Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

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.

Amada Pastora Olivas

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

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

por

Amada Pastora Olivas

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

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de
Bosques Naturales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2010

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 MANEJO Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD

FIRMANTES:

Jacques Avelino, Ph.D.
Consejero Principal

Fabrice De Clerck, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Eduardo Hidalgo, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Bernard Dufour, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

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

Amada Pastora Olivas
Candidata

DEDICATORIA

A **DIOS**

Por llenar mi vida

de dicha, fuerzas y bendiciones

A la lupita quien me iluminó, y me acompaño

En esta nueva etapa de mi vida, confío plenamente en ti.

A mis abuelos queridos Petrona y Francisco quienes me han dado lo mejor de ellos, siempre están presente en mi; admiro su valentía y fuerza, y les agradezco de todo corazón esa dedicación, enseñanza y sobre todo el amor y el respeto que me inculcaron por lo demás. A mi comunidad El Regadío que me vio nacer, donde crecí, lloré, corrí libremente, estudie y donde a pesar de la pobreza pasé los momentos más agradables de mi vida. A mi gran amor, mi niño, mi amigo, mi cómplice, mi hijo; eres parte esencial en mi vida, contigo he aprendido a ser mejor persona y me haz impulsado a gozar la vida, tienes razón, hay que vivirla plenamente. Eres el azúcar que le da un sabor exquisito a mi vida…… TE AMO INFINITAMENTE

Mi mayor orgullo es haber nacido en el seno de los oprimidos que son el alma y nervio de la raza. A. C. Sandino.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de maestría, si bien ha requerido mi esfuerzo y dedicación, no hubiese sido posible su finalización sin la colaboración desinteresada de todas y cada unas de las personas e instituciones que a continuación mencionaré y que muchas de las cuales han sido un soporte técnico, económico y emocional muy fuerte en mis momentos de alegrías y tristezas.

Agradezco profundamente al Ministerio de Educación de Nicaragua, específicamente a Navy Machado, quien con mucha gentileza me ayudo en la gestión del apoyo financiero. Un especial reconocimiento a la Organización de Estados Americanos (OEA) porque con su apoyo económico fue posible aventurarme en esta travesía; sin su apoyo no hubiese cumplido mi sueño.

Siempre estaré agradecida con alguien muy especial, el Monseñor Abelardo Mata rector de la Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco de Estelí, Nicaragua, quien de manera especial y con mucha seguridad no dudo en darme ese respaldo institucional que tanto necesitaba.

De manera muy especial y sincera a mi fabuloso equipo de asesores, Jacques, Fabrice, Eduardo, Bernard y Diego, quienes me dieron su apoyo, confianza y motivación en todo momento; sus aportes han sido invaluables en este proceso y también contribuyeron en mi formación como investigadora. Siempre me facilitaron los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Gracias por confiar en mis ideas y en mi trabajo, nunca los olvidaré.

Hago patente mis agradecimientos al personal de CAFNET: Elías de Mhelo, Margarita Alvarado, Beatriz Elizondo y Marianella Sanabria, quienes me apoyaron y me dieron todas las facilidades necesarias para realizar el levantamiento de la información. Gracias por su paciencia. También, un especial agradecimiento al CIRAD y al proyecto OMEGA3, quienes me proporcionaron recursos económicos para el establecimiento del experimento.

Quiero también expresar mis agradecimientos a Fernando Casanoves y a Sergio Vílchez (mi compa) por su valiosa colaboración en el diseño del modelo experimental, en el análisis estadístico y en la interpretación de los resultados. Gracias por el tiempo que me dedicaron.

A mí querida familia por darme estabilidad emocional en momentos claves y quienes siempre estuvieron pendiente de mí: mi madre (Petronila Olivas) gracias por encomendarme siempre con Dios para que saliera adelante, tus oraciones fueron escuchadas; mi hermanaza querida (Nelba) aunque tenemos diez años de no vernos, el amor nos une; se que me enviabas bendiciones y buenas vibras y eso me daba fuerzas; mi hermanito (Wilmer) y aliado estratégico pendiente de mis movimientos y dispuesto a ayudarme; la negrita (Sheyla) un poco despistada, pero aun así deseándome lo mejor, mi hermanita (Leydi) la cumiche, me mantuviste informada de todo lo que pasaba en mi tierrita; espero que mi ejemplo te incentive en tu carrera profesional. Sus esfuerzos, se convirtieron en mi triunfo y en el de ustedes, siempre estaré dispuesta a ayudarles…los quiero mucho.

A mis grandes amigas de lucha que están en mi querida Nicaragua, y que son parte de mi familia: Sandra Casco mi amiga, mi hermana tus palabras siempre me dieron aliento y me mantuvieron en pie de lucha; Magda Sánchez quien siempre me envió energía y positivismo en sus mensajes y a la Chela (Yessenia Benavides) me ayudaste incondicionalmente. Gracias por su cariño y compresión.

No puedo olvidar a mis compañeros Nicas en el CATIE: Cipriano Rivera gracias por tu apoyo en la fase intensa de campo; Thelma Gaitán siempre dispuesta a colaborarme; Mayra Sauceda siempre estuviste ahí en los momentos que más necesitaba; Alí Romero mi querido gordito con tu paciencia me ayudaste a calmarme y a Donal López (el negrito) por tu apoyo en la elaboración del documento. Gracias por los buenos momentos, por aguantarme y por escucharme.

Con mucho cariño agradezco a Natalia Estrada por sus valiosos aportes en el trabajo de conectividad funcional. A Stefania Pinzón quien con mucha paciencia, esmero y dedicación

me ayudo arduamente en el trabajo de laboratorio. A Karem Mock y su hijo, quienes aun sin conocerme se acercaron a mí para darme su valiosa colaboración. Siempre los recordaré.

También tienen su gran merito por haberme dado un granito de arena en este camino, y son Socorro Torres mi madrina, quien me dio su apoyo y recomendaciones con gran sinceridad. A Estela Alemán quien siempre me tiene presente y me da su mano en todo momento. A José Ramón Jirón quien siempre ha confiado en mí.

Por último pero no menos importantes a mis amigos mexicanos (Albert Chan y Fausto Bolom) y a mis amigos peruanos (Angela y Ney), les agradezco con toda mi alma por haber compartido momentos agradables los cuales me sirvieron para crecer como persona.

A todos y todas con mucho cariño mi reconocimiento y gratitud, siempre estarán presente en mí.

CONTENIDO

DEDICATORIA III

AGRADECIMIENTOS IV

CONTENIDO VII

RESUMEN X

SUMMARY XII

ÍNDICE DE CUADROS XIV

ÍNDICE DE FIGURAS XVI

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS XIX

1 INTRODUCCIÓN 21

1.1 Objetivos del estudio 23

1.1.1 Objetivo general 23

1.1.2 Objetivos específicos 23

1.2 Hipótesis del estudio 23

1.3 Preguntas de investigación 24

2 MARCO CONCEPTUAL 25

3 MATERIALES Y MÉTODOS 47

3.1 Ubicación y descripción del área de estudio 47

3.2 Proceso de selección de las fincas y características principales de las parcelas seleccionadas 48

3.3 Metodologías 57

3.3.1 Dispersión de la broca del café H. hampei de acuerdo al contexto paisajístico 57

3.3.1.1 Diseño de campo para el monitoreo de la broca. 57

3.3.1.2 Prueba de difusores 59

3.3.1.3 Caracterización de las áreas de bosques 59

3.3.1.4 Diseño y análisis estadísticos 60

3.3.1.5 Comportamiento de la precipitación 64

3.3.1.6 Conectividad funcional para H. hampei 64

3.3.1.6.1 Creación de la calidad del hábitat 66

3.3.1.6.2 Definición de parches funcionales 69

3.3.1.6.3 Construcción de la red de conectividad 69

3.3.2 Dinámica poblacional de la broca del café H. hampei 70

3.3.3 Abundancia poblacional de hormigas depredadoras 75

3.3.3.1 Diseño de campo para el monitoreo de las hormigas 75

3.3.3.2 Diseño y análisis estadísticos 76

3.3.3.3 Caracterización de la sombra en las áreas de café 77

4 RESULTADOS 78

4.1 Efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña de azúcar) sobre la dispersión a corta distancia de la broca del café *H. hampei*..... 78

4.1.1 Resultados generales sobre las capturas de broca en las localidades en estudio……..78

4.1.2 Efecto de los usos de suelo adyacente sobre la dispersión de H. hampei……80

4.1.3 Capacidad de dispersión de H. hampei a corta distancia……....81

4.1.4 Comportamiento de la dispersión de H. hampei a través del tiempo……81

4.1.5 Correlación entre la cantidad de broca dentro del café y la población que se dispersa..82

4.1.6 Comportamiento de las capturas dentro de los lotes de café……83

4.1.7 Comportamiento del movimiento de H. hampei a través del tiempo……..…84

4.1.8 Relación entre las precipitaciones y las capturas de broca……....85

4.1.9 Disponibilidad de efluvios durante el período de muestreo……87

4.1.10 Relación entre la vegetación, la apertura de dosel en los bosques y las capturas de broca……87

4.1.11 Conectividad funcional……..89

4.2 Efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña) sobre las poblaciones *H. hampei* en frutos y el porcentaje de infestación..... 90

4.2.1 Estructura general de la población de H. hampei en las diferentes categorías de frutos……90

4.2.2 Incidencia del uso de suelo adyacente, de las categorías de fruto y del tiempo sobre las poblaciones de hembras……91

4.2.2.1 Evolución de los diferentes estados inmaduros a través del tiempo. . 93

4.2.3 Efectos sobre el nivel de infestación de H. hampei……....94

4.2.3.1 Evolución de la cantidad de frutos aptos a través del tiempo de acuerdo al uso de suelo adyacente. 94

4.3 Efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña de azúcar) sobre la abundancia de hormigas depredadoras de *H. hampei*. 97

4.3.1 Resultados generales de las capturas totales de hormigas en las localidades en estudio……..97

4.3.2 Abundancia de S. geminata y P. radoszkowskii de acuerdo al uso adyacente a los cafetales y el tiempo……....98

4.3.3 Abundancias poblacionales y su relación con la distribución de la precipitación……..101

4.3.4 Relaciones entre la presencia de S. geminata, P. radoszkowskii, la broca, la altura y la sombra……102

5 DISCUSIÓN 106

5.1 Comportamiento espacial y temporal de *H. hampei* fuera de los lotes de café y los factores que lo afectan. 106

5.2 Comportamiento espacial y temporal de *H. hampei* dentro de los lotes de café y los factores que lo afectan. 112

5.3 Relaciones entre las poblaciones de broca, usos de suelo adyacente, el tiempo y el estado del fruto..... 113

5.4 Relaciones en niveles de infestación, usos de suelo adyacentes y en tiempo..... 115

5.5 Comportamiento espacial y temporal de *Solenopsis geminata* y *Pheidole radoszkowskii* dentro de los lotes de café y los factores que lo afectan. 116

5.6 Discusión general..... 119

6 CONCLUSIONES 121

6.1 Efecto de los usos de suelo sobre la dispersión de H. hampei 121
6.2 Dinámica poblacional y el efecto de los usos de suelo adyacente 121
6.3 Efecto del uso de suelo adyacente sobre la abundancia y permanencia de hormigas depredadoras en los cafetales. 122
7 RECOMENDACIONES 124
8 BIBLIOGRAFÍA 125
ANEXOS 136

RESUMEN

La fragmentación de los ecosistemas naturales, ha generado paisajes donde la matriz es dominada principalmente por actividades agropecuarias. La persistencia de los insectos plagas y los benéficos en los agroecosistemas se relaciona con la disponibilidad espacial y temporal de hábitats, así como de los hospederos alternos a los cultivos. Tanto la dinámica de insectos plagas y de los enemigos naturales pueden estar influenciados por los arreglos espaciales del paisaje, los cuales podrían tener impactos sobre la dispersión y colonización de las plagas e incidir sobre la abundancia de sus enemigos naturales. Este estudio, pretendió investigar el efecto del uso de suelo adyacente a los cafetales sobre la dispersión a corta distancia y la dinámica poblacional de *Hypothenemus hampei*, así como la distribución de las hormigas depredadoras. El estudio se realizó en el cantón de Turrialba, Costa Rica. Se seleccionaron fincas que tenían usos de suelo diferente en su borde. Se escogieron cuatro sitios de café adyacentes a caña de azúcar, cuatro sitios de café adyacentes a bosque y cuatro sitios de café aledaños a pasto, para un total de 12 sitios de café evaluados en seis fincas diferentes. En cada una de las combinaciones de uso (café-caña de azúcar, café-bosque y café-pasto) se ubicaron tres transectos de 180 m de largo y 18 trampas Brocap® (4 dentro del café y 14 en el uso adyacente), utilizando una de las mezclas más atractivas para la broca del café (metanol-etanol, proporción 3:1). Cada 8 o 16 días se retiraban los frascos de captura y se realizaban los conteos en laboratorio. Además, mensualmente se realizó la disectaron 1440 frutos por categoría (secos, verdes y maduros), y se realizaron muestreos mensuales para evaluar los niveles de infestación de broca. También se realizaron trampeos mensuales de hormigas, utilizando trampas de cartón blanco impregnados con cebo de atún. El estudio se realizó entre los meses de febrero y julio. Los factores en estudio fueron: la distancia, el uso de suelo y el tiempo de muestreo. Las variables analizadas fueron: número de broca del café por trampa, número de hembras vivas, número de hembras muertas, número de huevos, número de larvas, número de pupas, promedio de frutos brocados por rama, número de *Solenopsis geminata* y número *Pheidole radoszkowskii*. La altitud de cada uno de los lotes de café se utilizó como covariable. Para conocer las diferencias entre los factores en estudio se utilizó los modelos lineales generales mixtos para los datos de dispersión de broca del café y abundancia de hormigas. También se realizó una Análisis de Componentes principales, para conocer la relación entre las hormigas, la altitud, la sombra y la broca del café. Los resultados indican

que hay efecto de uso de suelo sobre la dispersión de la broca del café, siendo el uso caña de azúcar y pasto diferente a bosque. Se capturaron hembras voladoras hasta los 140 m después del borde de café. Se encontraron diferencias significativas entre las distancias estudiadas. No hubo efecto del uso de suelo sobre las poblaciones de broca del café capturadas en las trampas dentro del café, las poblaciones de broca de café en frutos y sobre los niveles de infestación. La abundancia de hormiga si fue afectada por el uso de suelo adyacente; siendo *P. radoszkowskii* más abundante en los cafetales adyacentes a caña de azúcar y bosque, y *S. geminata* se presentó en mayor proporción en los cafetales adyacentes a pasto. Se encontró una relación positiva entre la broca del café y *P. radoszkowskii* y una relación negativa con *S. geminata*.

Palabras claves: uso de suelo adyacente, dispersión, abundancia, *Hypothenemus hampei*, *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii*.

SUMMARY

The fragmentation of natural ecosystems has generated landscapes where the matrix is mainly dominated by agricultural activities. The persistence of insect pests and beneficial insects in agro ecosystems is related to the spatial and temporary availability of habitats as well as the alternate hosts to crops. Both the dynamics of insect pests and natural enemies may be influenced by the landscape spatial arrangements which could have impacts on pest dispersal and colonization affecting the abundance of natural enemies. This study was conducted to investigate the effect of the land use adjacent to coffee plantations on short-distance dispersal and the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) population dynamics and the distribution of predatory ants. The study site was located in the canton of Turrialba, Costa Rica. Farms having different land use were selected. Four coffee plantations adjacent to sugar cane plantations were chosen, four coffee plantations adjacent to forests and four coffee plantations adjacent to pastures for a total of 12 coffee sites evaluated in six different coffee farms. In each of the land-use combinations (coffee- sugarcane, coffee- forest and coffee-forest-pasture) three transects were placed (180 m long each) and 18 Brocap® traps (4 inside the coffee plantations and 14 in the adjacent land use) using one of the most attractive mixtures for the coffee berry borer (methanol-ethanol, 3:1). Every 8 or 16 days bottles traps were withdrawn and counting was made in the laboratory. In addition, 1440 berries were monthly dissected per category (dry, green and ripe) and also monthly samplings were made to assess the levels of coffee berry borer infestation. Ant trapping using white cardboard traps impregnated with tuna bait was performed. The study was conducted between the months of February and July. The factors studied were: distance, land use and sampling time. The variables analyzed were: number of coffee berry borers per trap, number of alive females, number of killed females, number of eggs, number of larvae, number of pupae, average of infected berries per branch and the number of *Solenopsis geminata* and *Pheidole radoszkowskii*. The altitude of each of the coffee plots was used as covariate. To know the differences between the factors under study, generalized linear mixed models for dispersal data of coffee berry borer and ant abundance were used. An analysis of main components was performed to understand the relationship between ants, altitude, shade and coffee berry borer. The results indicated that there is land use effect on the dissemination of the coffee berry borer being the sugar cane use and pastures different from forests. Females were captured flying 140

m after the coffee plantation borderline. There were significant differences between the distances studied. There was no land use effect on the coffee berry borer populations caught in the traps inside coffee plantations, coffee borer populations in berries and infestation levels. Ant abundance was affected by the adjacent land use, being *P. radoszkowskii* more abundant in coffee plantations adjacent to sugar cane plantations and forests. *S. geminata* was present in a high proportion in coffee plantations adjacent to pastures. A positive relationship between the coffee berry borer and *P. radoszkowskii* was found as well as a negative relationship with *S. geminata*.

