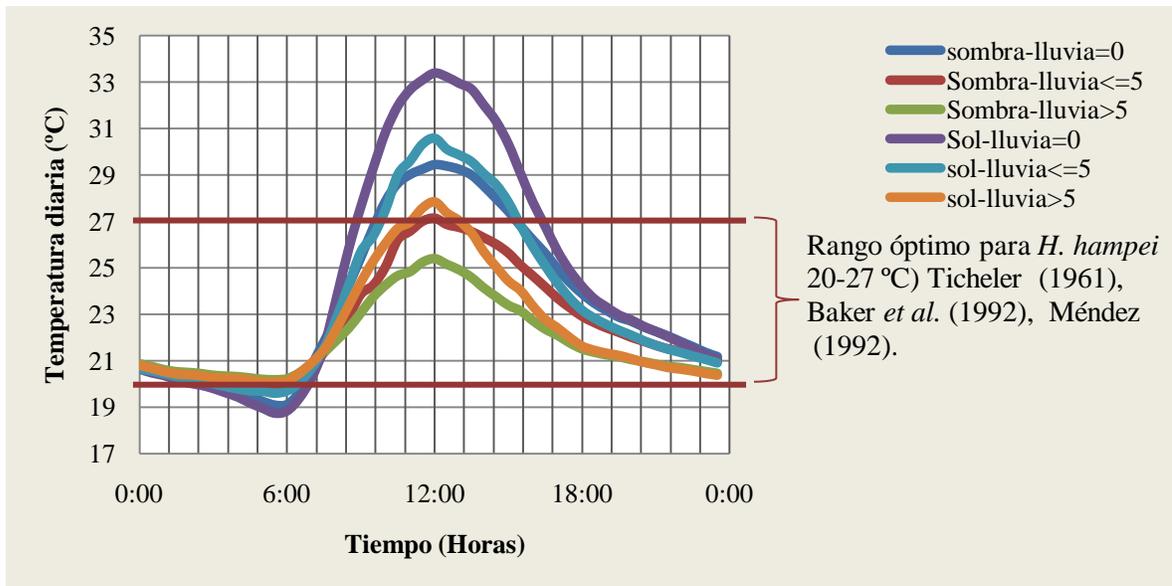
Figura 14. Proporción de frutos perforados de categorías cinco, seis y siete a través del tiempo.

4.5 Caracterización del microclima en condiciones de sombra densa, sin sombra y de precipitación pluvial

4.5.1 Variación de la temperatura diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol

La variación de la temperatura diaria en un agroecosistema formado por árboles de *A. idiopoda* + *E. poeppigiana* (sombra densa) y arbustos de café a pleno sol (sin sombra), sigue un patrón sinusoidal, donde las temperaturas son menores en condiciones de sombra densa, lo que evita temperaturas extremas, situación que favorece el desarrollo de *H. hampei*. En la Figura 15, se destaca el hecho de que el rango óptimo de temperatura para *H. hampei* está

entre los 20 a 27 °C, Ticheler (1961), Méndez (1992), Baker *et al.* (1992) observándose una disminución hasta de 4 °C entre sombra densa y sin sombra.



Fuente: Elaborado por Avelino, J y el autor. 2010.

Notas: Durante el 03 de febrero al 16 de junio de 2010 hubo 135 días, en estos no llovió en 45 días (33.33 %); hubo lluvias ≤ 5 mm en 49 días (36.30 %) y lluvias ≥ 5 mm en 41 días (30.37 %). Los promedios de temperatura media diaria, enunciados en la Figura 15 se basaron en 126 días observados, en los cuales 42 días fueron sin lluvias, 45 días con lluvias ≤ 5 mm y 39 días con lluvias ≥ 5 mm.

Figura 15. Variación de la temperatura diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.

Un análisis más detallado de estas variaciones se observan en el Cuadro 19 para tres horas del día, donde la temperatura diaria media es menor en condiciones de sombra densa y disminuye según la intensidad de la lluvia. También es notorio el efecto de la hora en la variación de la temperatura diaria media.

Las variaciones del error estándar indican alta probabilidad de que las temperaturas diarias medias sean diferentes dentro del ámbito de las horas, las intensidades de la lluvia y las condiciones de exposición al sol.

Cuadro 19. Variación media y error estándar de la temperatura de acuerdo a la hora, intensidad de la lluvia y exposición al sol

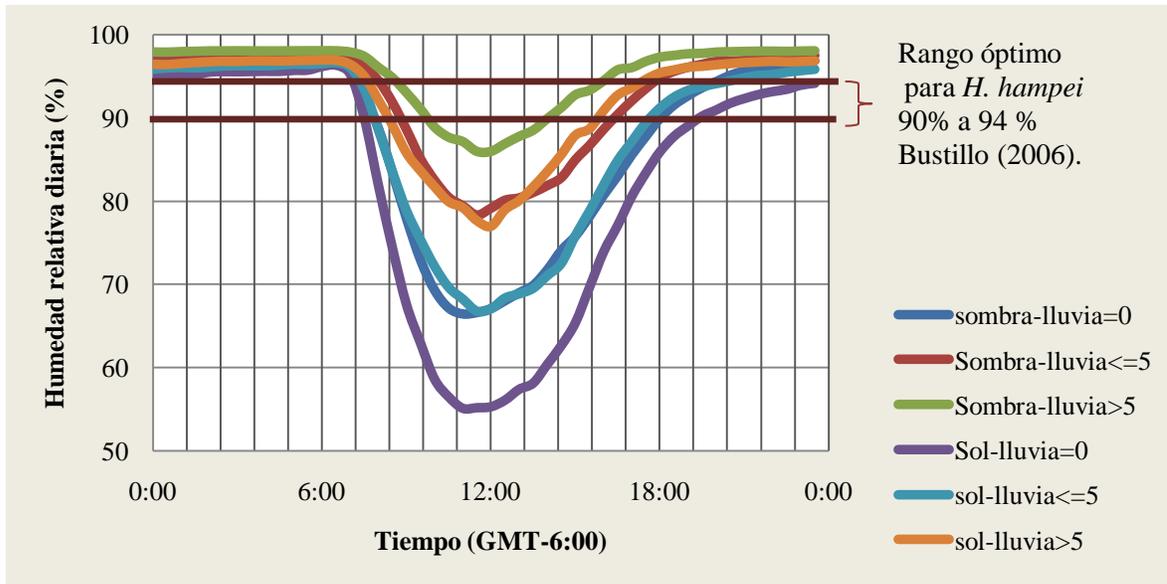
Hora (GMT-06:00)	Días con lluvia(mm)	Sombra densa	Sin sombra
		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
8:00	0	22.89±0.17	23.68±0.17
	≤ 5	22.04±0.23	22.81±0.24
	≥ 5	21.86±0.23	22.37±0.27
12:00	0	29.45±0.19	33.4±0.22
	≤ 5	27.15±0.28	30.58±0.43
	≥ 5	25.39±0.45	27.85±0.69
16:00	0	26.20±0.18	27.82±0.23
	≤ 5	24.66±0.25	25.89±0.33
	≥ 5	22.71±0.29	23.35±0.35

Notas: Durante el 03 de febrero al 16 de junio de 2010 hubo 135 días, de los que en 45 días (33.33 %) no llovió; hubo lluvias ≤ 5mm en 49 días (36.30 %) y lluvias ≥ 5mm en 41 días (30.37 %). Los promedios de la temperatura media diaria, enunciados en el Cuadro 19 se basaron en 126 días observados, en los cuales 42 días fueron sin lluvias, 45 días con lluvias ≤ 5mm y 39 días con lluvias ≥ 5mm.

4.5.2 Variación de la humedad relativa diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol

La humedad relativa diaria en sistemas agroforestales con café es casi 100 % entre las 0:00 horas a las 6:00 horas y sufre un descenso rápido hacia las 12:00 horas, para iniciar su ascenso hasta las 18: 00 horas y alcanzar valores cercanos al 100 % a las 0:00 horas del día siguiente.

Similarmente al comportamiento de la temperatura diaria media, se observan las mayores humedades relativas en condiciones de sombra densa que sin sombra, hasta 13% de diferencia, situación que favorece el desarrollo de *H. hampei* en los frutos secos del arbusto y suelo ya que no se resecan. El rango óptimo de humedad relativa diaria para la sobrevivencia de *H. hampei* está entre 90 a 94% (Bustillo 2006) (Figura 16).



Fuente: Elaborado por Avelino, J y el autor. 2010.

Notas: Durante el 03 de febrero al 16 de junio de 2010 hubo 135 días, de los que en 45 días (33.33 %) no llovió; hubo lluvias ≤ 5 mm en 49 días (36.30 %) y lluvias ≥ 5 mm en 41 días (30.37 %). Los promedios de humedad relativa diaria, enunciados en la Figura 16 se basaron en 126 días observados, en los cuales 42 días fueron sin lluvias, 45 días con lluvias ≤ 5 mm y 39 días con lluvias ≥ 5 mm.

Figura 16. Variación de la humedad relativa diaria de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.

La variación media y el error estándar de la humedad relativa para tres horas del día de acuerdo a la intensidad de la lluvia y la exposición al sol se detalla en el Cuadro 20. La humedad relativa aumenta de acuerdo, a las condiciones de sombra densa, pero disminuye cerca a las 12 horas. Sin embargo, siempre será mayor en condiciones de sombra densa. Al igual que las variaciones de la temperatura diaria media, se observan fuertes variaciones promedios de la humedad relativa diaria entre sombra densa y sin sombra.

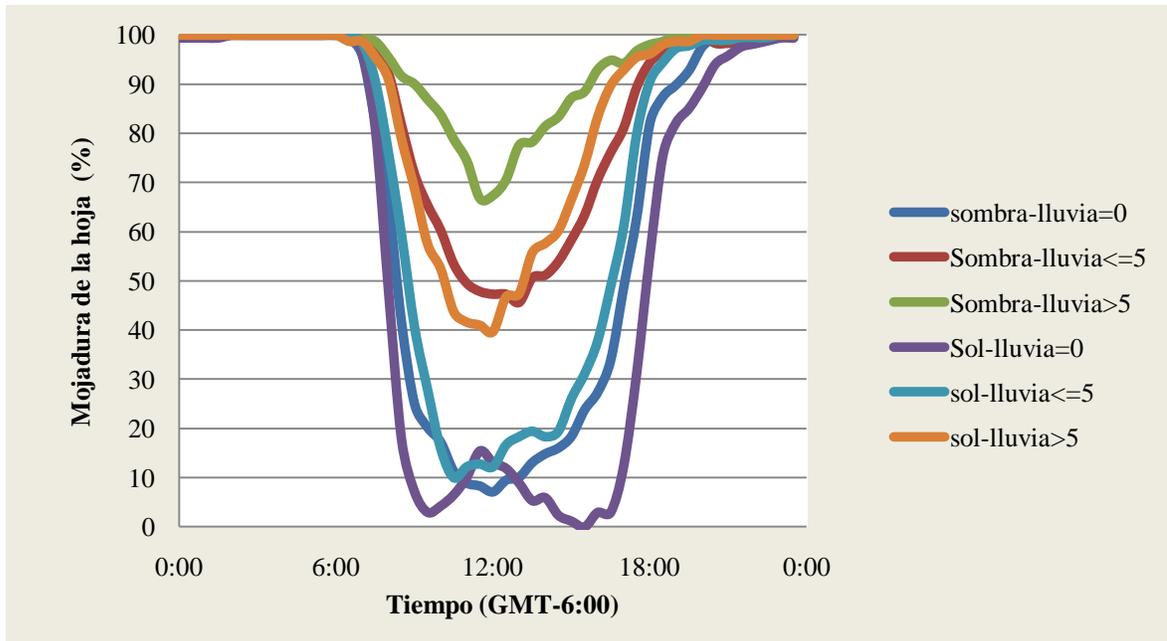
Cuadro 20. Variación media y error estándar de la humedad relativa de acuerdo a la hora, intensidad de la lluvia y exposición al sol.

Hora (GMT-06:00)	Días con lluvia(mm)	Sombra densa	Sin sombra
		Humedad relativa (%)	Humedad relativa (%)
8:00	0	88.76±0.89	81.92±0.80
	≤ 5	94.49±0.75	88.59±1.01
	≥ 5	96.11±0.60	92.15±0.88
12:00	0	67.07±0.93	55.23±0.80
	≤ 5	79.14±1.39	67.04±1.58
	≥ 5	86.03±1.43	76.98±2.13
16:00	0	80.71±0.88	73.87±0.87
	≤ 5	88.63±0.94	81.93±1.03
	≥ 5	94.5±0.81	90.87±0.99

Notas: Durante el 03 de febrero de 2010 al 16 de junio de 2010 hubo un total de 135 días, de los que en 45 días (33.33 %) no llovió; hubo lluvias ≤ 5mm en 49 días (36.30 %) y lluvias ≥ 5mm en 41 días (30.37 %). Los promedios de humedad relativa diaria, enunciados en el Cuadro 20 se basaron en 126 días observados, en los cuales 42 días fueron sin lluvias, 45 días con lluvias ≤ 5mm y 39 días con lluvias ≥ 5mm.