Keywords: adjacent land use, dispersal, abundance, coffee berry borer, *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii*.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Dispersión de Hypothenemus hampei en los países cafetaleros de América Latina..... 27

Cuadro 2. Instalación del trampeo de broca en doce lotes de café, ubicados en seis fincas de café del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009..... 57

Cuadro 3. Muestreos seleccionados para el análisis de varianza en seis fincas de café del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. Las estrellas rojas (*****) indican picos de captura de broca..... 61

Cuadro 4. Clasificación de la calidad del hábitat para Hypothenemus hampei, en los diferentes usos de suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca..... 67

Cuadro 5. Clasificación estructural de los parches y calidad de hábitat para la sobrevivencia de Hypothenemus hampei..... 68

Cuadro 6. Clasificación de las perturbaciones para el movimiento de Hypothenemus hampei dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca..... 69

Cuadro 7. Clasificación de la permeabilidad en los usos de suelo para Hypothenemus hampei, dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca..... 70

Cuadro 8. Porcentajes de hembras de Hypothenemus hampei capturadas en las trampas Brocap®, ubicadas dentro de las áreas de café en seis fincas cafetaleras del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009..... 78

Cuadro 9. Valores de F y probabilidades asociadas al análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y la fecha de captura sobre la cantidad de hembras de Hypothenemus hampei capturadas por la trampa Brocap®..... 80

Cuadro 10. Coeficientes y probabilidades asociadas al análisis de correlación de Spearman entre la cantidad de broca dentro del café y la población que se dispersa, dependiendo de la distancia del cafetal. 83

Cuadro 11. Valores de F y probabilidades asociadas al análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y la fecha de captura sobre la cantidad de hembras de Hypothenemus hampei capturadas por la trampa Brocap® dentro de las áreas de café. 83

Cuadro 12. Análisis de varianza de los efectos del uso de suelo y la distancia sobre la cantidad de efluvios disponibles en las trampas, en dos fincas ubicadas en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 87

Cuadro 13. Análisis de varianza del efecto de la variabilidad estructural sobre las capturas de broca dentro de cuatro bosques, ubicados en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 88

Cuadro 14. Análisis de varianza del efecto de la apertura del dosel sobre las capturas de broca dentro de cuatro bosques, ubicados en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.88

Cuadro 15. Análisis de varianza de los efectos del uso de suelo adyacentes a las áreas de café, categorías de fruto y las fechas de muestreo sobre la población de hembras de Hypothenemus hampei en frutos residuales y de la nueva cosecha. 91

Cuadro 16. Análisis de varianza de los efectos del tiempo de muestreo sobre el promedio de frutos aptos por rama. 95

Cuadro 17. Análisis de varianza de los efectos del uso de suelo adyacente a las áreas de café y la fecha de muestreo sobre el promedio de frutos brocados por rama. 96

Cuadro 18. Cantidad de hormigas capturadas en seis muestreos mensuales, en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 98

Cuadro 19. Valores de F y probabilidades asociadas en el análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y el tiempo de muestreo de Pheidole radoszkowskii. 98

Cuadro 20. Valores de F y probabilidades asociadas en el análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y el tiempo de muestreo de Solenopsis geminata. 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de la broca del café *28*

Figura 2. (a) Porcentaje de parasitismo (avispa) o (b) porcentaje de yemas destruidas por el escarabajo del polen, y su relación con el porcentaje de área de no cultivos en un sector circular de 1,5 km de diámetro alrededor de la parcela experimental. Según Thies y Tscharntke (1999), modificado por Schmidt et al., 2004 ..... *44*

Figura 3. Mapa de usos de suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica 2009. ..... *47*

Figura 4. Representación de las parcelas de café seleccionadas, la altitud y los usos de suelo colindante, situadas en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. ..... *48*

Figura 5. Representación gráfica de la ubicación de las trampas dentro de los lotes de café y en los usos adyacentes evaluados, en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. ..... *58*

Figura 6: Delimitación del área de análisis de conectividad funcional para la broca del café, utilizando el mapa de uso de suelos del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica 2009. ..... *66*

Figura 7. Representación gráfica de los muestreos realizados en los lotes de café, en el estudio la dinámica poblacional de Hypothenemus hampei. *72*

Figura 8. Capturas por día de hembras de Hypothenemus hampei utilizando la trampa Brocap® en doce lotes de café y sus usos adyacentes pertenecientes a seis fincas del cantón de Turrialba , Costa Rica 2009. ..... *79*

Figura 9. Comportamiento de la dispersión de adultos de Hypothenemus hampei en tres usos de suelo a diferentes distancias, utilizando trampas Brocap®; ubicadas en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. ..... *81*

Figura 10. Comportamiento temporal de las capturas de hembras de Hypothenemus hampei en tres usos de suelo, utilizando trampas Brocap®; ubicadas en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. ..... *82*

Figura 11. Comportamiento de dispersión de hembras de Hypothenemus hampei dentro de las áreas de café, utilizando trampas Brocap®; localizadas en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. ..... *84*

Figura 12. Comportamiento temporal de las capturas de hembras de Hypothenemus hampei en las trampas Brocap®, ubicadas dentro de las áreas de café; en seis fincas del Cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 85

Figura 13. Comportamiento de las precipitaciones quincenales y las capturas de broca en la finca del CATIE, Cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 86

Figura 14. Comportamiento de las precipitaciones quincenales y las capturas de la broca del café en la finca Colima, ubicada en Santa Teresita localidad de Turrialba, Costa Rica 2009. 86

Figura 15. Delimitación de los parches y corredores funcionales para el movimiento de la broca del café dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca. Los parches de diversos colores indican los parches funcionales y las franjas azules son los corredores que conectan a estos parches funcionales. 89

Figura 16. Población total de adultos y estados inmaduros de broca en seis muestreos (2160 frutos por categoría/mes) realizados en doce lotes de café, ubicados seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 90

Figura 17. Comportamiento temporal de los promedio de hembras por frutos en las diferentes categorías, en doce lote de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: Frutos secos en planta, B: Frutos secos en suelo, C: Frutos maduros en planta y D: Frutos verdes en planta. 92

Figura 18. Promedio de hembras voladoras en frutos secos en plantas y en suelo en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: frutos secos en planta y B: frutos secos en suelo. 93

Figura 19. Evolución temporal del promedio de estados inmaduros de Hypothenemus hampei por fruto, en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: promedio de huevos por fruto, B: promedio de larvas por fruto y C: promedio de pupas por fruto. 94

Figura 20. Disponibilidad de frutos aptos a través del tiempo, en doce lotes de café adyacentes a bosque, caña y pasto, ubicados seis fincas del cantón de Turrialba Costa Rica, 2009. 95

Figura 21. Comportamiento temporal de los promedios de frutos brocados por rama, en doce lotes de café adyacentes a bosque, caña y pasto, ubicados en el Cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. 96

Figura 22. Comportamiento temporal de las capturas totales de Pheidole radoszkowskii en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: Café-bosque, B: Café-caña y C: Café-pasto 99

Figura 23. Comportamiento temporal de las capturas totales de Solenopsis geminata en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: Café-bosque, B: Café-caña y C: Café-pasto. 100

Figura 24. Abundancia en el tiempo de Solenopsis geminata y Pheidole radoszkowskii y su relación con la distribución de las precipitaciones en la finca del CATIE Turrialba, Costa Rica 2009. A (Cafetal adyacente a caña), B (Cafetal adyacente a bosque). 101

Figura 25. Abundancia en el tiempo de Solenopsis geminata y Pheidole radoszkowskii y su relación con la distribución de las precipitaciones en la finca Colima Turrialba, Costa Rica 2009. A (Cafetal adyacente a pasto), B (Cafetal adyacente a bosque). 102

Figura 26. Representación de las variables en los primeros dos ejes (1 y 2) del análisis en componentes principales en él que Solenopsis geminata, Pheidole radoszkowskii, altura y sombra son variables activas y los diferentes estadios de la broca en frutos, los frutos brocados y la cantidad de broca capturada en las trampas son variables inactivas. Turrialba, Costa Rica 2009. Los porcentajes indican la parte de la variabilidad explicada por cada eje. Triángulo rojo (frutos brocados), círculo verde (broca en trampa) y rombos naranja (estadios de broca) 103

Figura 27. Representación de las variables en los ejes 1 y 3 del análisis en componentes principales en él que Solenopsis geminata, Pheidole radoszkowskii, altura y sombra son variables activas y los diferentes estadios de la broca en frutos, los frutos brocados y la cantidad de broca capturada en las trampas son variables inactivas. Turrialba, Costa Rica 2009. Los porcentajes indican la parte de la variabilidad explicada por cada eje. Triángulo rojo (frutos brocados), círculo verde (broca en trampa) y rombos naranja (estados de broca). 104

Figura 28. Representación de los individuos, de acuerdo al uso del suelo adyacente, en los componentes 1 y 3 del Análisis en Componentes Principales en él que Solenopsis geminata, Pheidole radoszkowskii, altura y sombra son variables activas y los diferentes estadios de la broca en frutos y la cantidad de broca capturada en las trampas son variables inactivas, Turrialba, Costa Rica. Puntos verdes: café-bosque, rombos amarillos: café-caña, triángulos verdes: café-pasto. 105

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

mg: miligramos

ml: mililitro

mm: milímetro

m: metro

ha: hectárea

cm^2: centímetro cuadrado

m^2: metro cuadrado

CBVCT: Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

SAF: sistemas agroforestales

CB: cafetales adyacentes a bosque

CC: cafetales adyacentes a caña

CP: cafetales adyacentes a pasto

1 INTRODUCCIÓN

Para Bennett (2004) la fragmentación es un proceso dinámico que genera cambios notables en el patrón de hábitat de un paisaje a través del tiempo. Los cambios son reconocibles por la pérdida general del hábitat; la disminución en el tamaño de los parches de hábitat que subsisten después de la fragmentación y clareo, y el aislamiento del hábitat a medida que hay nuevos usos de suelo.

Uno de los efectos de la fragmentación en los diferentes ecosistemas es la reducción y pérdida de la biodiversidad generada por los cambios en los diferentes hábitats. Para Altieri y Nicholls (2000) en los ecosistemas agrícolas es más evidente la reducción de la biodiversidad, ya que la pérdida de enemigos naturales provoca el surgimiento de nuevas plagas agrícolas generando inestabilidad en el manejo de las mismas.

Las estrategias de desarrollo económico implementadas a nivel de países han generado presiones sobre los recursos naturales, generando fragmentación en los ecosistemas naturales, por lo que es común encontrar paisajes donde la matriz es dominada principalmente por actividades agropecuarias. En este sentido, la economía costarricense históricamente ha estado sustentada en las actividades agropecuarias y el café es uno de los rubros de importancia económica para muchas familias productoras (Vásquez, 1996).

El cantón de Turrialba, en la provincia de Cartago, no se ha escapado a esta tendencia caficultora, ubicándose en los primeros lugares de su producción; sin embargo, los rendimientos han sido afectados por factores adversos tales como las condiciones climáticas y la afectación de plagas, especialmente la broca del café *Hypothenemus hampei* (ICAFE, 2000).

H. hampei es un insecto perforador que se refugia, se reproduce y se alimenta en el interior del fruto; bajo condiciones óptimas puede alcanzar altas densidades poblacionales en poco tiempo de ahí su importancia económica (Barrera et ál., 2006). La dispersión y colonización del insecto ha sido explicada por el transporte de frutos infestados y por la

capacidad de vuelo de las hembras. Algunas tienen la capacidad de volar largas distancias y colonizar áreas nuevas, aunque la mayoría se desplaza relativamente a corta distancia (Baker, 1984). Este desplazamiento generalmente reducido podría ser facilitado por la presencia de zonas compactas de café en el agropaisaje, las cuales permitirían el traslado rápido de poblaciones entre cafetales, complicando así el control (Avelino 2008, com. per.).

Una característica particular de los sistemas cafetaleros es la biodiversidad existente (Hanson, 199; Perfecto y Snellings, 1995; Barbera, 2001 y Varón, 2002), entre los cuales se encuentran insectos benéficos que participan en funciones ecológicas importantes, como la regulación de las poblaciones de plagas.

La persistencia de los insectos plagas y de los insectos benéficos en los agroecosistemas se relaciona con la disponibilidad espacial y temporal de hábitats, así como de los hospederos alternos a los cultivos (Aguilera, 2006). En este sentido tanto la dinámica de insectos plagas y la de los enemigos naturales puede estar influencia por los arreglos espaciales del paisaje, lo cual podrían tener impactos sobre la dispersión y colonización de las plagas e incidir sobre la abundancia de los controladores naturales.

Este estudio pretendió investigar la relación entre el contexto paisajístico y el movimiento de la broca a través de un análisis del efecto de usos de suelos vecinos sobre las poblaciones de *H. hampei*. Asimismo tratamos de relacionar la abundancia de las hormigas con los usos de suelos adyacentes a las áreas de café, para indagar si este contexto paisajístico contribuye tanto al movimiento como a la depredación de la broca. Es decir el estudio contribuirá a entender el efecto de los diferentes usos de suelos y su relación con la dispersión de *H. hampei* y la abundancia de sus controladores naturales.

Las investigaciones realizadas sobre la broca de café han contribuido significativamente en el conocimiento de la biología, ecología, y el manejo integrado de esta plaga, aún quedan aspectos por explorar, principalmente sobre dispersión. Se carece de información sobre la influencia de la heterogeneidad del paisaje en la dinámica y dispersión de este insecto.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Entender el efecto de los diferentes usos del suelo sobre la capacidad de dispersión a corta distancia de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr, su dinámica poblacional y la abundancia de enemigos naturales (depredadores), en los sistemas agroforestales de café en el cantón de Turrialba, Costa Rica.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña de azúcar) sobre la dispersión a corta distancia de la broca del café *Hypothenemus hampei*.

Estudiar la dinámica poblacional de *Hypothenemus hampie* y el efecto del arreglo espacial del paisaje (bosque, pasto y con caña de azúcar).

Determinar el efecto del arreglo espacial del paisaje (bosque, pasto y caña de azúcar) sobre la abundancia de *Solenopsis geminata y Pheidole radoszkowskii* en los sistemas agroforestales de café.

1.2 Hipótesis del estudio

a) La capacidad de dispersión a corta distancia de *Hypothenemus hampei* fuera de los sistemas agroforestales de café está condicionada por el uso de suelo adyacente.

b) La abundancia de *Hypothenemus hampei* en los cafetales depende del uso de suelo circundante.

c) La abundancia y distribución espacial de *Solenopsis geminta* y *Pheidole radoszkowskii* dentro de los sistemas agroforestales de café está determinada por el tipo de vegetación circundante.

1.3 Preguntas de investigación

¿*Hypothenemus hampei* tiene la capacidad de moverse a través de las áreas de bosque y de los usos agrícolas (caña y pasto)?

¿La dinámica poblacional de broca se puede ver afecta por el uso de suelo adyacente (bosque, caña y pasto) a los cafetales?

¿La abundancia de *Solenopsis geminata*, y *Pheidole radoszkowskii* es afectada por el efecto de borde que produce el uso de suelo adyacente al cafetal?

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Situación actual de la caficultura en Costa Rica

En base al censo cafetalero realizado por Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), en las regiones de Coto Brus, Turrialba, Valle Central y el Valle Occidental, se estima que el área de café para el 2006 era de 97,614 ha, lo cual significa que el área cafetalera se redujo en un 13.9 %, si se compara con el estudio del 2001 que determinó que el área era de 113, 386 ha. La productividad de este rubro también ha sido afectada, los datos de la cosecha del 2004-2005 indican que el nivel de productividad bajó de 29.5 (2000-2001) a 23.8 fanegas (1 fanegas es igual a 400 L) por ha en la cosecha 2005-2006 (ICAFE, 2006).