4.5.3 Variación de la frecuencia de agua libre en los órganos del cafeto de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol

La mayor frecuencia de contenido de agua libre en los órganos del arbusto de café para todas las condiciones de sombra y sol se dieron entre las primeras 6:00 horas del día y las últimas 18:00 horas, alcanzando el 100 % hacia las 0:00 horas. La Figura 17 muestra que las tendencias de la frecuencia de agua libre en los órganos del cafeto, varían bastante para cada caso a partir de las 6:00 horas del día alcanzando los valores mínimos de mojadura hacia las 12:00 horas, para luego iniciar su ascenso hasta 100 % a las 0:00 horas.



Fuente: Elaborado por Avelino, J y el autor. 2010.

Notas: Durante el 03 de febrero de 2010 al 16 de junio de 2010 hubo un total de 135 días, de los que en 45 días (33.33 %) no llovió; hubo lluvias ≤ 5 mm en 49 días (36.30 %) y lluvias ≥ 5 mm en 41 días (30.37 %). Los promedios de la frecuencia de agua libre, enunciados en la Figura 17 se basaron en 126 días observados, en los cuales 42 días fueron sin lluvias, 45 días con lluvias ≤ 5 mm y 39 días con lluvias ≥ 5 mm.

Figura 17. Variación de la frecuencia de agua libre en los órganos del arbusto de café de acuerdo a la lluvia y a la exposición al sol.

Sin embargo, los mayores valores de agua libre se dieron bajo condiciones de sombra densa, situación que puede causar la rápida degradación de los frutos del suelo y por lo tanto aumentar la mortalidad de *H. hampei* (Cuadro 21).

Cuadro 21. Variación media y error estándar de la frecuencia de agua libre en los órganos del arbusto de café de acuerdo a la hora, intensidad de la lluvia y exposición al sol

Hora (GMT-06:00)	Días con lluvia(mm)	Sombra densa	Sin sombra
		Agua libre en los órganos (%)	Agua libre en los órganos (%)
8:00	0	66.07±5.64	48.21±5.99
	≤ 5	92.22±3.06	76.11±5.44
	≥ 5	95.51±2.41	91.03±3.84
12:00	0	7.14±2.3	13.1±2.98
	≤ 5	47.22±6.94	12.22±4.32
	≥ 5	67.31±6.44	39.74±7.04
16:00	0	27.38±6.25	2.98±2.44
	≤ 5	70.56±6.12	37.78±6.58
	≥ 5	92.95±3.78	83.33±5.06

Notas: Durante el 03 de febrero de 2010 al 16 de junio de 2010 hubo un total de 135 días, de los que en 45 días (33.33%) no llovió; hubo lluvias ≤ 5mm en 49 días (36.30%) y lluvias ≥ 5mm en 41 días (30.37%). Los promedios de la frecuencia de agua libre enunciados en el Cuadro 21 se basaron en 126 días observados, en los cuales 42 días fueron sin lluvias, 45 días con lluvias ≤ 5mm y 39 días con lluvias ≥ 5mm.

4.6 DISCUSIÓN

4.6.1 Efecto de la sombra sobre el desarrollo de las poblaciones de *H. hampei*

Existe un efecto benefactor de la sombra sobre las poblaciones de adultos hembras de *H. hampei*. Son más abundantes en los frutos maduros y secos de los arbustos de café bajo sombra que sin sombra. Este resultado corresponde a lo observado por Ticheler (1961), Baker *et al.* (1992), Méndez (1992), Wegbe *et al.* (2007) y Bosselmann *et al.* (2008). Lo encontrado puede explicarse por las condiciones estables de temperatura y humedad relativa generadas por los árboles de sombra, que favorecen el desarrollo de *H. hampei*, sin las variaciones que se registran en las condiciones de sin sombra, los cuales afectan la sobrevivencia del insecto. Al haber diferencias en la temperatura diaria media de hasta 4°C, observación que coincide con lo señalado por Vaast *et al.* (2005), y de 13 % en la humedad relativa entre sol y sombra,

explica la preferencia de *H. hampei* a agroecosistemas sombreados. De acuerdo a estas aseveraciones es de esperarse una generación cada 45 días en condiciones de temperatura iguales a 21.98 °C en sombra densa lo que está de acuerdo con Trejo y Funez (2004) en estudios realizados en Honduras.

4.6.2 Efecto del manejo sobre el desarrollo de las poblaciones de *H. hampei*

Con relación al efecto de la intensidad de manejo, se observa que el manejo orgánico más *B. bassiana* (Bals) ejerce efectos supresores sobre las poblaciones de hembras adultas en los frutos secos del arbusto en sombra media y densa. Esto se debe, posiblemente a que los árboles de sombra generan, temperatura y humedad relativa óptima que favorece el desarrollo de *B. bassiana* (Bals), principal especie de hongo patógeno para *H. hampei* (Damon 2000, Staver *et al.* 2001, Bustillo *et al.* 2002). La sombra favorece también la sobrevivencia de las conidias reduciendo su exposición a las radiaciones solares (Velez y Montoya 1993, Arcila *et al.* 2006 citado par Bustillo 2006). Además, Camilo *et al.* (2003) indican que cuando *H. hampei* esta sobrevolando los frutos y cuando inicia la perforación, se encuentra en el estado de mayor susceptibilidad a *B. bassiana*.

Vélez y Montoya, (1993) consideran que humedades relativas de 70 a 80 %, temperaturas entre 15 y 25 °C favorecen la sobrevivencia de *B. bassiana* en el campo, además, las temperaturas entre 25 y 30 °C, aseguran la esporulación del hongo.

Se observa también, que las poblaciones de larvas vivas en los frutos secos del arbusto son menores en condiciones de manejo orgánico más *B. bassiana* que con manejo convencional más insecticida. Mendesil *et al* (2000) explica que a pesar de que el fruto es un hábitat seguro para el desarrollo de la larva, que provee acceso rápido a la alimentación y menos vulnerabilidad a enemigos naturales es evidente, que el hongo es efectivo para el control de las hembras adultas en condiciones de sombra (Figura 8b) y por lo tanto, las tasas de fecundidad bajan, lo que se refleja en menores poblaciones de larvas vivas (Figura 8c). *B. bassiana* es eficaz por su alta capacidad de esporular y de persistir (Jiménez-Gómez 1992), principalmente en agroecosistemas sombreados.