A pesar de la reducción de área, este cultivo sigue siendo de importancia económica para Costa Rica y para las pequeñas familias productoras que sustentan su economía en este rubro. En este sentido se estima que el 92.2 % del café beneficiado proviene de pequeños productores/as (ICAFE, 2005).

El cantón de Turrialba, provincia de Cartago forma parte de las regiones cafetaleras del país. Este cantón durante el período 2004-2005 presentó un descenso en la producción de 8.3 a 6.4 % de la producción nacional respectivamente. Esta situación obedece principalmente al abandono de los cafetales y al cambio de cultivo en relación con condiciones subóptimas para el cultivo del café. En este cantón es común encontrar áreas de café a la par de cañales o potreros, pero a medida que decrece la altitud, el café se alterna con cacao y banano.

La región de Turrialba se caracteriza por tener áreas de café con maduración temprana. Esta está influenciada por el clima de la vertiente del Atlántico y del Valle Central Oriental. Debido a la distribución de la precipitación, el estrés hídrico no es muy marcado y se generan múltiples floraciones, por lo tanto existe producción durante casi todo el año y a la vez condiciones óptimas para la reproducción y alimentación de *H. hampei*. En los lugares menores a 900 m de altura la cosecha puede comenzar desde junio y prolongarse hasta febrero del siguiente año.

2.2 La broca del café

Desde diciembre del año 2,000 *H. hampei* fue detectada en Costa Rica, en la principal zona cafetalera del país, el Valle Central. Esta plaga se encontró, primero en 12 fincas en diciembre del 2002, y para mayo del año 2004 estaba presente en 3,000 ha en una finca cafetalera de 14,000 ha, donde los niveles oscilaban de 1 a 2 % (Borbón, 2005).

La broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*), pertenece al orden Coleoptera; división: polyphaga; super familia Scolytoidea, familia scolytidae y a la subfamilia Ipinae (Ticheler, 1961). A este insecto se le conoce como: broca del grano del café, broca del fruto del grano del café, barrenillo del grano de café y escolítido del grano del café (ANACAFE, 1998).

2.2.1 Origen, distribución de la broca del café

El café al igual que *H. hampei* es originario de África. Esta plaga fue descrita originalmente por Ferrari en 1867; sin embargo, fue hasta 1891 que es citada por Gabón como plaga en el campo. Posteriormente, en los años de 1902 -1904 se reporta en el Congo, 1908 en Uganda y 1909 en Java. En la actualidad esta plaga se encuentra en casi todas las regiones del mundo donde se cultiva el café. Ésta se ha dispersado de un país a otro mediante semillas infestadas en sacos, contenedores y barcos.

Por atacar directamente al grano, *H. hampei* es considerada una de las plagas de mayor importancia económica del café en el mundo. Las características biológicas y las bajas poblaciones de controladores naturales en América Latina, le ha permitido adaptarse rápidamente a diferentes zonas agroecológicas e incrementar sus poblaciones rápidamente (Guharay et ál., 2000).

Cuadro 1. Dispersión de Hypothenemus hampei en los países cafetaleros de América Latina.

País	Año
Brasil	1913
Perú	1962
Guatemala	1971
Honduras	1977
México y Jamaica	1978
Salvador y Ecuador	1981
Nicaragua y Colombia	1988
Cuba	1990
República Dominicana y Venezuela	1995
Costa Rica	2000
Panamá	2007

Fuente: Guharay et ál., 2000 y Benavides et ál., 2007

2.2.2 Biología y hábitos de la broca del café

H. hampei pertenece al grupo de insectos holometábolos, los cuales se caracterizan por tener metamorfosis completa (huevo, larva, pupa y adulto), pasando su ciclo reproductivo dentro de los frutos de café. El adulto es un pequeño insecto con una apariencia similar a los gorgojos. Su color recién emergido es castaño claro, cambiando a pardo oscuro hasta tornarse negro brillante. Las hembras de *H. hampei* son más grandes que los machos. Estas miden aproximadamente entre 1.50 a 1.78 mm de largo y de 0.66 a 0.80 mm de ancho, en tanto los machos miden de 0.90 a 1.25 mm de largo y de 0.51 a 0.62 mm de ancho (Corbett, 1933; Sladden, 1934; Bergamin, 1943; Fernández y Cordero, 2007).

Los elitros (par de alas endurecidas) están cubiertos con setas o espinas que crecen hacia atrás. En los machos de *H. hampei* el segundo par de alas membranosas son atrofiadas, lo que le impide volar; sin embargo, la hembra sí puede volar, y es la que realiza la colonización de los frutos. Los adultos de *H. hampei* nacen dentro de los frutos de café. La proporción entre hembra y macho es variable, de 10:1 para Bergamin (1943) y Baker et ál. (1992); de 13:1 para Corbett (1933); Baker y Barrera (1993) mencionan una proporción de 11:1 y por último Fernández y Cordero bajo condiciones de laboratorio encontraron una proporción sexual de 13.8:1 El apareamiento se realiza dentro del fruto entre hermanos y hermanas (Sladen, 1934).

El ciclo de vida de *H. hampei* desde huevo a adulto (figura 1) dura entre 24 y 45 días, en tanto el tiempo de una generación a otra es de 35 a 65 días. El aumento de la temperatura ambiental produce una reducción del ciclo de desarrollo de la broca. Los datos obtenidos en laboratorio indican que desde la postura hasta que el adulto emerge, a temperatura de 27ºC y en una cámara húmeda, la duración del desarrollo es de 21 días, y a temperatura de 22ºC es de 32 días (Ticheler, 1963; Bergamin, 1943).

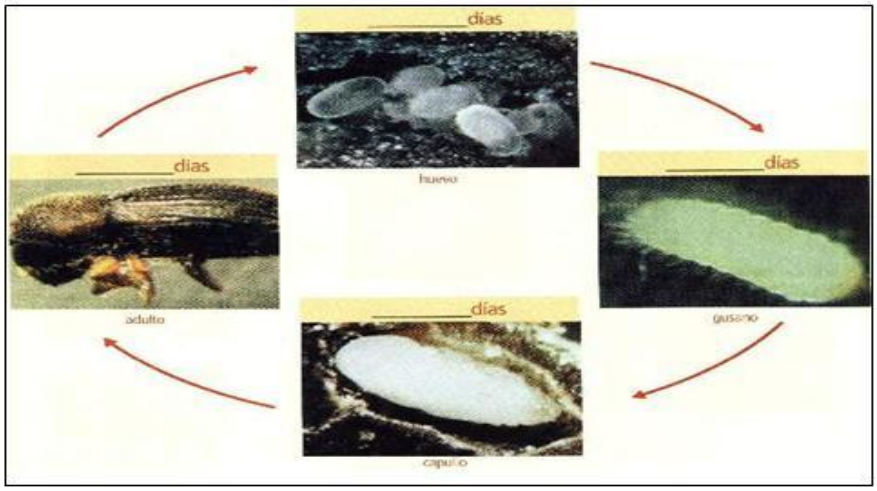

Figura 1. Ciclo de vida de la broca del café

Una vez fecundadas las hembras salen de los frutos y comienzan a buscar sitios para la oviposición, aunque esta actividad depende de la humedad sobre todo la que es generada por la lluvia, siendo este el factor queda inicio a la búsqueda de nuevos frutos (Baker et ál., 1992). El tiempo de pre-oviposición puede durar de 5 a 10 días, dependiendo de la disponibilidad de frutos aptos para la perforación y oviposición (Bergamin, 1943). Las hembras pueden depositar de 31 hasta 74 huevos durante un período de 20 hasta 131 días (Leefmans, 1923; Hargreaves, 1935; Bergamin, 1943). Estudios realizados por el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) mencionan que *H. hampei* puede producir de tres a cinco generaciones por año en condiciones normales; aunque éstas pueden llegar hasta ocho en aquellas fincas donde no existe buena recolección de frutos y predominan condiciones de sequía (Trejo y Funez, 2004).

Los huevos son de forma elíptica o levemente ovoide, de cutícula brillante, el color es blanco lechoso al inicio, luego es claro y liso, próximo a eclosionar toma un color amarillento y rugoso. Los huevos normales presentan un eje mayor con una dimensión promedio de 0.60 mm (mínima 0.52 y máxima 0.69); mientras que el eje menor alcanza 0.31 mm (minima 0.28 y máxima 0.35). Los huevos no fecundados difieren por presentar un aspecto lechoso y sin brillo (Bergamin, 1943; Fernández y Cordero 2007).

De acuerdo a Bergamin (1943), los huevos de *H. hampei* eclosionan entre los 4 y 16 días, dependiendo de las condiciones de temperatura. Cuando la temperatura aumenta, ésta influye de forma directa sobre el período efectivo de la oviposición (82 días a 23^0C y 68 días a 24^0C), y en el período de incubación de los huevos (4 días a 27^0C y 16 días a 18.7^0C).

Al nacer las larvas tienen una cápsula más larga que el resto del cuerpo, es color amarillo y diferente al resto del cuerpo, con bordes ligeramente curvados. Las larvas son ápodas, presentan una cabeza marrón esclerotizada y provista de mandíbulas fuertes proyectadas hacia el frente. La longitud del cuerpo tiene un promedio de 0.79 mm (mínimo 0.72 y máximo 0.84) y el ancho de la cápsula tiene un promedio de 0.24 mm (mínimo 0.23 y máximo 0.25); antes de pasar a pupa la larva mide de 1.88 a 2.30 mm (Bergamin, 1943).

Las larvas que dan origen a los machos presentan sólo un instar y sufren una muda de 15 días, a diferencia de las hembras que tienen dos instares y dos mudas en 19 días. Asimismo, la etapa larval puede durar de 10 a 26 días. Durante este tiempo, la larva se alimenta del endospermo. A medida que se alimentan, éstas perforan el endospermo, haciendo galerías en los granos, donde se puede observar materia excretada y un polvo fino en la superficie. (Ticheler, 1961; Guharay et ál., 2000).

Una vez que la larva alcanza el desarrollo completo, ésta prepara una “cámara ninfal”, alejada del resto de la galería. A este estado se le llama prepupa. Esta dura aproximadamente dos días con temperaturas de 22^0C a 27^0C y hasta seis días con temperaturas de 18^0C a 21^0C. En la fase de pupa, el insecto es blanco y corresponde al tipo

de pupa libre o exhalada. En promedio, las hembras alcanzan 1.8 mm de largo y 0.7 mm de ancho, en cambio los machos tienen 1.3 mm y 0,5 mm respectivamente. El estado de pupa puede durar entre cuatro y diez días con temperturas de 28.7^0C y 22.8^0C respectivamente. A medida que se desarrolla la pupa, se diferencian algunas partes del cuerpo, tales como los apéndices de la cabeza, las alas y las patas. El fin del estado de pupa se observa con un cambio de coloración de amarillento a castaño claro, oscureciendo unas partes más que otras (Bergamin, 1943).

La longevidad de los machos es menor en comparación con las hembras. Estos emergen primero que las hembras y tienen un promedio de vida no más de 40 días. La única función de éste es fecundar a un número determinado de hembras dentro del fruto. Estos necesitan poco alimento y las galerías son de menor tamaño (Bergamin, 1943).

Por otra parte, las hembras son atraídas por el olor (presencia de etanol y otros alcoholes volátiles), luego por el color y la forma de los frutos de café, asimismo por los desechos de frutos barrenados y las heces que las mismas dejan a su paso (Decazy, 1990; Ortiz et ál., 2004; Bustillo y Villaba, 2007). Leefmans (1,923) citado por Ticheler (1961) menciona que las hembras prefieren los frutos negros (secos), luego a las rojos y como última opción los verdes. Por otra parte Bustillo y Villalba (2007) mencionan que este insecto tiene preferencia por los frutos de mayor consistencia (120 a 150 días después de la floración), aunque también afecta a frutos en estado semi-lechoso (< 120días). En este sentido cuando *H hampei* perfora un fruto y no tiene la consistencia adecuada, ésta se puede alojar en el canal de penetración (mesocarpio) sin penetrar el endospermo. Aunque, algunas hembras abandonan el fruto para colonizar otros que tengan la consistencia adecuada (Ticheler, 1961; Dufour et ál., 1999; Trejo y Funez, 2004).

En principio, la broca sobrevive y se reproduce solamente en frutos de diferentes especies de café entre ellas *C. arabica, C. liberica y C. canephora*. Los frutos de café proporcionan alimento a todos los estadios de esta plaga, asimismo proporciona el medio necesario para su crecimiento y reproducción. Por tanto ha sido considerada como una especie monófaga; es decir que su abundancia está determinada por la disponibilidad de

frutos de café aptos para la reproducción y alimentación (Ticheler, 1,961). No obstante, Franqui y Medina (2003) mencionan que el rango de hospederos de *H. hampei* va más a allá del género *Coffea* a este insecto se le ha encontrado en vainas o semillas de *Crotalaria*, *Phaseolus* y *Tephrosia* (Fabaceae), *leucaena* (Mimosaceae), *Caesalpinia* (Caesalpiniaceae), *Hibiscus* (Malvaceae), *Rubus* y *Oxyanthus* (Rubiaceae), *Vitis* (Vitaceae) y *Ligustrum* (Oleaceae). Sin embargo, estas asociaciones han sido consideradas únicamente como alimentación casual de los adultos. Desde 1934 Sladden reportó haber encontrado posturas de *H. hampei* en los frutos de *Dialium lacourtiana.* Asimismo, Gumier-Costa (2009), reporta la presencia y reproducción de *H. hampei* en nueces de pará (*Bertholletia excelsa*) en el sureste del estado de Pará, Brasil. Esta plaga coloniza con éxito estas nueces y las utiliza como fuente de alimento.

En las zonas cafetaleras de Centroamérica ocurre una o varias floraciones principales (este comportamiento depende de la duración de época seca) en los meses de abril y mayo. Estas floraciones contribuyen al 80 o 90 % de la producción. También hay una o varias floraciones secundarias entre los meses de enero y mayo (Guharay et ál., 2000; ICAFE, 2007). Los frutos de estas floraciones se desarrollan y maduran en la época de mayor precipitación, ofreciendo refugio y alimento para las hembras de *H. hampei* que sobrevivieron en la época seca.

En la mayoría de los cafetales después de la cosecha quedan frutos en la planta y en el suelo. Estos frutos se encuentran en la zona de goteo o debajo de las plantas de café. Para asegurar su reproducción durante el período postcosecha (febrero a mayo) *H. hampei* emplea estos frutos (frutos secos, verdes, maduros). Al final de esta época, la población está conformada principalmente por adultos. Por lo general son hembras jóvenes recién fecundadas y listas para ovipositar en nuevos frutos (Guharay et ál., 2000).

Con las primeras lluvias fuertes del año (mayo-junio), las hembras salen de los frutos y vuelan hasta encontrar nuevos frutos productos de las floraciones secundarias. Los colonizan y se multiplican en ellos durante los meses siguientes (junio a agosto), afectando posteriormente a los frutos productos de la floración principal. Las poblaciones de *H.*

hampei aumentan considerablemente a partir de los 90 y 140 días después de la floración principal. Esto puede variar de acuerdo a la altura sobre el nivel del mar (Guharay et ál., 2000).

Las hembras son capaces de realizar vuelos sostenidos por varias horas. Esto significa que tienen capacidad para dispersarse de un área de café a otra por medio del vuelo. La creencia de que *H. hampei* no vuela mucho fue descartada por los experimentos de Baker (1984). Este autor, en condiciones de laboratorio, demostró que las hembras pueden volar por un período de 22 minutos en vuelos libres, 100 minutos en vuelos continuos y en sucesión de vuelos pueden volar un total de tres horas; no obstante, se piensa que son pocas las hembras que tienen esa capacidad. Se considera que esa habilidad sirve para colonizar nuevas áreas.

Esta plaga se dispersa de un lugar a otro por diferentes medios. En este sentido Franqui y Medina (2003) y Trejo y Funez (2004) hacen mención de algunas formas de diseminación: movilidad de adulto, particularmente la hembra que es la que posee la capacidad de vuelo; el tránsito de personas, animales y vehículos por zonas afectadas; mediante semilla infestada de café; el uso de pulpa sin fermentar como abono; herramientas y equipo de trabajo entre otros. Estos movimientos de los adultos obedecen a la necesidad de cubrir algunos requerimientos básicos (alimentación, reproducción-procreación y refugio).