4.6.3 Distribución de H. hampei según el nivel de sombra y la fenología del fruto

En cuanto a la distribución de *H. hampei* en los frutos de categoría C₅, C₆ y C₇, se observa que *H. hampei* se concentra en los frutos verdes de categoría C₆ en condiciones de sombra densa, mientras que al sol, *H. hampei* se agrega en dos tipos de frutos, los verdes de la categoría C₆ y los pintones de la categoría C₇. La presencia de un gran número de frutos de esta última categoría en plena exposición solar ejerció seguramente, una mayor atracción (mayor cantidad de sustancias volátiles) para la broca, que los frutos de la misma categoría bajo sombra, los cuales eran más escasos.

El desarrollo y crecimiento del fruto tiene importancia vital para la sobrevivencia y desarrollo de las poblaciones de *H. hampei* en los agroecosistemas estudiados. Muschler (2001) y Vaast *et al.* (2005) encontraron que en condiciones sub-óptimas (menos de 700 msnm), el proceso de maduración de los frutos de café se retrasó por seis semanas bajo sombra, comparado con pleno sol, debido a la exposición a una menor temperatura (3-4 °C) en la sombra. El estímulo de la sombra también determina la coloración del fruto y su tamaño más homogéneo (Beer *et al.* 1998).

Ticheler (1961), Igboekwe 1984 y Baker 1999, citados por Damon (2000), explica que la fuerte atracción de *H. hampei* por los frutos está determinada por el color y la forma del fruto, primero por los negros (secos), luego los rojos y por último los verdes.

Mathieu *et al.* (1998), Mathieu *et al.* (1999), López *et al.* (2003) demostraron que *H. hampei* es atraída por algunas sustancias que emanan de los frutos rojos, como terpenos, limoneno y linalol y en los frutos secos por alcoholes. Ortiz *et al.* (2004) encontraron que la masa total de volátiles liberados por los granos de café se incrementa de 16 ng / fruto verde a 382 ng / fruto rojo y finalmente a 1136 ng / fruto seco.

Adicionalmente, *H. hampei* es atraída por las sustancias volátiles de sus desechos alimenticios y fecales, lo que causa hábitos de agregamiento (Barrera *et al.* 2006, Bustillo 2006). Todas estas relaciones ecológicas entre la fenología del fruto y los hábitos migratorios de *H. hampei* son dirigidas por el microclima que generan los árboles de sombra,

especialmente la temperatura, que al disminuir hasta 4 °C favorece el desarrollo de poblaciones del insecto (Wegbe *et al.* 2007, Vaast *et al.* 2005).

Este comportamiento de los frutos, también se observa, en los espacios dentro de la sombra, donde el sol penetraba más, exponiendo los frutos a los rayos solares, eran más abundantes y pequeños, debido a que la demanda de carbono de estos frutos crece, lo que dio lugar a una escasez de carbono y por lo tanto el tamaño del grano disminuye (Frank *et al.* 2007). Con relación a este comportamiento de la fenología de los frutos en agroecosistemas sombreados Beer *et al.* (1998) explica que se debe al desigual o desuniforme sombreado, producto de las podas de los árboles de sombra. Esta situación favorece el desarrollo de las poblaciones de *H. hampei* porque se agregan en estos espacios de sol y donde encuentran con facilidad, los frutos apetecibles dentro de las parcelas sombreadas.

Nuestros resultados concuerdan con los de Muñoz *et al.* (1986) en Honduras, donde se concluyó que las infestaciones de *H. hampei* tienden a ser mayores en café cultivado sin sombra, debido a la mayor disponibilidad de frutos aptos, formando focos de infestación que pueden extenderse hacia los arbustos más cercanos.

Damon (2000) considera que la penetración de los frutos verdes pueden ser un impedimento temporal en contra de la tendencia a agregarse porque *H. hampei* demora mucho más tiempo barrenando un fruto verde. Esto es especialmente cierto en condiciones de sombra por el mayor tiempo que demora el fruto en madurar.

4.6.4 Efecto del tipo de fruto sobre las poblaciones de H. hampei

Con relación a las poblaciones de *H. hampei* en los frutos verdes, especialmente los de categoría cinco, se explica que el total de individuos por fruto sea significativamente menor que en los frutos secos y maduros del arbusto, porque no hubo estados inmaduros, pero si hembras adultas en el canal de perforación.

Las menores poblaciones de *H. hampei* se encontraron en los frutos secos del suelo, esto puede deberse como opina Dufour *et al.* (2007) a que parte de las poblaciones abandonó esos frutos irreversiblemente y migraron a los frutos maduros y a los remanentes del arbusto,

y otra parte murió debido a la fuerte presión que ejercen las condiciones climáticas adversas como la alta humedad relativa y las constantes lluvias, opinión que comparten Ticheler (1961) y Decazy (1990); además, estas condiciones del clima en campo, aceleró la desintegración fisiológica gradual de los frutos del suelo, y la actividad microbiana, como lo afirma (Olivas 2010).

4.6.5 Posibles consecuencias de los efectos antagónicos de la sombra sobre H. hampei

Los efectos antagónicos de la sombra sobre *H. hampei* a través del microclima y de la fenología del cafeto podrían tener consecuencias sobre la distribución espacial de la broca. El escolítido podría migrar de las áreas sombreadas, donde se multiplica mejor entre cosechas, hacia las partes soleadas donde los frutos más apetecibles de la nueva cosecha se encuentran en mayor cantidad y en forma adelantada, y de ahí extenderse paulatinamente al resto de la plantación o del micro-paisaje. Esto sugiere implementar acciones de control enfocadas a esas áreas soleadas además de las prácticas de pepena y repela.

5 CONCLUSIONES

a. - Las poblaciones de *H. hampei* fueron 2.8 veces más abundantes en los frutos secos del arbusto y 1.6 veces más en los maduros procedentes de agroecosistemas sombreados con un estrato de sombra formado por la especie *E. poeppigiana*, y un multiestrato de *A. idiopoda* como dosel superior y *E. poeppigiana* como estrato más bajo, si se compara con pleno sol.

b. - La intensidad de manejo del arbusto de café puede contribuir a disminuir las poblaciones de *H. hampei* en agroecosistemas sombreados. Durante el estudio se observaron, en los frutos secos del arbusto, relaciones de 1: 3 hembras adultas vivas entre el manejo orgánico más *B. bassiana* y el manejo convencional sin insecticida; y una relación de 1: 2 larvas vivas entre manejo orgánico más *B. bassiana* y el manejo convencional más insecticida.

c. - La fenología del fruto responde directamente a los cambios bioquímicos que sufre el arbusto de café, producto de los estímulos causados por el microclima generado en las

diferentes condiciones de sol y sombra, y es de importancia vital para el desarrollo y distribución de *H. hampei*. En el tiempo del estudio, se observaron proporciones de frutos pintones (categoría C₇) a pleno sol de 3.6 veces más que bajo sombra. Estos frutos concentraron hasta 29 % de los ataques de broca al sol, a pesar de que sólo representaban el 11 % de los frutos disponibles para la broca. Lo anterior demuestra la alta atraktividad de esta categoría de frutos en comparación con frutos verdes y también el potencial atractivo de las plantas a pleno sol.

d. - El microclima es más favorable para el desarrollo y distribución de *H. hampei* en las parcelas con sombra, en las condiciones de una área sub-óptima para el cultivo de café, como es el caso del Cantón de Turrialba. La temperatura diaria máxima puede disminuir hasta 4 °C, la humedad relativa aumenta hasta 13% y la mojadura de los órganos del café hasta 35 % en la sombra. Se manifiesta con variaciones más suaves durante todo el período de inter cosecha, lo que mantiene a los frutos secos y maduros del arbusto en condiciones óptimas para la colonización.

6 RECOMENDACIONES

Para mejorar investigaciones similares que se realicen en un futuro, se sugiere:

a. - Profundizar el estudio sobre el desarrollo de las poblaciones de *H. hampei* en los frutos verdes del arbusto y secos del suelo ya que por desbalances en el modelo mixto utilizado, no se pudieron analizar.

b. - Utilizar un análisis discriminante para decidir la utilización de las variables que mejor expliquen lo observado en campo, porque así se pueden representar las observaciones en un espacio donde las diferencias entre grupos sean máximas.

c. - Definir *a priori* el tamaño muestral para detectar una diferencia mínima significativa especificada entre medias y obtener al menos una potencia de prueba de 0.75, ya que potencias menores, pueden resultar en la no diferenciación de medias de una población o tratamiento.

d. - Explorar la posibilidad de analizar los datos con métodos no paramétricos, porque así, no existe la necesidad de cumplir el supuesto de que los términos de error se distribuyen en forma normal.

e. - Efectuar un análisis espacial para dimensionar las interferencias entre tratamientos, debido a las migraciones de *H. hampei*.

Para mejorar el control de *H. hampei* se sugiere:

a. - Como consecuencia del efecto beneficioso de la sombra sobre *H. hampei* puede diseñarse una estrategia de manejo de la sombra, basada en podas a realizar durante el período de la intercosecha (enero-agosto) que garanticen la disminución de las poblaciones migrantes. El ciclo de podas de las especies sombreadoras debería hacerse inmediatamente después de finalizada la cosecha, en la primera semana de enero, y dejar que el dosel retoñe y progrese de manera que para el mes de mayo, se recupere el nivel de sombra original (33% a 61%) para que el antagonista *B. bassiana* desarrolle todo su potencial controlador de las poblaciones de broca que continúan migrando durante el período de intercosecha. Esto, acompañado de una recolección de los frutos remanentes estricta y de los frutos nuevos infestados, durante el período intercosecha, asegura poblaciones relativamente bajas.

b. - Aprovechar el fenómeno de agregación con la finalidad de aplicar una estrategia aleloquímica para el control de *H. hampei* en los arbustos expuestos al sol en las parcelas sombreadas.

7 BIBLIOGRAFÍA

Ahenkorah, Y; Akrofi, GS; Adri, AK (1974). The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. J. Hort. Sci. 49:43-51.

Altieri, MA. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo. UY, NORDAN. 338 p.

Aquino, AM de; Melo, E de; Freire-Ricci, M dos Santos; Casanoves, F. 2007. Earthworm populations in agroforestry systems involving conventional and organic coffee. In (CATIE). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Second International Symposium on multi-strata agroforestry systems with perennial crops. Turrialba, C.R. 5 p.

- Aristizábal, LF. 2001. Investigación participativa en el Manejo Integrado de la broca del Café. CENICAFE, Chinchiná. CO. 10 p.
- Baker, PS. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern México (Coleoptera: Scolytidae). *Folia Entomológica Mexicana*. 61:9-24.
- Baker, PS; Barrera, JF; Valenzuela, JE. 1989. The distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* in southern Mexico: a survey for a biocontrol project. *Tropical. Pest Management*. 35: 163-168.
- Baker, PS; Barrera, JF; Rivas, A. 1992. Life-history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. *J. of Applied Ecology*. 29: 656-662.
- Baker, PS; Ley, C.; Balbuena, R.; Barrera, JF. 1992. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. *Bull. Entomol. Res.* 82: 145-150.
- Barrera, JF; Gómez, JJ; Alauzet, C. 1995. Can the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) reproduce by parthenogenesis? *Entomol. Exp. Appl.* 77: 351-354.
- Barrera, JF; Herrera, J; Villacorta, A; García, H; Cruz, L. 2006. Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. In Barrera, JF; Montoya, P. eds. Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Colima, ME. p. 71-83.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations *Agroforestry Systems* 38: 139–164. Printed in the Netherlands.
- Benavides, P; Bustillo P, AE; Montoya R, EC. 1994. Avances sobre el uso del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. *Rev. Colomb. Entomol.* 20 (4): 247-253.
- Benavides, P; Vega, F; Severson, JR; Bustillo, AE; Stuart, JJ. 2005. Biodiversity and Biogeography of an Important Inbred Pest of Coffee, Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 98(3): 359-366.
- Bosselmann, AS; Dons, K; Oberthur, T; Smith O, C; Rabild, A; Usma, H. 2008. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. *Agric. Ecosys Environ.* 10.1016. 8p.
- Borbón, O. 1991. La broca del fruto del cafeto: programa cooperativo ICAFE-MAG. 1ra ed. ICAFE. San José, CR. 50 pág.
- Borbón, MO; Alfaro, OM; Oelschlager AM; González, LM. 2000. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto del cafeto,

- Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). In. IICA-PROMECAFE. eds. Memorias XIX simposio latinoamericano de caficultura. San José. CR.
- Borbón, O. 2001. Situación actual de la broca del fruto del cafeto en Costa Rica (*Hypothenemus hampei* Ferr.). p.7.
- Borbón, O. 2005. Experiencias sobre manejo de la broca del café en Costa Rica. In Barrera, J. ed. Simposio Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la broca del café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. 1era edición, Chiapas, MX. p. 58-66.
- Borbón, MO. 2007a. Eficacia de las trampas de vasos para el monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) en Costa Rica y Nicaragua. ICAFE, Heredia CR. In Hohmann, CL. Manejo da la brocai-do-café: workshop internacional. Londrina. BR. p. 113-135.
- Borbón, MO. 2007b. Liberaciones, comportamiento y dispersión de los parasitoides de la broca del fruto del cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867), *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea* procedentes de Colombia, en Costa Rica. ICAFE, Heredia CR. In Hohmann, CL. Manejo da la broca-do-café: workshop internacional. Londrina. BR. p. 199-208.
- Brun, LO; Stuart, J; Gaudichon, V; Aronstein, K; French-Constant, RH. (1995) Functional haplodiploidy: a mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. Proc. Natl. Acad. Sci.U. S. A. v. 92(21): 9861-9865.
- Bustillo P, AE; Orozco H, J; Benavides M, P; Portilla R, M. 1996 Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia. Cenicafé 47 (4): 215-230.
- Bustillo P, AE. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé. No. 24. Centro Nacional de investigaciones del Café, CENICAFÉ. Chinchiná CO.40 p.
- Bustillo P, AE; Cárdenas, R; Posada, FJ. 2002. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. Neotropical Entomology 31(4):635-639 (2002).
- Bustillo Pardey, AE. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 32(2):101-116.
- Bustillo Pardey, AE. 2007. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Boletín N° 24. Ed. HF Ospina. 2 ed. Chinchiná, Caldas, CO. CENICAFE. 40 p.
- Calvo, C. 1993. Dinámica, uso apropiado y sostenible de la tierra, en la cuenca del Río Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 186 p.

- Camilo, JE; Olivares, FF; Jiménez, HA. 2003. Fenología y reproducción de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. *Agronomía mesoamericana* 14(1): 59-63. 2003.
- Cárdenas, RM. 2000. trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). In: IICA-PROMECAFE. Eds. Memorias XIX simposio latinoamericano de caficultura. San José. CR.
- Castaño S, A.; Benavides M, P; Baker, PS. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. *Cenicafé* 56(2):142-150.
- Cervera López, E. (s.f.). Métodos de control de plagas y enfermedades (en línea). Consultado 25 nov. 2010. Disponible en http://www.ivia.es/sdata/pdf/apuntes/plaguicidas_cualificado/TEMA02.pdf. Instituto Valenciano de investigaciones agrarias, Valencia. ES.
- Corbett, GH. 1933. Some preliminary observations on the coffee berry beetle borer, *Stephanoderes (Cryphalus) hampei* Ferr. *J. Malayan Agric* 21:8-22.
- Damon, A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research* (2000) 90, 453–465 453.
- Decazy, B. 1998. Manejo integrado de la broca del cafeto *Hypothenemus hampei* Ferr. In PROMECAFE. ed. XI Simposio de Caficultura Latinoamericana San Salvador, SV. 141 p.
- Decazy, B; Ochoa, AH; Lotode, R. 1989. Indices de distribution spatiale et méthode d'échantillonnage des populations du scolyte des drupes du caféier, *Hypothenemus hampei*. *Ferr. Café, Cacao Thé*, 33 (1):27-41.
- Decazy, B. 1990. Le scolyte des fruits du caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr.: considérations sur la lutte intégrée contre ce ravageur. In: ASIC. Association Scientifique Internationale du Café. ed. Actas XII Coloquio Científico Internacional en café, Paipa, CO. p. 655-665.
- Di Rienzo, JA; Balzarini, MG; Casanoves, F; González, LA; Robledo, CW; Tablada, EM. (2008) *InfoStat. InfoStat versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, AR. 334 p.
- Dufour, B.; Barrera, JF.; Decazy, B. 1999. La broca de los frutos del cafeto: ¿la lucha biológica como solución? In Bertrand, B. *Rapidel B.* ed. Desafíos de la Caficultura en Centroamérica. San José, CR. CIRAD, IICA, p.293-325.
- Dufour, B; González, MO; Mauricio, JJ; Chávez, BA; Ramírez, R. 2005. Validation of coffee berry borer (cbb) trapping with the Brocap trap. In: XX international conference on coffee science. Bangalore. India. p. 1243-1247.

- Dufour, BP; Franco Franco, F; Hernández, A. 2007. Evaluación del trampeo en el marco del manejo integrado de la broca del café *In*. Eds. Barrera, JF, García, A, Domínguez, V., Luna, C. La broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Soc. Mex. Entomol. y El Colegio de la Frontera Sur. MX, p. 89-99.
- Dufour, B. 2008. Coffee berry borer triple-action integrated pest management. SV: IICA-PROMECAFE. 8 p.
- Félix Matos, DA. 2003. Incidencia de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferr. 1867) y sus controladores naturales en plantas de café bajo diferentes tipos de sombra en San Marcos, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 75p.
- Fernández, S; Cordero, J. 2007. Biología de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio. FONACIT, Proyecto FONACYT-INIA. VE. Bioagro 19(1). 35-40.
- Franck, N; Vaast, P; Dauzat, J. 2007. Coffee a shade-adapted plant: Implications on its carbon balance and consequences on coffee yield and quality in agroforestry systems. *In* (ASIC). Association Scientifique Internationale du Café, (21, 2006, Paris, FR) International Conference on Coffee Science p 1023-1031
- García, J. 1990. Análisis de cuencas hidrográficas aplicado al problema de inundaciones: caso de la Ciudad de Turrialba. Tesis Lic. San José, CR, ciudad universitaria Rodrigo Facio. 1193 p.
- Giovannucci, D. 2001. Sustainable Coffee Survey of the North American Specialty Coffee Industry. Montreal, Ca: Commission for Environmental Cooperation and Long Beach, Calif.: Specialty Coffee Association of America. 32 p.
- Gliessman, SR. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Eds: Rodríguez, E; Benjamín; T; Rodríguez, L; Cortés, A. Impresión LITOCAT, Turrialba, CR. 359 p.
- González, MO; Dufour, BP. 2000. Diseño, desarrollo y evaluación del trampeo en el manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*. *In*: IICA-PROMECAFE. ed. XIX simposio latinoamericano de caficultura. San José, Costa Rica. p. 381-396.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, NI. Serie Técnica, manual técnico N^o 44 CATIE. 267p.
- Gutiérrez Martínez, A; Ondarza, RA. 1996. Kairomone effect of extracts from *Coffea canephora* over *Hypothenemus hampei*. Environmental Entomology, v. 25. 96-100.
- Hilje, L. 2003. Biogeografía y biodiversidad de Turrialba. CATIE. p. 5.
- Holdridge, LR. 1978. Ecología basada en zonas de vida. IICA, CR. 216 p.