2.2.3 Tipo de daño y pérdidas ocasionadas

Este insecto destruye tanto los frutos tiernos como las cerezas o granos maduros. Cuando *H. hampei* perfora los frutos jóvenes que aún se encuentran en estado blando-lechoso, aunque no los colonice, produce daño fisiológico, pudrición de frutos y la caída de éstos al suelo (Decazy, 1990). *H. hampei* coloniza los granos cuando éstos tienen una consistencia adecuada (20 % o más de materia seca), provocando pérdidas directas en el peso, y a la vez perjudicando las cualidades física y organolépticas del grano y afectando la calidad de la bebida debido a la presencia de micotoxinas como las ochratoxinas producidas

por *Aspergillus ochraceus* Wilh. (Ticheler 1,961; Guharay et ál., 2000; Camilo et ál., 2003; Vega y Mercadier, 1998 y Gama et ál., 2006 citados por Barrera et ál., 2008).

Aún con altas infestaciones de *H. hampei* no llegan a producirse pérdidas totales, porque el fruto está constituido por dos granos y normalmente sólo uno de éstos es afectado (Souza y Reis, 1980; Molinari, 1987 y Ochoa et ál., 1990). En este sentido se puede mencionar que las pérdidas provocadas por *H. hampei* son proporcionales al grado de infestación (Souza y Reis, 1980 y Ochoa et ál., 1990) Por otra parte Guharay et ál. (2000) destaca que aunque en algunas zonas *H. hampei* puede causar pérdidas hasta del 50 % de la cosecha, en otras zonas este insecto se ha comportado como otro individuo más dentro del sistema, sin causar grandes daños económicos.

Los resultados del estudio realizado por Ochoa et ál. (1987) demuestran que las pérdidas provocadas por *H. hampei* están influenciadas por la altitud, ellos encontraron un 34 % de pérdidas en zona de menor altitud, 32 % en zona media y un 23 % en mayor altitud; en las zonas de menor altura existen condiciones más favorables para el desarrollo poblacional de esta plaga. Méndez y Velasco (1987) coincidieron con los resultados anteriores y además agregaron que el nivel de infestación es mayor (42 hasta 68 %) en frutos producto de las primeras floraciones en comparación con los frutos obtenidos durante la floración normal (1 a 10 %).

2.2.4 Factores bióticos y abióticos que afectan la densidad poblacional de la broca del café

La densidad poblacional de las plagas en los cultivos y en particular *H. hampei* está en dependencia de las condiciones del entorno (intensidad de manejo); así como algunos factores ambientales que favorecen (reproducción y colonización) o regulan sus poblaciones (muerte y migración). En este particular, Klein et ál., (1987) menciona que las plagas pueden morir bajo el efecto de los factores bióticos y abióticos. De igual manera Decazy (1990) plantea que al planificar una estrategia de manejo de *H. hampei*, es importante conocer el comportamiento de esta plaga en las condiciones bióticas y abióticas de una plantación de café.

La temperatura ambiental es un factor que incide directamente en la duración del ciclo de vida de *H. hampei*, y por tanto determina el número de generaciones por año. En las zonas agroecológicas con temperaturas altas, el ciclo de vida es más corto, esto significa que se pueden presentar un mayor número de generaciones del insecto y por ende, mayores daños en la cosecha (Ticheler, 1961; Guharay et ál., 2000). Estudios realizados en Chiapas, México, demuestran que las mejores condiciones para el desarrollo de *H. hampei* corresponden a temperaturas que oscilan entre los 23ºC y 25ºC (Dofour et ál., 1999). Por otra parte Baker et ál. (1992) plantea que la temperatura afecta la emergencia de las hembras colonizadoras, siendo mayor su actividad con temperaturas mayores a los 20ºC; aunque también esta se relacionada con la humedad relativa.

Por su parte, el incremento de la humedad relativa en el interior de los frutos provocada por las fuertes precipitaciones, estimula la emergencia de brocas del interior de los frutos (Baker et ál., 1991; Trejo y Funez, 2004). Asimismo, una humedad excesiva causa la pudrición de los frutos que se encuentran en el suelo, en tanto la baja humedad produce un secamiento de los mismos, lo cual reduce la reproducción de esta plaga, la detiene y provoca la muerte (Ticheler, 1961; Decazy, 1990).

Aunque el insecto permanece protegido dentro del fruto, su dinámica poblacional es afectada por el comportamiento de las lluvias. Esta influencia es indirecta por medio de la planta huésped porque las floraciones y la formación de frutos están relacionadas a la cantidad y distribución de lluvia. Es decir, las precipitaciones determinan la cantidad de frutos disponibles para esta plaga a lo largo del año. Esta condición incide sobre el desarrollo de las poblaciones de este insecto (Ticheler, 1961).

En las zonas con estación seca pronunciada, las floraciones se concentran en una o dos épocas y los frutos se desarrollan casi simultáneamente, lo que significa que después de la cosecha no se encuentran frutos en las plantas; en tanto, en las zonas sin o con estación seca muy corta hay mayor cantidad de floraciones, y por ende el insecto dispone de alimento permanentemente.

Por otra parte, en años con altas precipitaciones durante el período de sazonamiento y maduración de los frutos, el incremento de las poblaciones de *H. hampei* es menor, que en años con menor precipitación durante esta etapa fenológica (Ticheler, 1961; Guharay et ál., 2000). Las hembras fecundadas pasan un período de preoviposición entre las generaciones, desplazándose entre las áreas de café en busca de frutos con la consistencia adecuada para la oviposición. Si existe presencia de abundantes lluvias durante este período, esto puede causar una alta mortalidad de las hembras fecundadas, interrupción entre los vuelos y asimismo una reducción de las poblaciones (Ticheler, 1961; Guharay et ál., 2000).

El rango óptimo de altura para el desarrollo de *H. hampei* es de 800 m a 1000 m. Por lo general, a mayor altura (1500m) esta plaga no ocasiona daños económicos (Guharay et ál., 2000). La altitud está directamente relacionada con la temperatura ambiental. En este sentido, Trejo y Funez (2004) plantean que en cafetales en zonas bajas con alturas entre los 500 y 700 m las poblaciones de esta plaga son mayores.

Otro aspecto que afecta la dinámica poblacional de *H. hampei* es la sombra en las plantaciones de café. La acción de los árboles de sombra es compleja, porque incide directamente sobre el microclima del cafetal; por un lado interrumpe la entrada de rayos solares, y reduce la temperatura ambiental y aumenta la humedad relativa por otro. Por otra parte se menciona que una sombra densa sobre los cafetales favorece la actividad del hongo parásito *B. bassiana* (Ticheler, 1961). Frecuentemente, se ha mencionado que en las plantaciones de café con sombra densa, las poblaciones de *H. hampei* son mayores en comparación con áreas de café a pleno sol.

Féliz (2003) plantea que la mayor incidencia solar causa disminución de la humedad relativa por debajo del 70 %, en las horas de la tarde tanto en las calles de las plantaciones a pleno sol como bajo sombra de madero negro (*Gliricidia sepium*). Esto se convierte en una limitante para las actividades de la hembra, ya que normalmente éstas realizan su vuelo en búsqueda de nuevos frutos para la oviposición en horas de la tarde. Este efecto es contrario (alta humedad relativa) en las calles bajo la sombra de manzana rosa (*Eugenia*

jambos), lo cual favoreció las actividades de las hembras y el aumento de las poblaciones de *H. hampei* bajo esta condición.

Un estudio, realizado por Bosselmann et ál., (2008) en Colombia, sobre la influencia de la sombra en la calidad de café y la presencia de la broca en el grano, demostró que hubo mayor presencia y afectación de *H. hampei* en los cafetales bajo sombra que en las áreas manejadas sin sombra. A la vez el estudio revela que los agentes de control natural de ésta plaga a menudo se encuentran en área con sombra densa y que probablemente no estén presentes en área con sombra moderada.

Sin embargo, en una investigación realizada en Honduras se encontró mayor incidencia de esta plaga en las áreas con sombra media, y en las plantaciones con sombra densa y sin sombra fueron menos afectadas (Ticheler, 1961; Guharay et ál., 2000)

En otro estudio en Nicaragua, no se encontraron diferencias significativas entre las infestaciones de esta plaga en áreas de café con o sin sombra (Guharay et ál., 2000). Estos autores, han recomendado analizar el efecto de la altura y de la sombra sobre las poblaciones de la broca en un contexto local, tomando en cuenta las características del cultivo de café, su fenología, rendimiento y factores de control natural.

Dentro de los factores bióticos, se pueden distinguir algunos que contribuyen al manejo de la reproducción y ecología de *H. hampei*, como la influencia del hombre, y la acción de parasitoides y depredadores que realizan control natural.

H. hampei por ser una plaga introducida, no cuenta con parasitoides nativos en los países latinoamericanos. Sin embargo, en su lugar de origen se han identificado algunos parasitoides naturales. Algunos se han introducido en los países cafetaleros (Guharay et ál., 2000). En el caso de Costa Rica, el ICAFE introdujo, durante el año 2003, 50 millones de parasitoides de dos especies *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: *Bethylidae*) y *Phymastichus coffea* LaSalle (Hymenoptera: *Eulophidae*). Otros países centroamericanos

que reportan haber realizado introducciones de estos parasitoides de la broca son: Nicaragua, El salvador, Honduras y Guatemala.

Estudios realizados en Costa Rica (Varón, 2002) y Colombia (Gallego y Ambrecht, 2005, Vélez et ál., 2002) demuestran el potencial depredador de algunas especies de hormigas (*Hymenópteras*) de la familia *Formicidae*. Por otra parte, el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* presente de manera natural, ha sido aislado, reproducido masivamente y aplicado en las plantaciones de café (Guharay et ál., 2000).

2.2.5 Manejo de la broca del café

Las prácticas que generalmente se utilizan para disminuir las poblaciones y mantenerlas por debajo del umbral de daño económico incluyen el control manual, control cultural, control biológico clásico, y control químico.

El control manual consiste en la aplicación de medidas preventivas después de la cosecha y previo a la fructificación principal, con la finalidad de eliminar los diferentes instares de *H. hampei* que se encuentran en los frutos que quedan en el suelo y en la planta. Esta reducción se realiza por medio de prácticas tales como la pepena (recolección de los frutos del suelo) y la repela (cortar los frutos remanentes en las plantas).

En cuanto al control cultural las prácticas más recomendadas son: regulación de sombra, poda de las plantas de café y control de maleza. Estas medidas se aplican con el fin de modificar el microclima que favorece la conservación de frutos remanentes especialmente los que están en el suelo y por ende el desarrollo y reproducción de *H. hampei*. Tanto la poda de las plantas del café como la regulación de la sombra permiten mayor entrada de luz y ventilación, disminuyendo la humedad relativa en las plantaciones y afectando el ciclo biológico de esta plaga. De igual manera, el control de maleza permite una mejor recolección de los frutos en el suelo y causa resequedad en los frutos por medio de la entrada de los rayos solares, causando la muerte de los diferentes estados que están dentro de los frutos.

El control biológico clásico consiste en la manipulación (crías en laboratorio y liberación) de parasitoides (*Prorops nasuta, Cephalonomia stephanoderis, Phymastichus coffea*) y del hongo entomopatógeno (*B. bassiana*), con el propósito de reducir las poblaciones de esta plaga y provocar infestación con los parasitoides para la siguiente cosecha.

El control químico consiste en la aplicación de insecticidas químicos para el control de *H. hampei,* siendo el endosulfan (*Thiodan*) el producto más utilizado. Este, en algunos casos, es considerado como una de las medidas más eficaces; sin embargo, este producto ya está prohibido en varios países, y la tendencia es su prohibición a nivel mundial. Existen efectos indirectos negativos como la contaminación ambiental, resistencia de la plaga, residuos en la cosecha y afección de la salud humana.

Una de las medidas promovidas en los últimos diez años es el uso de las trampas que capturan las hembras voladoras durante el proceso de colonización. Se ha detectado que esta plaga tiene atracción por las mezclas de etanol-metanol. Se puede capturar una cantidad significativa de hembras, pero únicamente en el período en que hay pocos frutos disponibles (Dufour, 2005; Barrera, 2004). Por otra parte Mendoza (1991) citado por Dufour (2005) fue uno de los primeros investigadores en estudiar las propiedades de la mezcla etanol-metanol para el manejo de la broca y en proponer el trampeo como una estrategia de control de esta plaga.

Mediante el uso de un número variable de trampas en las áreas de café, se ha identificado que, para fines de control, las mayores capturas de brocas ocurren en un período no mayor de cuatro meses (de marzo a junio en El Salvador) correspondiendo a la época de migración de este insecto (Dufour, 2005).

Durante el trampeo se presentan algunas limitantes relacionadas con factores externos, entre las cuales se destacan el exceso de lluvia que retrasan las migraciones de las hembras, los vientos fuertes que impiden la emergencia de la broca, asimismo el manejo del cafetal que puede influir en el vuelo de la broca entre las trampas, y por último la presencia

de frutos prematuros que atraen la broca con la misma facilidad que la trampa (Dufour, 2007).

Los resultados de las validaciones de la trampa Brocap® indican que ésta es capaz de capturar un gran número de brocas. En una de las fincas estudiadas lograron capturar un millón de hembras, con un promedio de 76,000 por trampa en 20 días. Además en las parcelas donde el trampeo se aplicó de manera minuciosa, el primer año de muestreo, el nivel de infestación se redujo en un 84.6 % en comparación a la parcela testigo. En el segundo año la reducción del nivel de infestación llegó a 87.1 % (Dufour et ál., 2005).

También Barrera et ál. (2006) concluyen que el monitoreo de la broca utilizando trampas ha permitido ampliar información sobre aspectos de su bioecología, que antes estaban ignorados o pocos conocidos. Por último estos mismos autores plantean que el trampeo ha estimulado la investigación y la aplicación de esta práctica con fines de control de la broca; no obstante, el monitoreo de la broca con el propósito de apoyar las tomas de decisiones de manejo, casi siempre se ha dejado a un lado.

En diferentes estudios (Borbon, 2007; Barrera, 2007; Dufour, 1999) se han diseñado, validado y divulgado diferentes tipos de trampas, entre las que se mencionan: la trampa fiesta (Costa Rica), ECOIAPAR (México), IAPAR (Brasil) y Brocap® (CIRAD-PROCAFÉ-El Salvador).

La trampa Brocap® utilizando un atrayente de metanol-etanol, es altamente efectiva en la captura de la broca (Barrera et ál., 2007). Esta ha sido validada en diferentes países y en varias regiones de El Salvador, donde ha sido confirmada su eficiencia. Donde han capturado varios miles de brocas por trampa por día durante el período de migración y en las regiones con altos porcentajes de infestación (Dufour, 1999, Dufour, et ál., 2002).

La trampa Brocap® en la parte de arriba consta de un embudo con amplia apertura y con aletas rojas atractivas para la broca; la forma del embudo garantiza que la broca no se escape una vez que cae en la trampa. En el centro de las aletas lleva el difusor con el

atrayente (metanol-etanol, mezcla 3:1), desde donde se liberan los efluvios. En la parte de abajo se encuentra el recipiente de captura que contiene el líquido de captura (agua) y que permite que las brocas mueran por ahogamiento (Dufour, et ál., 2002).

2.3 El potencial de las hormigas

Las hormigas en los últimos años han sido identificadas como indicadores ecológicos[1] y de biodiversidad[2]. Entre las bondades que posee este grupo de insectos, para ser usado como indicador están, su gran diversidad, alta abundancia en los diferentes ecosistemas, variedad de funciones ecológicas, respuesta rápida a cambios ambientales, facilidad de muestreo entre otras (Alonso y Agosti, 2000; Andersen, 1990; Peck et ál., 1998, citado por Arcila y Lozano, 2003). No obstante, poco se ha explorado sobre el uso de las hormigas como indicadores ambientales[3].

Entre las funciones ecológicas en las cuales participan algunas especies de hormigas, está el control natural. Algunos estudios realizados sobre hormigas (Hanson, 1991; Perfecto, 1991; Perfecto y Sediles, 1992; Varón, 2002; Armbrecht y Perfecto, 2003; Vélez et ál., 2006; Perfecto y Vandermeer, 2006; Armbrecht y Gallego, 2007 y Lomeli et ál., 2008), han fundamentado científicamente el potencial de éstas para la regulación de plagas primarias de importancia económica.

2.3.1 Diversidad y potencial depredador de las hormigas en los sistemas agroforestales de café.

En la actualidad se dispone de información sobre las comunidades de hormigas presentes en los sistemas agroforestales de café en algunas regiones cafetaleras del Valle

---

[1] **Indicador ecológico**: especie o grupos de especies que se conocen como sensitivas a la fragmentación del hábitat, la contaminación, la perturbación u otras condiciones de estrés que degradan la biodiversidad (Arcila y Lozano 2003).

[2] **Indicadores de biodiversidad**: especie, gremio o grupo seleccionado de especies, en el que su diversidad refleja alguna medida de la diversidad (como riqueza de especies y nivel de endemismos) de otros taxa en un hábitat o grupos de hábitat (Gaston y Blackburn 1995, citado por Arcila y Lozano 2003).

[3] **Indicadores ambientales**: especie o grupos de especies que responden predeciblemente, en formas que son fácilmente observadas y cuantificadas a la degradación ambiental o al cambio en el estado ambiental (Hellawell 1986, citado por Arcila y Lozano 2003).

Central y la vertiente del Caribe de Costa Rica (Benítez y Perfecto, 1989; Perfecto y Snelling 1995; Barbera, 2001); donde se destacan las especies *S. geminata* y *P. radoszkowskii,* pertenecientes a la subfamilia *Myrmicinae*.

Asimismo, se han identificado algunas especies de hormigas que actúan depredando a *H. hampei* en los diferentes estados. En el estudio realizado en Costa Rica por Varón (2002), se encontró que a nivel de laboratorio *Solenopsis geminata* depredó fuertemente a todos los estados de *H. hampei*. De igual manera, *Pheidole radoszkowskii,* ocasionó depredación a *H. hampei,* pero solamente sobre los estados de huevo y larva. A nivel de campo estas mismas especies de hormigas también depredaron a *H. hampei*, pero en menor cantidad en comparación con los resultados de laboratorio. Estos resultados posiblemente se deben al hábito generalista de estas especies; es decir, que ellas para alimentarse utilizan diversos recursos disponibles en los agroecosistemas.

Por otra parte, Vélez et ál., (2006) al estudiar el efecto depredador de las hormigas sobre *H. hampei* durante el secado del café solar en Colombia, identificaron a cuatro especies (*S. geminata*, *Dorymyrmex* sp., *Pheidole* sp. y *Mycocepurus smithii)* consumiendo estados biológicos vivos de broca. Del total de estados depredados, el 97 % correspondió a adultos, indicando que estas especies son importantes en el control de la broca durante el proceso de secado del café.

2.3.2 Características de las especies en estudio

El género *Solenopsis* pertenece a la familia *Myrmicinae* y a la tribu *Solenopsidini*. Estas hormigas se caracterizan por poseer antenas de diez segmentos y dos segmentos masas. Su color es café oscuro. Su abdomen posee dos montañitas o protuberancias. *Solenopsis* es cosmopolita con un alto número de especies presentes en Costa Rica (Longino y Hanson, 1995). *S. geminata*, es conocida como hormiga brava, presente en el país en mención. Esta especie construye grandes nidos visibles sobre el suelo en forma de montículo, se forman grandes colonias con decenas a cientos de trabajadores.

Ésta especie es más abundante en las zonas abiertas y soleadas; aunque en las tierras bajas, también penetra los sotobosques, pero en menor densidad. La abundancia en sotobosque puede relacionare con el tamaño de las poblaciones en las zonas de pasto circundantes. Además, existen evidencias anecdóticas que *S. geminata*, puede aparecer en hábitats de bosque maduro. Probablemente este comportamiento se debe también a los efectos de la fragmentación y al cambio de uso de suelo. Esta especie es considerada omnívora y generalista. Por tanto es considerada un predador beneficioso.

Por otra parte, el género *Pheidole* perteneciente a la familia *Myrmicinae* y a la tribu *Pheidolini*, se caracteriza por tener doce segmentos y tres segmentos masas. Su color es anaranjado o tirando a café. En su abdomen posee dos montañitas o protuberancias y algunas poseen una mancha negra debajo del abdomen. Esta especie, también es cosmopolita y es representada por más de 100 especies en Costa Rica (Longino y Hanson, 1995). Construye sus nidos, en el suelo, en las hojarascas, ramas muertas o vivas; es muy común y tiene hábitos muy diversos. Al igual que el género *Solenopsis*, las hormigas del género *Pheidole* son generalistas, depredadoras, pero también es frecuente encontrarlas alimentándose con néctar y cosechando algunas semillas.

2.4 Influencia del paisaje sobre la dispersión de las plagas

La intensificación de las actividades agrícolas se ha traducido en una simplificación de los paisajes, por la expansión de las tierras agrícolas y la reducción de hábitats naturales. Estos cambios se han considerado como una causa importante en la disminución de la diversidad biológica sobre todo en las tierras agrícolas (Bianchi et ál., 2006).

Estos autores mencionan en su revisión que la simplificación de la composición del paisaje y la disminución de la biodiversidad pueden afectar el funcionamiento del control natural de las plagas. Los paisajes poco complejos no proporcionan el hábitat necesario para los enemigos naturales y además es probable que el intercambio de enemigos naturales entre las áreas agrícolas y las áreas con vegetación natural se haya disminuido.

En los estudios revisados, se encontró que las poblaciones de enemigos naturales fue mayor y la presión de las plagas menor en paisajes complejos en comparación con los paisajes simples. Por otra parte, se plantea que el aumento de los enemigos naturales se asocia con los tipos de vegetación circundante. El 80 % de los controladores naturales se encontraban en barbechos o en los bordes, y a menudo en los hábitats forestales (71 %) y paisajes agregados (70 %). Esto significa que todos los elementos del paisaje son importantes en la recuperación de las poblaciones de controladores naturales. Por lo tanto, se concluye que la diversificación de los paisajes puede contribuir a la conservación de la diversidad biológica y al control de plagas.

En los paisajes donde la matriz es dominada por cultivos agrícolas existe pérdida de diversidad biológica, y hay una baja interacción con hábitats naturales que son fuentes potenciales para las especies inmigrantes. La dinámica poblacional de estas especies dependen de la relación: número de plantas posibles para alimentarse/ distancias a éstas en el paisaje. En los paisajes agrícolas, las distancias a los recursos pueden hacerse largas para ciertos organismos (por ejemplo los parasitoides), de acuerdo a su capacidad de dispersión, afectando así negativamente su dinámica poblacional (Tscharntke y Brandl, 2004).

En la ciudad de Göttingen, Alemania, se realizó un estudio sobre la interacción del escarabajo de polen *Meligethes aeneus* (Coleoptera: *Nitidulidae*) y su parasitoide la avispa Hymenoptera: *Ichneumonidae*, en cultivo de oleaginosas. Los adultos de esta plaga se alimentan de polen e inhiben el desarrollo de las semillas y las vainas, lo que conlleva a daños económicos importantes. En la zona de estudio la estructura del paisaje era dominada por cultivos anuales, pero dentro de éste había parches intercalados, formados por una mezcla de praderas, barbechos, bosques y otras áreas no cultivadas. Se encontró que a mayor porcentaje de tierra cultivable en el paisaje, más compactas eran las zonas cultivadas, implicando dificultades para la inmigración de las especies benéficas por su aptitud de dispersión limitada. Al contrario, cuando el porcentaje de tierra cultivable disminuía, eso implicaba parcela más pequeñas, con mayores distancia de contacto entre diferentes usos de suelo, y más facilidades de movimiento del parasitoide. El resultado es

que el escarabajo producía mayores daños en paisajes donde predominaban áreas extensas de cultivos (Thies y Tscharntke, 1999) (Figura 2).

Las influencias antropogénicas, los factores abióticos y los bióticos, son fundamentales para conformar la dinámica y la diversidad de los patógenos en los paisajes forestales. La propagación y la expresión de los patógenos están influenciadas por las características del paisaje y por los patrones de la vegetación. Estas a su vez también pueden incidir en los patrones de paisaje (Holdenrieder et ál., 2004). Por ejemplo en el sureste de Alaska hubo áreas donde el cedro amarillo-*Chamaecyparis nootkatensis* fueron afectadas por patógenos; ahí la frecuencia de deslizamiento de tierra fue 3,8 veces mayor que en las áreas donde no afectó. Esto significa que los árboles de cedro no afectados protegieron contra los deslizamientos.

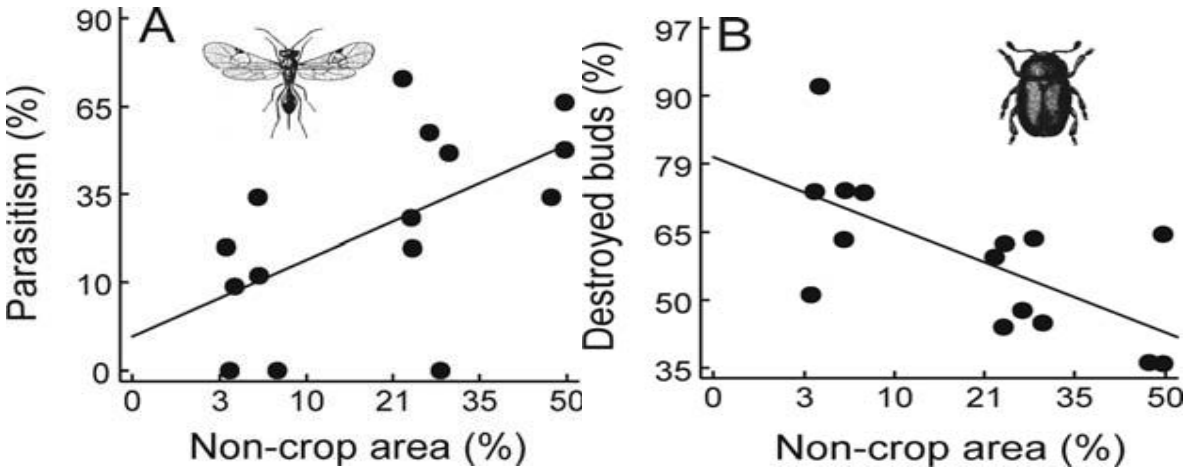

Figura 2. (a) Porcentaje de parasitismo (avispa) o (b) porcentaje de yemas destruidas por el escarabajo del polen, y su relación con el porcentaje de área de no cultivos en un sector circular de 1,5 km de diámetro alrededor de la parcela experimental. Según Thies y Tscharntke (1999), modificado por Schmidt et al., 2004.

Otro ejemplo importante que destaca el efecto del paisaje es el estudio realizado por Condeso y Meentemeyer (2007). Ellos analizaron los efectos de la heterogeneidad del paisaje sobre la afectación por *Phytopthora ramorum* en árboles de robles (*Quercus spp)* en la costa oeste de las Estados Unidos. La configuración del paisaje a escala local como la composición del hábitat está relacionada con la severidad de esta enfermedad. Esta depende de la cantidad de bosque circundante y de la escala espacial de la observación. No hubo efecto a pequeñas escalas (menor a 50 m), pero el efecto aumentó gradualmente hasta la escala de 200 m.

Por otra parte Ricketts (2004) demostró la influencia del contexto paisajístico sobre los insectos polinizadores en un paisaje cafetalero de Costa Rica. La riqueza de abejas, la cantidad de visitas que éstas hacen a las flores del café y el depósito de polen eran mayores en sitios que estaban cercanos al bosque (menos de 100 metros de distancia) comparando con sitios que se encontraban lejos del bosque (hasta 1.6 km de distancia). Además, se observó que existe una correlación entre la polinización y la producción de los cafetales. Ricketts et ál. (2004) documentaron que los polinizadores que se encuentran en fragmentos de bosque a 1km a la redonda de las fincas incrementan la productividad hasta un 20% y calcularon que el servicio ambiental de polinización de dos fragmentos de bosque (46 y 111 ha, respectivamente) era de $62,000 dólares por año.

Otro estudio realizado por Perfecto y Vandermeer (2002) en el sureste de México, puso de manifiesto el efecto de la calidad de la matriz del paisaje sobre las poblaciones de hormigas en parches de bosques y en dos sistemas agroforestales de café (convencional con poca sombra, orgánico con sombra densa). En los parches de bosque encontraron que el número de especies de hormigas en los parches de bosques variaron entre 14 y 43. Se detectó que la riqueza de hormigas no fue significativamente diferente entre los fragmentos de bosques y la matriz de alta calidad (sistemas agroforestales de café con manejo orgánico). No obstante, la matriz de menor calidad (sistemas agroforestales de café con manejo convencional) si presentó diferencia significativas al ser comparada con los bosques. En cambio en ambas fincas de café hubo disminución de las especies de hormigas a mayor distancia de los parches de bosque. La disminución fue mayor en el sistema

convencional. Estos resultados indican que la calidad de la matriz agrícola influye directamente en la conservación y diversidad de hormigas.

De igual manera, Rodríguez y Enríquez (2001) en su estudio sobre la diversidad y riqueza de hormigas en sistemas silvopastoriles y un bosque seco en el Valle del Cauca de Colombia; encontraron diferencias entre los sistemas agropecuarios y los fragmentos de bosque. Los resultados mencionan que el bosque tenía los valores más altos de riqueza y diversidad de especie (índice de Shannon) en comparación con los sistemas silvopastoriles. Asimismo, observaron que en los sistemas silvopastoriles hay una clara dominancia de unas pocas especies de hormigas, en tanto en el bosque hay una distribución más equitativa. Estos resultados indican que el manejo de los ecosistemas influye directamente en las comunidades de hormigas. También, se debe recalcar que el cambio de usos (conversión de bosque a pastura) tiene un impacto negativo sobre la biodiversidad.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el cantón de Turrialba. Este se ubica dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), Costa Rica, en las coordenadas geográficas 9^0 52' latitud norte y 83^0 38' longitud oeste.

La altitud varía desde los 600 hasta los 1400 m. La precipitación anual fluctúa entre 1000 mm y 3000 mm, siendo el promedio de 2,600 mm. Esta se distribuye casi en los doce meses del año. La humedad relativa tiene un promedio de 85%. La temperatura ambiental varía entre 24 y 29^0C.

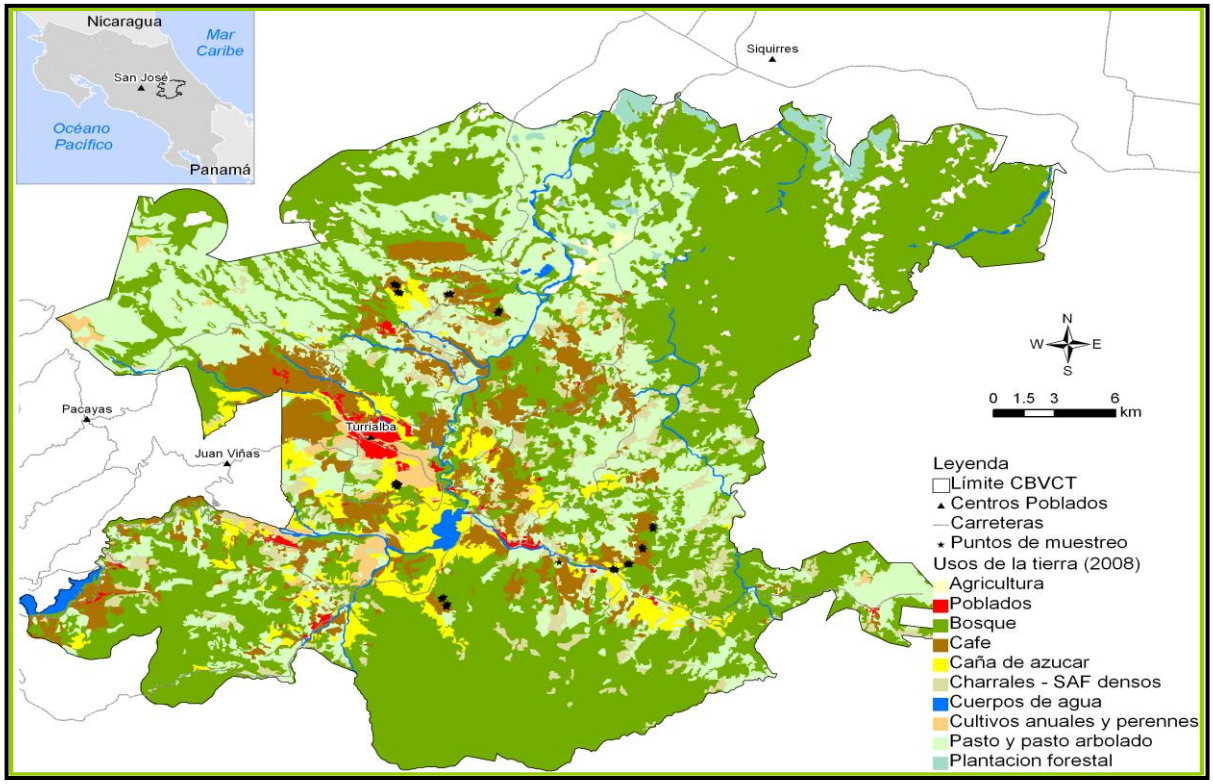

Figura 3. Mapa de usos de suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica 2009.