- Jarquín Gálvez, R; Jiménez Sánchez, L; Guharay, F; Barrera, JF. 2006. Aportes de productores y científicos al entendimiento de la agregación de *Hypothenemus hampei* en Chiapas, México. In García, A. ed. PROMECAFE. Boletín N° 106. Enero-marzo. 7-12.
- Jiménez-Gómez, J. 1992. Patogenicidad de diferentes aislamientos de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café. Cenicafé, Colombia 43: 84-98.
- Jiménez, F. 2003. Características geofísicas de la subcuenca del Río Turrialba, uso de la tierra y efectos sobre los recursos naturales y el ambiente. CATIE. p 3.
- Klein Koch, C. 1989? La broca del café (en línea). Consultado 24 nov. 2010. Disponible en http://www.infoagro.net/shared/docs/a3/3broca_del_Cafe.pdf.
- López, LM. 1994. Uso de entomopatógenos y parasitoides como control biológico de plagas y enfermedades en el cultivo de café. Ed. MAG. CR. 96 p.
- López, L; Rodríguez, C; León, R 2003. Evaluación del trapeo con atrayentes para la captura de brocas (*Hypothenemus hampei*) en el cultivo de café. In Memorias V Congreso Nacional de fitopatología. San José CR. 88p.
- Mathieu, F; Malosse, C; Frérot, B. 1998. Identification of volatile components released by fresh coffee berries at different stages of ripeness. J.Agric. Food Chem. 46:1106-1110.
- Mathieu, F; Brun, L; Frerot, B; Suckling, DM; Framton, C. 1999. Progression in field infestation is linked with trapping of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera, Scolytidae). Journal of Applied Entomology 123 (9):535.
- Melo, E. de; Haggard, JP; Staver, CP. 2002. Avances y desafíos en el establecimiento de ensayo de largo plazo en sistemas agroforestales en café en zona baja húmeda. Turrialba, Costa Rica. In II encuentro de investigadores en producción orgánica. (CATIE). Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, C.R, p 15.
- Mendesil, E; Jembere, B; Seyoum, E; Abebe, M. 2000. The Biology and Feeding Behavior of the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) and its Economic Importance in Southwestern Ethiopia. 7 p.
- Mendesil, E; Toby, JA; Bruce, TJA; Woodcock, CM; John, C.; Caulfield, JC; Seyoum, E; Pickett, JA. 2009. Semiochemicals used in Host Location by the Coffee berry Borer, *Hypothenemus hampei*. Chem Ecol 35:944-950.
- Méndez T, ER. 1992. Influencia de diferentes coberturas del suelo en la sobrevivencia de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) en el periodo post-cosecha. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 83 p.

- Mendoza, MJR. 1991. Resposta da la broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semioquímicos. Tesis. Universidad Federal de Viçosa. Brasil.
- Merlo Caballero, ME. 2007. Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejo convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 92 p.
- Montoya-Restrepo, EC. 1999. Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Cenicafé* 50 (4):245-258.
- Muñoz, RI; Andino, A; Zelaya R, R. 1986. Fluctuación poblacional de la broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferr.) en la zona del lago Yojoa. In Urbina, NE; Decazy, B. II taller de trabajo internacional sobre manejo integrado de la broca del grano de café (*Hypothenemus hampei*, Ferr.) Tapachula, Chiapas, M. p 75-99.
- Muschler, RG. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 85: 131–139, 2001.
- Ochoa, M; Campos, A; Decazy, B. 1990. Determinación de las pérdidas en la cosecha por la broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferr.) en función de diferentes porcentajes de infestación. In IICA-PROMECAFE ed. Resumen tercer taller regional de la broca. CR. p 81-86.
- Olivas, AP. 2010. Efecto del uso del suelo adyacente al cafetal sobre la dispersión y dinámica poblacional de la broca *Hypothenemus hampei* Ferrari y la abundancia de enemigos naturales en el cantón de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 140 p.
- Ortiz, A; Vega, FE; Posada, FJ. 2004. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness, and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Agric. Food Chem.* 52:5914-5918.
- Pareja, MR. (2008) El manejo integrado de plagas: componente esencial de los sistemas agrícolas sostenibles. 2008. In Hilje, L; Saunders, JL. *Comp. Manejo integrado de plagas en Mesoamérica: aportes conceptuales.* 1 ed. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 551-569.
- Pérez A, H. 2007. Manejo de la broca del café en la República de Panamá. In. Eds. Barrera, JF; García, A; Domínguez, V; Luna, C. *La broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques.* Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. MX, 33-36.
- Perfecto, I; Vandermeer, J; Wolff, R. 1994. Reducción en la biodiversidad de artrópodos con la transformación de cafetales en el Valle Central de Costa Rica. In *congreso Internacional de Manejo Integrado de plagas.* San José, CR. Resúmenes. p 134.

- Prates, HS. 1969. Observações preliminares de atração da la broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) a extratos de frutos de cafeeiro (cereja e verde). 61:13-14
- Ramírez Bacca, R. 2009. La broca del café en Líbano. Impacto socioproductivo y cultural en los años 90. Revista de Estudios Sociales No. 3. Bogotá, CO. p.272.
- Rojas B, M. 2007a. Manejo integrado del café para el control de *H. hampei* en la zona de Turrialba. Centro de investigaciones en café. Instituto del café de Costa Rica. 26 diapositivas. In Taller sobre la broca del café en Turrialba. CATIE. CR.
- Rojas B, M. 2007b. Acciones y estrategias ante la broca del café en Costa Rica. Centro de Investigaciones en Café (CICAFE), Instituto del Café de Costa Rica (Icafe). In. Eds. Barrera, JF; García, A; Domínguez, V; Luna, C. La broca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. Soc. Mex. Entomol. y El Colegio de la Frontera Sur. MX. 17-23.
- Romero, JV; Cortina G, HA. (2007). Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. Revista Colombiana de Entomología 33 (1): 10-16 (2007).
- Ruíz C, R. 1996. Efecto de la fenología del fruto de café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias Tesis: Ingeniero Agrónomo, 87. p. 62.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D; Muschler, RG. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53: 151–170.
- Teixeira, CAD; Souza, O De; Costa, NMJ. 2006 Frutos de Café “Conilon” brocados por *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): ¿Qual a Importância de sua Queda no Decorrer da Fase de Frutificação? *Neotropical Entomology* 35(3):390-
- Ticheler, JHG. 1961. An analytical study of the epidemiology of the coffee berry borer in the Ivory Coast. *Meded. Landbhooges. Wageningen*, 61 (11): 1-49.
- Trejo S, AR; Funez, CR. 2004. Manual técnico. Manejo Integrado de la broca del café. Basado en criterios bioecológicos de la broca y el cultivo de café. Instituto hondureño del café. HO. 44 p.
- Urbina, NE. 1987. La broca del fruto del cafeto *Hypothenemus hampei* Ferrari. In IICA-PROMECAFE-IHCAFE. eds. Curso regional sobre manejo integrado de plagas del cafeto con énfasis en la broca del fruto. San Pedro Sula, HO. 148-166.
- Vaast, P; van Kanten, R; Siles, P; Dzib, B; Franck, N; Harmand, JM; Genard, M. 2005. Shade: A Key Factor for Coffee Sustainability and Quality. In: Proceedings of the 20th ASIC Colloquium, Bangalore, India. ASIC, Paris, pp. 887–896.