3.2 Proceso de selección de las fincas y características principales de las parcelas seleccionadas

Se seleccionaron fincas de café que tenían usos de suelo diferentes en su borde. Priorizando los usos caña, pasto o bosque, por ser los más dominantes dentro del paisaje del CBVCT. Se realizó una selección preliminar de los sitios tomando como referencia el mapa de uso de suelo del CBVCT, posteriormente en campo se realizó la selección definitiva asegurando que los criterios observados en el mapa se mantuvieran en el campo. De esta manera fueron seleccionados seis fincas de café; dos fincas con los usos caña y bosque[4] en su perifirie; dos con los usos pasto y bosque, y dos con pasto y caña (Figura 4). Al final se obtuvieron cuatro sitios de café adyacentes a caña, cuatro adyacentes a bosque y cuatro aledaños a pasto, para un total de 12 sitios evaluados en seis fincas diferentes.

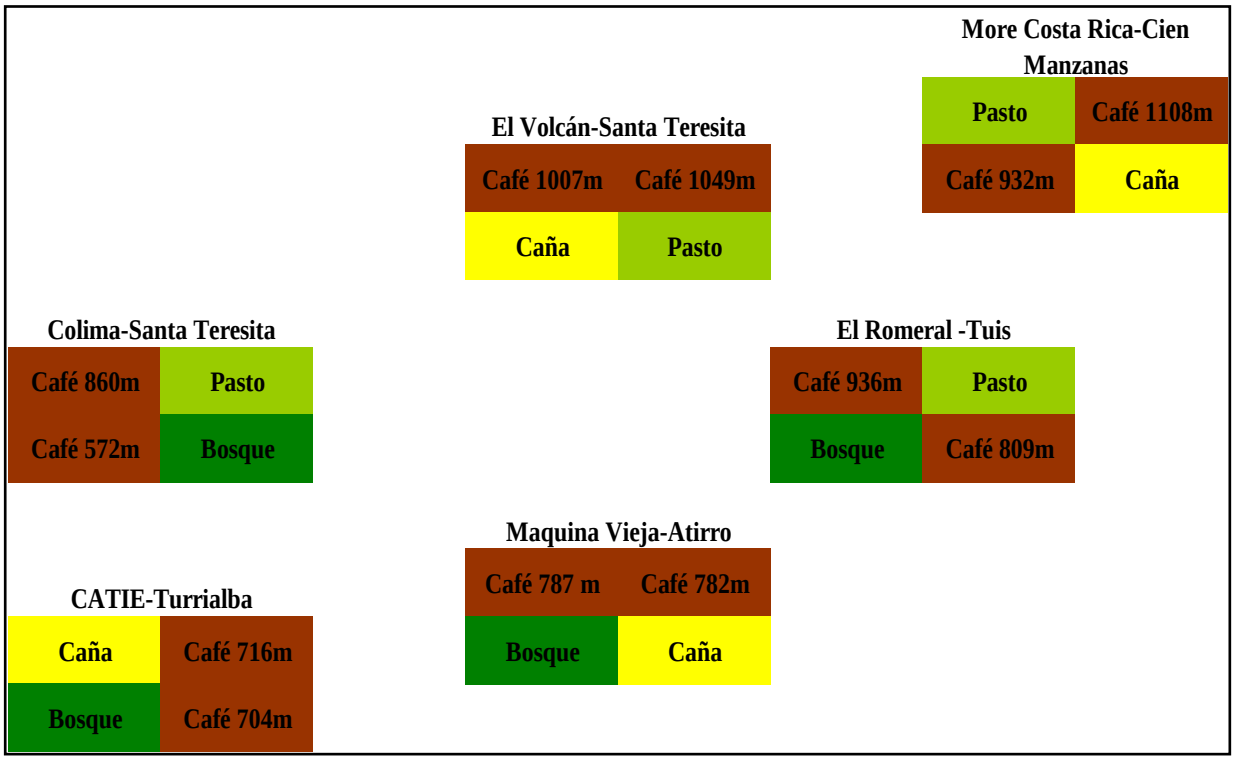

Figura 4. Representación de las parcelas de café seleccionadas, la altitud y los usos de suelo colindante, situadas en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

[4] Para ésta investigación se define bosque como un sitio poblado por un conjunto de árboles con abundancia desordenada, aquí también se encuentra otra vegetación menor, tales como arbustos, helechos, hongos, palmas, entre otros (tomada y adaptada de la Real Academia Española).

Las características de las fincas y parcelas seleccionadas son las siguientes:

a) La finca **Maquina Vieja** se ubica en el poblado de Atirro a 770 m de altitud. En esta finca se seleccionaron dos lotes de café con uso de bosque en su borde y caña para el otro. El lote de café adyacente a bosque tiene un área de 6.6 ha con una densidad de 5,000 plantas de café por ha (distancia de siembra 2 x 1 m). La variedad de café es caturra (*Coffea arabica*). La plantación tiene de 8 años de haber sido establecida. Las plantas de café ubicadas sobre el borde (adyacente al bosque), presentaban afectación de ojo de gallo (*Mycena citricolor*), y también tenían menor producción de frutos.

El lote de café adyacente a caña, tiene un área de 3.5 ha, con la misma densidad poblacional y distancia de siembra que el lote anterior. No obstante, difieren en edad; este lote tiene 15 años. Aquí también predomina la variedad caturra (*C. arabica*), aunque es común encontrar plantas de café dispersas de la variedad catuaí amarillo (*C. arabica*). Las plantas del área en estudio presentaban buen desarrollo desde el borde (adyacente a caña) hasta el centro de la parcela, la presencia de otras enfermedades era baja.

Ambos lotes de café están en asocio con musáceas (plátano: *Musa paradisiaca*), con una densidad de 1500 plantas por hectárea, sembrado a 3.3 x 2 m con una planta por sitio, considerándose una densidad intermedia. En el lote de café-bosque la sombra varió entre el 10 y 13 %, en cambio en lote café-caña su distribución estuvo entre el 9 y 12 %.

Esta finca tiene un nivel medio de tecnificación (finca semitecnificado). Se realizan podas cíclicas en las plantas de café; la última poda se realizó en enero del 2009. También, se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, una de fórmula nitrogenada y otra completa en el mes de marzo. El control de malezas es manual.

El porcentaje de infestación de broca lo identifican en el beneficio cuando se hacen las primeras entregas de la cosecha, entre los meses de junio y julio. El método de control de la plaga se basa principalmente en el control químico, el cual consiste en una aplicación de endosulfan (*Thiodan*) realizado a finales de marzo. No se realiza el control manual para

el manejo de las poblaciones de broca (repela, graniteo y pepena), tampoco utilizan el trampeo.

Durante el período del estudio no se reportó aplicación de *B. bassiana* en los lotes utilizados. La floración principal se presentó en la primera semana de marzo del 2009 y se contabilizaron cinco floraciones locas o secundarias desde la instalación hasta el retiro de las trampas. La cosecha del ciclo 2008-2009, inició después del 15 de mayo y finalizó el 23 de diciembre.

La matriz del paisaje de esta finca está dominada por el uso de café asociado con plátano (*M. paradisiaca*); aunque se encuentran parches de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y fragmentos de bosque secundarios de fincas aledañas (Ingenio Atirro).

La vegetación del bosque es dominada por árboles que van desde los 2 hasta los 20 m de altitud. Los árboles mayores a los 20 m de altura se encuentran en menor proporción. La apertura del dosel está entre 7 y 11 %. Cabe señalar que se encontraron plantas de café en diferentes puntos del bosque, aunque estas planas no logran producir frutos posiblemente por el exceso de sombra

El área de caña adyacente al lote de café es de 1 ha. Esta en su parte norte colinda con bosque. No fue cosechada mientras duró el estudio.

b) La finca del **CATIE** se ubica en la localidad de Turrialba. Se sitúa a 630 m de altitud. Aquí se seleccionaron dos lotes de café que tenían adyacente los usos bosque y caña. El lote de café vecino al bosque tiene un área de 1.54 ha. En tanto el lote de café vecino al uso caña tiene un área de 2.42 ha. Ambos lotes tienen una población de 5,000 plantas/ha (distancia de siembra 2 x 1 m), la variedad cultivada es Caturra (*C. arabica*) y las plantaciones tienen 25 años de haber sido establecidas. En general, en ambos lotes, las plantas de café presentaban buen desarrollo. Al final del estudio en el lote de café adyacente al bosque se observó afectación de mal de hilachas (*Pellicularia koleroga*) sobre todo en las plantas adyacentes al borde del bosque.

La especie de sombra que predomina es el poró (*Erythrina poeppigiana*) sembrado a 6 x 6 m; aunque también se encuentran algunos árboles dispersos de macadamia (*Macadamia ternifolia*). El porcentaje de sombra del lote de café adyacente a bosque es bastante homogéneo (entre 15 y 18 %). En cambio, en el lote de café adyacente a caña la sombra es más heterogénea, el porcentaje de sombra varía del 4 hasta 16 %.

El manejo de la finca es semi-tecnificado. En este año sólo se realizaron podas sanitarias en el mes de marzo. Se aplican dos podas en los árboles de sombra, la primera es fuerte y es realizada en el mes de enero, y la segunda en el mes de junio. No se realizaron aplicaciones de fertilizante al suelo, únicamente se efectuó una aplicación de fertilizante foliar. El manejo de malezas es químico. Se realizan cuatro aplicaciones de herbicidas al año.

Las evaluaciones del nivel de infestación se realizan únicamente en el beneficio. Los porcentajes de infestación de *H. hampei* han sido variables. Para el año 2007 se reportó un 8.5 % de infestación y para el año 2008 bajo a 4.5 %. Para su manejo, se hicieron aplicaciones químicas de endosulfan (*Thiodan*) en el mes de marzo del presente año. A partir del mes de mayo 2009, se establecieron 20 trampas fiesta por ha, pero, éstas no fueron revisadas continuamente. No se realizan prácticas manuales (pepena, repela, graniteo) para reducir las poblaciones de broca, tampoco aplican *B. bassiana*, ni liberaciones de otros parasitoides de *H. hampei*.

La floración principal se presentó en el mes de enero del 2009 y se contabilizaron diez floraciones secundarias entre diciembre 2008 y mayo 2009. La cosecha del ciclo 2008-2009, inició en junio del 2008 y finalizó en la última semana de diciembre del mismo año.

El contexto paisajístico de esta finca está dominado por sistemas agroforestales de café, cultivo de caña, algunas áreas de pasto y un fragmento de bosque secundario. El área de caña del estudio es de 2.10 ha. Esta fue cortada y quemada el 17 de marzo. El área de bosque es de 27.9 ha. Se trata de un bosque secundario con una estructura vertical heterogénea. La cobertura de la vegetación presente es dominada por especies de árboles

que van desde los 2 hasta los 20 m de altura; la apertura del dosel es variable, desde 11.1 hasta 24.3 %. En el área de bosque, se identificaron plantas de café.

c) La finca **Colima** tiene un área de 104 ha de café, se encuentra en la localidad de Santa Teresita, a una altitud de 880 m. En esta finca se seleccionaron dos lotes de café colindante con bosque y pasto. El lote de café vecino a bosque tiene un área de 11.5 ha. En cambio el lote adyacente al uso pasto tiene 8.2 ha. La edad de las plantaciones era de 20 y 25 años, respectivamente. Ambos tenían una población de 4000 plantas/ha (distancia de siembra 2 x 1.25 m), la variedad predominante era Caturra (*C. arabica*). En general las plantas del lote café colindante con bosque presentaban buen crecimiento y desarrollo; aunque al final del estudio algunas plantas cercanas al bosque tenían afectación de ojo de gallo (*M. citricolor).* Por su parte las plantas del lote de café adyacentes fueron eliminadas al final del estudio.

La especie utilizada para sombra en el lote de café-bosque era el poró (*E. poeppigiana*) a una densidad de 25 árboles por ha, y el porcentaje de sombra varió entre el 27 y 35 %. En tanto la especie de sombra utilizada en el lote de café-pasto era la guayaba (*Psidium guajava*); con porcentaje de sombra que varió entre un 7 y 11 %.

El manejo de la plantación es semi-tecnificado. La poda de las plantas de café es de tres ciclos. Se realizaron dos poda de los árboles de sombra, la primera semana de enero y la segunda en julio del 2009. También, se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, una de fórmula completa y nitrogenada (entre los meses de febrero y agosto). El control de las malezas es químico, se realiza una aplicación al año, en el mes de febrero.

Para el año 2007 en ambos lotes se reportó un 7.9 % de infestación y un 4.2 % para el año 2008, está información fue obtenida en las evaluaciones en el beneficio. Para el manejo, aplicaron endosulfan (*Thiodan*), entre los meses de mayo y junio. No aplican trampeo, aunque si realizan el graniteo sanitario. En el año 2007 se realizaron aplicaciones de *B. bassiana*, en ambos lotes. No reportan aplicaciones de parasitoides.

La floración principal se presenta en marzo; pero también hubo cuatro floraciones secundarias. La cosecha del ciclo 2008-2009, se inicio en julio del 2008 y finalizó el 19 de enero del 2009.

En ésta localidad la matriz del paisaje esta dominada por sistemas agroforestales de café, fragmentos aislados de bosque, cultivo de caña y pequeñas áreas de pasto. El área de bosque es de 10 ha. Es un bosque secundario heterogéneo, donde la vegetación está compuesta por estratos que van desde los 2 m hasta los 30 m de altura. La apertura del dosel varió entre un 16 y 18 %. Anteriormente, se producían plantas ornamentales (*Dracaena marginata).* No se encontraron plantas de café en el bosque. En la parte oeste al lote de café-bosque se ubica paralelamente un microcuenca.

Por su parte el lote de pasto tiene un área de 1 ha, en su parte este colindan pequeñas áreas de café y pasto, y en la parte oeste y norte prevalecen áreas de pasto. En el pasto existen árboles dispersos de guayaba (*Psidium guajava*).

d) La finca **El volcán** está ubicada en la localidad de La Fuente jurisdicción de Santa Teresita. Se sitúa a 1057 m de altitud y tiene 50 ha de café aproximadamente. En esta finca se seleccionaron dos lotes de café colindante a los usos caña y pasto. El lote de café colindante a pasto tiene un área de 2 ha; la edad de la plantación es de 7 años y la variedad predominante es catuaí (*C. arabica*). En cambio el lote adyacente a caña tiene un área de 4 ha y tiene 15 años de haber sido plantada. En este lote hay plantas de la variedad Caturra y Costa Rica 95 (*C. arabica).* Ambos lotes tienen una población de 4,900 plantas por ha (distancia de siembra 2 x 1 m). En general, las plantas de café tenían buen desarrollo y producción. La sombra es proporcionada por la una sola especie el poró (*E. poeppigiana*). Los porcentajes de sombra en ambos lotes de café vario entre el 8 y 12 %.

El manejo de la finca es semi-tecnificado. En este año se realizaron podas sanitarias en mayo en el lote de café-caña y en julio en el lote de café-pasto. La poda de los árboles de sombra se realizó en el mes de junio. Se hizo una aplicación de fertilizante completo en el mes de julio. El manejo maleza es manual y químico, realizándolo en el mes de mayo y

julio respectivamente. No llevan registros de infestación por año, aunque reportan bajos porcentajes de infestación de broca. No han realizado aplicación de *B. bassiana* ni liberación de parasitoides.

La floración principal se presentó en el mes de mayo y se contabilizaron cuatro floraciones secundarias. La cosecha del período 2008-2009 inició en el mes de agosto del 2008 y finalizó en el mes de marzo del 2009.

La matriz del paisaje es dominada por actividades agropecuarias, donde realzan los usos caña, café y pasto principalmente. El área de pasto seleccionada es de una ha, a 150 m en dirección sur, este y oeste están ubicadas otras áreas café. En tanto el área de caña es de 10 ha aproximadamente. Esta fue cortada y quemada el 20 de abril.

c) La finca **More Costa Rica** está ubicada en la localidad de Cien Manzanas. Se encuentra situada a 1,161 m de altitud y tiene 105.39 ha de café. En esta finca se seleccionaron dos lotes de café que colindaban con los usos caña y pasto. El lote de café colindante con pasto tiene un área de 10.5 ha y el lote adyacente a caña tiene un área de 15.4 ha. Ambos lotes tienen una densidad poblacional de 4900 plantas de café por ha (distancia de siembra 2 x 1 m). La variedad que prevalece es Caturra (*C. arabica*) y la edad de las plantaciones es de 16 años.