- Vega, E; Benavides, E; Stuart, J J; O'neil, S. 2002. *Wolbachia* infection in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Annals Entomological Society of America* 95 (3): 374-378
- Vélez, E; Montoya, C. 1993. Supervivencia del hongo *Beauveria bassiana* bajo radiación solar en condiciones de laboratorio y campo. *Cenicafé. Colombia.* 44 (3): p. 111-122.
- Villalobos, E; Blanco-Metzler, H. 2006. Uso de trampas con kairomona para el manejo de la broca de la areca (*Coccotrypes carpophagus*) (Hormung) en la palmera *Chrysalidocarpus lutescens* var. *Areca*. *In Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. CR. No. 78.* 70-75.
- Wegbe, K; Cilas, C; Decazy, B; Alauzet, C; Dufour, B. 2003. Estimation of production losses caused by the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) and calculation of an economic damage threshold in Togolese coffee plots. *Journal of economic entomology*, 96 (5): 1473-1478.
- Wegbe, K; Cilas, C; Alauzet, C; Decazy B. 2007. Impact des facteurs environnementaux sur les populations de scolytes (*Hypothenemus hampei* Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *In: 21st International Conference on Coffee Science, Montpellier. France.* 1349-1353.

ANEXOS

Anexo 1. Medidas de ajuste y selección de modelos según criterios de AIC y BIC, para número total de individuos por fruto disectado

Variable dependiente	Modelo	AIC	BIC
Número total de individuos / fruto disectado	Normal	337.17	363.63
	varIdent	282.43	315.50
	varExp	287.39	316.05
	varConstPower	281.57*	312.43*

Notas: AIC: Criterio de verosimilitud de Akaike; BIC: Criterio de verosimilitud de Swcharz o Criterio Bayesiano de Información; *: Valores más bajos.

Anexo 2. Medidas de ajuste y selección de modelos según criterios de AIC y BIC, para la población de H. hampei en los frutos maduros de la planta

Variable dependiente	Modelo	AIC	BIC
Población de hembras vivas en los frutos maduros	Normal	306.98	394.11
	VarIdent.	292.48	390.78
	VarExp.	286.26	375.62
	VarPower	278.47*	367.84*
	VarConstPower	280.47	372.07
Población de hembras muertas en los frutos maduros	Normal	88.91	176.04
	VarIdent.	65.71	164.01
	VarExp.	51.7*	141.06*
Población de huevos en los frutos maduros	Normal	194.53	279.43
	VarIdent.	191.38*	287.45*
	VarExp.	195.63	282.76
	VarPower	194.78	281.91
	VarConstPower	196.78	286.14

Notas: AIC: Criterio de verosimilitud de Akaike; BIC: Criterio de verosimilitud Bayesiano;*: Valores más bajos.

Anexo 3. Medidas de ajuste y selección de modelos según criterios de AIC y BIC, para la población de H. hampei en los frutos secos de la planta

Variable dependiente	Modelo	AIC	BIC
Población de hembras vivas en los frutos secos del arbusto	Normal	469.98	554.18
	VarIdent.	463.75	558.75
	VarExp.	446.26	532.62
	VarPower	440.88*	527.24*
	VarConst. Power	442.88	531.40
Población de larvas vivas en los frutos secos del arbusto	Normal	319.48	404.29
	VarExp.	172.19*	261.34*
Población de pupas vivas en los frutos secos del arbusto	Normal	178.92	263.72
	VarIdent.	186.94	282.61
	VarExp.	145.31	182.81
	VarPower	137.26*	177.25*

Notas: AIC: Criterio de verosimilitud de Akaike; BIC: Criterio de verosimilitud de Swcharz; *: Valores más bajos.

Anexo 4. Prueba de potencia para las variables

Variable dependiente	Sigma	Varianza común dentro tratamientos	Media mayor	Media menor	Mínima diferencia	Repeticiones	Potencia
PFB-C5	0.19	0.0361			0.19	18	0.59
PFB-C6	0.22	0.0484			0.28	12	0.62
PFB-C7	0.09	0.0081			0.485	12	1.00
HV- FM	0.52	0.2704	1.05	0.71	0.34	53	0.73
HM-FM	0.06	0.0036	0.22	0.16	0.06	53	0.99
LV-FM	0.47	0.2209	1.65	0.99	0.66	53	1.00
PV-FM	0.36	0.1296	0.59	0.33	0.26	53	0.83
Hu-FM	0.46	0.2116			0		
HV-FSP	0.84	0.7056	10.02	3.28	6.74	17	1.00
LV-FSP	0.18	0.0324	1.8	0.83	0.97	17	1.00
PV-FSP	0.51	0.2601	1.12	0.74	0.38	17	0.32
Hu-FSP	0.34	0.1156	0.6	0.25	0.35	17	0.59
NFIRPA	5.24	27.4576	1.47	0.27	1.2	18	0.07
NFIRPS	4.11	16.8921	15.4	10.73	4.67	18	0.73
TIPFD	0.65	0.4225	6.51	4.02	2.49	18	1.00

Notas: Nivel de significancia utilizado $p < 0.05$. PFB-C5: Proporción de frutos brocados categoría cinco. PFB-C6: Proporción de frutos brocados categoría seis. PFB-C7: Proporción de frutos brocados categoría siete. TF: tipo de fruto. HV-FM: Número de hembras vivas por fruto maduro. HM-FM: Número de hembras muertas por fruto maduro. LV-FM: Número de larvas vivas por fruto maduro. PV-FM: Número de pupas vivas por fruto maduro. Hu-FM: número de huevos por fruto maduro. HV-FSP: Número de hembras vivas por fruto seco de la planta. LV-FSP: Número de larvas vivas por fruto seco de la planta. PV-FSP: Número de pupas vivas por fruto seco de la planta. Hu-FSP: Número de huevos por fruto seco de la planta. NFIRPA: Número de frutos iniciales remanentes perforados del arbusto. NFIRPS: Número de frutos iniciales remanentes perforados del suelo. TIPFD: Total de individuos por fruto disectado.