La sombra se compone de dos especie, el poró (*E. poeppigiana*) y el laurel (*Cordia alliodora*), siendo más predominante la primera especie. Existen de 42 árboles (mezcla de las dos especies) por ha. La distribución de la sombra es homogénea (entre 23 y 26 %). En ambos lotes las plantas de café presentan buen desarrollo.

El manejo del área de café es semi-tecnificado. Se aplican podas de tres ciclos a las plantas de café (entre los meses de febrero y mayo). La poda de los árboles de sombra se realizó en marzo. Únicamente se realizó una aplicación de fertilizante foliar en el mes de julio. El manejo de maleza es manual. Existe abundante hojarasca sobre la calle de los cafetos.

No tienen registros de los porcentajes de infestación de broca. Su manejo se basa principalmente en aplicaciones químicas de endosulfan (*Thiodan*). No hay aplicación de prácticas manuales para el manejo de las poblaciones, ni aplican trampeo. Durante el año 2008 se realizaron aplicaciones de *B. bassiana* en los dos lotes. No se reportan aplicaciones de parasitoides.

La floración principal se presentó en el mes de marzo y se presentaron cinco floraciones secundarias. La cosecha del período 2008-2009 inició en el mes de julio del 2008 y finalizó en la segunda semana de febrero (12 de febrero).

La matriz del paisaje es dominada por actividades agrícolas, donde realzan los usos caña, café, pasto y algunos parches de bosque riparios. El área de pasto seleccionada es de 2 ha, a 200 m en dirección este se ubican otras áreas café. El área de caña utilizado es de 4 ha aproximadamente.

f) La finca **El Romeral** se ubica en la localidad de Tuis, a una altitud de 924 m. En ésta finca se seleccionaron dos lotes de café adyacente a los usos bosque y pasto. El lote de café colindante con bosque tiene un área de 12 ha con una densidad población de café de 3600/ha (distancia de siembra 2.2 x 1.25 m). La plantación tiene más de 35 años de haber sido establecida. En tanto el lote adyacente a pasto tiene un área de 7 ha con una población de plantas de café de 3900/ha (distancia de siembra 2 x 1.25 m). La plantación tiene 24 años de edad. En ambos lote se cultiva la variedad Caturra (*C. arabica).* La especie que utilizan para sombra es el poró (*E. poeppigiana*), está sembrado a una distancia de 8 x 8 m. El porcentaje de sombra tanto en el lote café-bosque como el lote café-pasto es bastante homogéneo, este varió entre 11-12 % y 8 -9% respectivamente.

El desarrollo y crecimiento de las plantas de café en ambos lotes era heterogéneo. Las plantas de café ubicadas al borde del bosque, presentaban poco desarrollo, baja producción y estaban afectadas por ojo de gallo (*M. citricolor).* En tanto las plantas del lote café-pasto presentan un desarrollo y producción desigual, y principalmente sobre el borde del uso adyacente.

El manejo del área de café es semi-tecnificado. Se aplicó una poda sanitaria (eliminación de plantas enfermas y de baja productividad). La poda de los árboles de sombra es una vez al año. Ambas podas se realizaron en el mes de marzo. En éste mismo mes se aplicó fertilizante de la siguiente manera: en el lote de café-bosque se aplicó fertilizante nitrogenado a todas las plantas y el fertilizante completo sólo a las plantas que tenían producción. En cambio en lote de café-pasto la aplicación de nitrógeno y completo fue generalizada. Para el manejo de maleza se realizó una chapia y dos aplicaciones de herbicida. En el lote café-bosque existe abundante hojarasca sobre la calle.

En ambos lotes el nivel de infestación en el año 2007 fue de 8 % y en el año 2008 se redujo a 5 %. Su manejo se basa principalmente en la aplicación química de endosulfan (*Thiodan*); esta se realizó en el mes julio. No aplican prácticas manuales (pepena, repela y graniteo), ni trampeo. Durante el ciclo 2007-2008 realizaron aplicación de *B. bassiana* en toda la finca. No reportan la liberación de otros parasitoide.

La floración principal se presentó en mayo y se contabilizaron seis floraciones secundarias. La cosecha del período 2008-2009 inició en el mes de julio del 2008 y finalizó en la segunda semana de enero.

La matriz del paisaje es dominada por actividades agropecuarias, donde prevalecen los usos caña, café, pasto y bosque. El área de pasto seleccionada es de 2.5 ha, tiene algunos árboles dispersos de guayaba (*P. guajava*). También existe una quebrada que divide al lote en dos parcelas. El área de bosque es de 2 ha aproximadamente. Es un bosque altamente intervenido donde predominan especies helíofítas. La cobertura vegetal la conforman árboles que van desde los 2 m hasta los 20 m de altura. La apertura del dosel varía entre 24 hasta 26 %. Dentro del bosque no se encontraron plantas de café.

3.3 Metodologías

3.3.1 Dispersión de la broca del café H. hampei de acuerdo al contexto paisajístico.

3.3.1.1 Diseño de campo para el monitoreo de la broca.

Para conocer la cantidad de broca que emigra de los sistemas agroforestales de café hacia los usos de suelo adyacentes y la capacidad de dispersión de esta plaga se utilizó la trampa conocida como trampa Brocap® (Dufour, 2007). El atrayente utilizado es una de las mezclas más atractivas (metanol-etanol proporción 3:1) para la broca.

El establecimiento de las trampas estuvo determinado por la cosecha de café, debido a que la mayor dispersión de este insecto se presenta en el período poscosecha (Dufour, 2002). Por lo tanto, en las fincas que finalizó la cosecha en diciembre la recolección de datos se inició en enero del 2009, en tanto en las fincas que la cosecha terminó en enero y febrero 2009; la instalación de las trampas se inicio en los meses de febrero y marzo del mismo año (Cuadro 2).

Cuadro 2. Instalación del trampeo de broca en doce lotes de café, ubicados en seis fincas de café del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

Finca	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Días de trampeo	Nº de muestreo
Maquina Vieja	20 enero	08 julio	170	15
CATIE	21 enero	10 julio	171	15
Colima	19 marzo	22 julio	126	12
El Volcán	24 febrero	22 julio	149	14
More Costa Rica	18 febrero	17 julio	150	13
El Romeral	02 marzo	20 julio	140	12

En cada una de las combinaciones de usos (café-caña, café-bosque y café-pasto) se ubicaron tres transectos de 180 m de largo. La distancia varió entre 30 y 40 m entre cada transecto. Ésta distancia entre transectos garantizó la independencia entre los datos porque los efluvios del difusor o atrayente tienen un radio de acción inferior a 12.5 m (Dufour y Frérot, 2007).

En cada transecto se ubicaron 18 trampas, a 10 m de distancia entre trampa y a una altura de 1.2 m entre el difusor y el suelo (Figura 5). En las áreas de café se ubicaron 4 trampas, hasta 30 m dentro del cafetal y las 14 restantes se dispusieron a lo largo del transecto ubicado en los usos adyacentes (caña, pasto o bosque) hasta los 140 m dentro del uso de suelo adyacente. Es decir, habían 54 trampas por cada combinación, 108 por finca, para un total de 648 trampas en las seis fincas. El tamaño del área experimental fue de 110 x 60 m en las fincas del CATIE y Maquina Vieja, y de 90 x 60 m en las demás fincas (El Romeral, More Costa Rica, El Volcán y Colima).

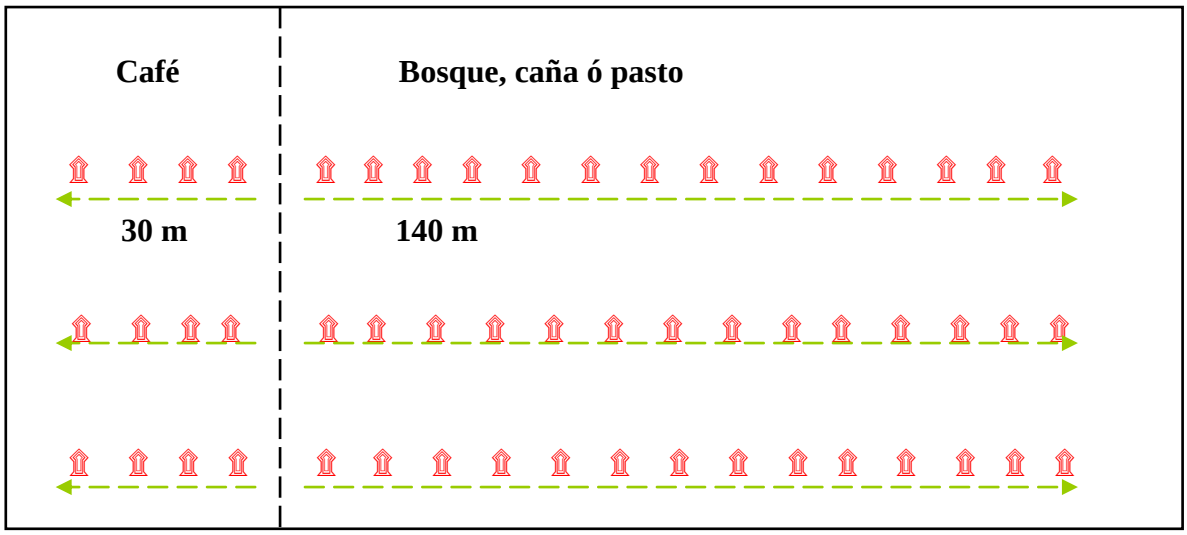

Figura 5. Representación gráfica de la ubicación de las trampas dentro de los lotes de café y en los usos adyacentes evaluados, en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

Las trampas ubicadas tanto en pasto como en caña se amarraron a estacas de bambú, en cambio las trampas en café y bosque se colgaron de ramas libres de follaje para facilitar la llegada de la broca. En el momento que se retiraban los recipientes de captura, también se le hacia mantenimiento a la trampa para dejar libre el cono de captura. Además se

cambiaban los difusores con bajo contenido de atrayente; es decir, durante todo el período del estudio se garantizó la presencia del atrayente en los transectos. El recipiente de captura contenía una solución acuosa e hipoclorito de sodio al 2% para evitar la descomposición de los insectos capturados (Dufour et ál., 2000).

La recolección y revisión de los recipientes de captura se realizó entre 8 y 16 días. Esta variación estuvo influenciada por las lluvias; en la época con mayores precipitaciones el período de recolección de trampas se amplió porque las capturas eran menores. Aproximadamente cada mes se realizaron tres recolecciones, para un total de 12 o 15 muestreos por finca en los seis meses de trabajo de campo (Cuadro 2). Los conteos de los individuos capturados se realizaron de forma manual. Ninguna trampa capturó más de 1,000 individuos en un solo muestreo.

3.3.1.2 Prueba de difusores

Para conocer la cantidad de efluvios emitida por los difusores, se realizó una prueba de difusores en los tres usos de suelo (bosque, caña y pasto) y dentro de las áreas de café. Se ubicaron difusores con 20 ml en la finca del CATIE en ambas combinaciones (café-bosque y café-caña) y More Costa Rica en una combinación (café-pasto). En el caso de la finca de CATIE los difusores se tiraron después de los 53 días y en la otra finca a los 50 días.

Posteriormente, en laboratorio se calculó la cantidad de efluvios emitidos, haciendo la diferencia entre la cantidad de mezcla inicial y la cantidad final. Luego se identificó el promedio de efluvios emanados por difusor por día. Al final se transformaron los resultados (promedio en ml) a mg. Esta transformación se obtuvo multiplicando el volumen de mezcla por la densidad de los componentes (metanol y etanol).

3.3.1.3 Caracterización de las áreas de bosques

Con el fin de ayudar a la interpretación de los resultados, se caracterizaron las cuatro áreas de bosques en estudio. La metodología fue la siguiente:

Estructura vertical de los bosques: se estimó la heterogeneidad de la estructura vertical por medio del cálculo del índice de Thiollay (1992), tomando en cuenta la cobertura de vegetación de varios estratos, desde el sotobosque hasta el dosel superior. Los datos para el cálculo de este índice se obtuvieron de parcela pequeñas de 5 x 5 m. Por cada transecto de trampeo se ubicaron siete parcelas, siendo las trampas a 10, 30, 50, 70, 90, 110 y 140 m dentro del bosque donde se tomaron los datos. En el centro de cada parcela donde se ubicaba la trampa, se estimaba el porcentaje de vegetación de cinco estratos: a) 0-2 m, b) 2-9 m, c) 10-20 m, d) 20-30 m, y e) > 30 m. La altura se estimó de manera subjetiva, usando una escala simple con valores de 0, 1, 2 y 3, si el porcentaje era de 0, 1-33, 34-66 y 67-100 respectivamente.

Cobertura del dosel: utilizando un densiómetro esférico se estimó la cobertura del dosel en los tres transectos y en todos los puntos donde se ubicaban las trampas; es decir cada 10 m. Para cada punto se realizaron cuatro mediciones dirigidas hacia los puntos cardinales. El valor de cobertura reportado por sitio corresponde al promedio de las cuatro mediciones.

3.3.1.4 Diseño y análisis estadísticos

Para el análisis estadístico de la dispersión de broca, se seleccionaron 10 muestreos por finca, tomando en cuenta los picos de capturas por cada una. Estos diez muestreos corresponden a los meses entre febrero a julio (Cuadro 3). Aunque las fechas no sean las mismas entre los muestreos y las localidades, es importante señalar que los muestreos analizados corresponden al período poscosecha. Es en este momento la broca realiza los movimientos de dispersión (Barrera et ál., 2004; Dufour et ál., 2007).

Cuadro 3. Muestreos seleccionados para el análisis de varianza en seis fincas de café del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. Las estrellas rojas (*) indican picos de captura de broca.

Muestreo	Maquina Vieja		CATIE		Colima		El Volcán		More Costa Rica		El Romeral	
	Fecha	Días	Fecha	Días	Fecha	Días	Fecha	Días	Fecha	Días	Fecha	Días
1	29ene	10	30ene	11	3abr	16	23mar	11	6mar	15	16mar	15
2	10feb	10	7feb	9	17abr	15	3abr	11	18mar	12	31mar	15
3	20feb	13	20feb	13	27abr	10	17abr	15	30mar	12	14abr	14
4	6mar	14	4mar	13	7may	*10	27abr	10	13abr	14	23abr	9
5	18mar	*12	17mar	*13	20may	13	7may	*10	23abr	*10	4may	*11
6	31mar	13	30mar	13	29may	9	19may	13	5may	12	15may	11
7	14abr	14	13-abr	14	8jun	10	29may	10	13may	8	27may	12
8	24abr	10	23-abr	14	19jun	11	8jun	12	25may	12	5jun	9
9	5may	12	4may	10	3jul	14	19jun	12	3jun	9	17jun	12
10	14may	10	15may	11	15jul	12	3-jul	14	19jun	16	26jun	10

ene: enero; feb: febrero; mar: marzo; abr: abril; may: mayo; jun: junio y jul: julio

Para conocer el efecto de los usos de suelo adyacentes y la distancia sobre la dispersión de la broca se utilizó los modelos lineales generales y mixtos, en un diseño en bloque incompleto al azar (Casanoves, 2009 com. per.; Di Rienzo et ál., 2009). Donde la variable respuesta fue el valor central (mediana) del número de broca capturada por cada distancia en los tres transectos, dado que esta medida no es afectada por valores extremos; además, se utilizó la altitud como covariable para conocer el efecto de ésta sobre las capturas. El bloque en el modelo correspondió a la finca y los factores en estudio fueron: la distancia de las trampas (18 niveles con doce repeticiones), el uso de suelo con cuatro repeticiones (bosque, caña y pasto) y la fecha de muestreo (10 conteos en distinta fechas).

Los modelos lineales generales y mixtos permitieron analizar efectos aleatorios así como efectos fijos de las predictoras. Aquí se consideró que las fincas (bloques) tenían efectos aleatorios ya que su respuesta depende de los factores climáticos de cada una de ellas, lo cual no puede controlarse. Se separó la variabilidad corriendo los análisis de manera independiente; es decir los datos procedentes de las trampas dentro del café por un lado (muchos valores altos), y los datos procedentes de los usos de suelo adyacentes por otro (muchos valores ceros). Se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher (α=0.05).

Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo se presenta a continuación:

$yijk = \mu + s_i + d_j + t_k + \delta_{ijk} + \beta_l + \varepsilon_{ijkl}$ ... donde,

$yijk$ = representa la respuesta observada en el *k*-ésimo bloque, *i*-ésimo nivel del factor principal y *j*-ésimo nivel de factor asociado a las sub-parcelas.

μ = representa la media general

Si = factor uso del *i*-ésimo nivel

D_j = factor distancia del *j*-ésimo nivel

T_k = factor tiempo del *k*-ésimo nivel

δ_{ijk} = efecto adicional (interacciones) para cada combinación de los niveles de los factores.

β_l= efecto del bloque de la interacción del *l*-ésimo tratamiento.

$\varepsilon_{ijkl} \sim N(0,\sigma^2_b)$ y los componentes aleatorios independientes.

Adicionalmente, se corrió un análisis de correlación de *Spearman* por cada uso de suelo para conocer la relación existente entre la cantidad total de brocas capturadas en las trampas ubicadas en los lotes de café y las capturas en los usos de suelo adyacentes a las diferentes distancias. Este coeficiente de correlación se adapta a las variables discretas (conteos) y es una opción excelente para los datos que tienen una distribución bivariante y sobre todo cuando hay valores extremos (Salinas, 2007).

Para determinar la diferencia en la cantidad de efluvios emanados en las trampas ubicadas en los tres usos de suelo y dentro de las áreas de café se realizó un ANAVA bifactorial con un diseño en bloques incompletos al azar, donde la variable respuesta fue el promedio de mezcla en mg por día. El bloque en el modelo correspondió a la finca y los factores en estudio fueron: la distancia de las trampas (18 niveles con tres repeticiones) y el uso de suelo (café, bosque, caña y pasto, sin repeticiones). Para conocer la s diferencias de medias entre los tratamientos se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05). Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo se presenta a continuación:

$y_{ijk} = \mu + s_i + d_j + \delta_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$……. donde,

$y_{ij} =$ es la respuesta del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque

$\mu =$ es la media general

$S_i =$ factor uso del i-ésimo nivel

$d_j =$ factor distancia del j-ésimo nivel

δij = efecto adicional (interacciones) para cada combinación de los niveles de los factores.

$\beta_k =$ es el efecto del j-ésimo bloque $j = 1, ...,b$

$\varepsilon_{ijk} =$ es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$

Para conocer el efecto de la variabilidad estructural sobre la dispersión de la broca en el uso de suelo bosque, se realizó un análisis de varianza, donde la variable respuesta era el número de brocas capturadas por trampa. El bloque correspondió a la finca y el factor la distancia con tres repeticiones (los transectos), el índice de complejidad estructural se utilizó como covariable. Para determinar diferencias de medias entre tratamientos se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05).

Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo lineal fue el siguiente:

$y_{ij} = \mu + d_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$……. donde

$y_{ij} =$ es la respuesta del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque

$\mu =$ es la media general

$d_i =$ es el efecto del i-ésimo tratamiento

$\beta_j =$ es el efecto del j-ésimo bloque $j = 1, ...$

$\varepsilon_{ij} =$ es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$

De igual manera, para conocer la influencia de la cobertura del dosel sobre las capturas de broca se aplicó un análisis de varianza (ANAVA), donde la variable respuesta

fue el número de broca capturada por trampa. El bloque en el modelo correspondió a la finca y el factor es la distancia con tres repeticiones (los transectos), el porcentaje de sombra se utilizó como covariable. Se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05) para las comparaciones múltiples.

Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo lineal fue el siguiente:

$y_{ij} = \mu + d_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$..... donde

y_{ij} = es la respuesta del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque

μ= es la media general

d_i= es el efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = es el efecto del j-ésimo bloque j = 1, ...

ε_{ij} = es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$

3.3.1.5 Comportamiento de la precipitación

La precipitación es uno de los factores que determina la emergencia de las hembras. Por lo tanto se analizó el comportamiento de esta durante el período de estudio; únicamente en las fincas del CATIE y Colima. Para conocer la influencia de las lluvias sobre la emergencia y el vuelo de la broca, se realizó el análisis gráficamente. Donde se representa la cantidad de precipitación (mm) cada 15 días y las capturas de broca por finca. Se tomaron en cuenta todos los muestreos realizados en ambas fincas (15 y 12 muestreos respectivamente).

3.3.1.6 Conectividad funcional para H. hampei

La dispersión de la broca a nivel del paisaje se evaluó con la extensión FunConn, la cual identifica la conectividad que ofrece el paisaje del CBVCT para el movimiento de *H. hampei* a través de los diferentes usos del suelo. Esta modelación se realizó tomando en cuenta las características biológicas del insecto, las condiciones que necesita este organismo para su alimentación y reproducción, y los datos de dispersión del mismo durante el trampeo.

FunConn trabaja bajo la plataforma de ArcGIS 9.1 y a través de un conjunto de información tabular y gráfica, identifica las rutas de conectividad con base en la teoría gráfica (Urban y Keit 2001). Esta herramienta por lo tanto, permite conjugar los procesos de capturas con los patrones del paisaje (parche, tamaño, forma y ubicación) para llegar a procesos basados en medidas de conectividad (Theobald et ál., 2006). FunConn realiza modelos de conectividad funcional, tomando en cuenta la biología del organismo de interés. Incluye algunos parámetros de interés como el valor del hábitat y el índice de percolación para la broca, y efectos de borde que estuvieron partes centrales en el estudio de campo.

FunConn realiza tres pasos intermedios antes de la identificación y delimitación de las redes de conectividad funcional para la especie de interés. El primer paso es la calificación de la calidad del hábitat para la especie analizada en un paisaje determinado. El segundo es la identificación de los parches funcionales; es decir, los parches o áreas mínimas de hábitat dentro del rango de dispersión de la especie. Si los parches están separados por distancias cortas, estos se convierten en un solo parche funcional. En el tercer paso se identifican las rutas de movilidad de la especie entre cada parche de café (colonización de nuevas áreas o reinfestación de áreas de café en producción). La ruta se identificó tomando en cuenta la capacidad que tiene la broca para desplazarse en usos de suelo que no tienen condiciones para ser utilizados como hábitat.

La entrada principal para realizar la modelación con esta herramienta fue un conjunto de datos Raster (usos de suelo) y una serie de parámetros que fueron definidos de acuerdo a la biología de la especie analizada. La definición de los parámetros y tablas utilizadas en el análisis de conectividad funcional, se generaron a partir de la información obtenida en el trampeo de broca dentro de los usos de suelo más dominantes del CBVCT. Otros parámetros se estimaron de acuerdo a los criterios sugeridos por Theobald et ál. (2006).

3.3.1.6.1 Creación de la calidad del hábitat

Para este análisis primero se preparó un mapa de calidad de hábitat para la especie. Utilizando el mapa de usos del suelo (Raster) del CBVCT preparado por Brenes y Ramos (2009). Este se generó a partir de una imagen Aster 2008 por medio de una clasificación por segmentación y con una corrección visual a una escala 25,000 (Brenes, 2009 Com. Pers.). El límite del CBVCT es de 114, 617 ha, para el análisis únicamente se utilizó el 85% (98,047 ha). La proporción que se dejó fuera del análisis era predominaba por el uso bosque (Figura 6).

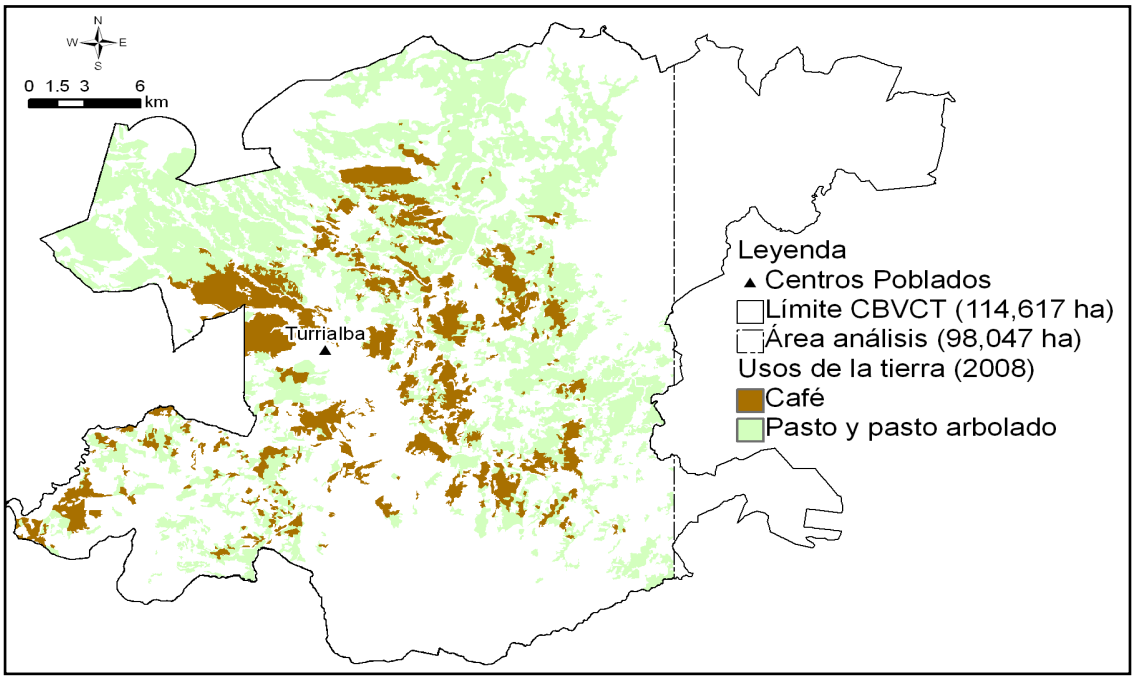

Figura 6: Delimitación del área de análisis de conectividad funcional para la broca del café, utilizando el mapa de uso de suelos del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica 2009.

Después, el mapa de uso de suelo fue reclasificado en base a su calidad como hábitat para especie. Esta calificación se basó en las condiciones que el uso de suelo ofrece para la alimentación y reproducción de la broca donde 0 era no hábitat y 100 era el hábitat óptimo. Para la calificación del hábitat se tomaron en cuenta tres aspectos a) los hábitos de ésta plaga; b) cambio de uso de suelo; y c) hospederos alternos de *H. hampei*. Para el caso de las categorías como “no forestal” y “nubes” de la capa de usos, se asumieron por

principio precautorio los valores más restringidos para la movilidad o aprovechamiento del hábitat de la broca.

Las áreas de café fueron calificadas con la máxima puntuación (100); los uso de suelo bosques, charrales, tacotales y SAF densos tienen 30 y a las áreas de pasto y pasto arbolado se les otorgo sólo una calificación de 20, debido a que es común plantas de café por el abandono de cafetales; sin embargo, están más expuestas a desaparecer por el pisoteo del ganado y por el manejo de malezas.

Cuadro 4. Clasificación de la calidad del hábitat para Hypothenemus hampei, en los diferentes usos de suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca.

Código	OBID	Usos de suelo (2008)	Calidad
0	1	Agricultura	0
1	1	Suelo desnudo	0
2	1	Bosque	30
3	1	Caña de azúcar	0
4	1	Café	100
5	1	Charrales, tacotales, y SAF densos	30
6	1	Cuerpos de agua	0
7	1	Ríos	0
8	1	Cultivos anuales y perennes	0
9	1	No forestal	0
10	1	Nubes	0
11	1	Pasto y pasto arbolado	20
12	1	Plantación forestal	0

Otro requisito para la modelación es el área mínima del parche. Este valor puede ser establecido de acuerdo a los ámbitos de hogar conocidos o por estimaciones con ecuaciones alométricas propuesta por Theobald y Hobbs (1999). Sin embargo, estas ecuaciones no pueden aplicarse a la broca por su tamaño (2 mm). Además, la herramienta no modela con parches menores a 1 ha. Por la tanto, se asignó como parche mínimo 1 ha y el radio de acción se utilizó 350 m. Es importante aclarar que la broca es capaz de sobrevivir en un parche compuestos por pocas plantas de café.

El modelo define el umbral de la calidad del hábitat como el área de hábitat mínimo de calidad que este insecto necesita. Sin embargo, para esta modelación se utilizó un umbral de calidad de 50%, porque es el valor mínimo que el programa exige para la

modelación. El valor establecido, se utilizó para identificar los parches (áreas de café) con la calidad necesaria; no obstante, la broca pude vivir en parches que se ubicaban por debajo del umbral.

La calificación de la estructura del parche se realizó tomando en cuenta los resultados obtenidos en el trampeo, dentro de los lotes de café y en los usos adyacentes (caña, bosque y pasto) y el valor de dispersión máxima de 350 reportado por Baker (1984). Para las distancias no estudiadas en el experimento de dispersión (>30 m adentro del cafetal y >140 m afuera) se asignó el valor de 100 adentro del cafetal y valores por debajo de 80 afuera (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación estructural de los parches y calidad de hábitat para la sobrevivencia de Hypothenemus hampei.

Código	Desde	Hasta	Calidad
0	-99999999	-300	100
1	-300	-260	100
2	-260	-220	100
3	-220	-180	100
4	-180	-140	100
5	-140	-100	100
6	-100	-80	100
7	-80	-60	100
8	-60	-40	100
9	-40	-30	100
10	-30	-20	90
11	-20	-10	80
12	-10	0	70
13	0	10	100
14	10	20	100
15	20	30	100
16	30	40	100
17	40	50	100
18	50	60	100
19	60	70	100
20	70	80	100
21	80	100	100
22	100	120	90
23	120	140	80
24	140	160	60
25	160	200	40
26	200	250	20
27	300	350	10
28	350	400	0
29	400	1000	0
30	1000	99999999	0

La información de perturbaciones (cuadro .dbf y raster) que se presenta en el cuadro representa las limitantes de movilidad a cierta distancia que la especie pueda encontrar como barreras (vías, centros poblados, entre otros). En el raster se incorporan los usos de suelo y los centros poblados que fueron categorizadas como barreras. Sólo se trabajo con los centros poblados como las perturbaciones que pueda encontrar la broca (Cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación de las perturbaciones para el movimiento de Hypothenemus hampei dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca.

Código	Desde	Hasta	Valor
0	-99999	0	0
1	0	10	40
2	10	50	100
3	50	100	100
4	100	200	100
5	200	300	100
6	300	400	100
7	400	500	100
8	500	1000	100
9	1000	2000	100
10	2000	3000	100
11	3000	5000	100
12	5000	10000	100
13	10000	99999	100

Una vez ingresados los parámetros arriba descritos, el programa generó un raster indicando los parches de café con calidad en el paisaje.

3.3.1.6.2 Definición de parches funcionales

La definición de los parches funcionales se realizó utilizando el raster de calidad del hábitat, el área mínima del parche (1 ha), el radio de forrajeo (350 m), el umbral de calidad del hábitat (50%) y el porcentaje de hábitat (0.1%). La definición de los parches funcionales se realizó tomando en los requerimientos mínimos donde la broca pueda alimentarse y reproducirse y la capacidad para moverse entre parches de café. El programa generó otro raster con la delimitación de los parches funcionales dentro del paisaje analizado.

3.3.1.6.3 Construcción de la red de conectividad

La construcción de la red de conectividad representa la facilidad con que la broca puede moverse entre parches de café. La herramienta identifica a los sistemas de café como

los parches funcionales y los usos suelos adyacentes son la superficie de resistencia que impide el movimiento del insecto. Para crear esta red se utilizó el raster de parches funcionales, un cover de las perturbaciones (utilizado en la creación de la calidad de hábitat), el factor de agregación 1 y la clasificación de la permeabilidad de los usos de suelo. Los valores de permeabilidad de los usos de suelo van de 0 el menos permeable hasta 1 el más permeable (Cuadro 7). La clasificación a los usos de suelo donde se realizó el trampeo se hizo en base a la cantidad de broca captura; por ejemplo el uso tiene un el valor más alto porque fue donde se realizaron mayores capturas.

Cuadro 7. Clasificación de la permeabilidad en los usos de suelo para Hypothenemus hampei, dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca.

Código	Descripción	Valor	Código
0	Agricultura	0.0	1
1	Suelo desnudo	0.0	2
2	Bosque	0.2	3
3	Caña de azúcar	0.6	4
4	Café	1.0	5
5	Charrales, tacotales, y SAF	0.3	6
6	Cuerpos de agua	0.0	7
7	Ríos	0.0	8
8	Cultivos anuales y perennes	0.0	9
9	No forestal	0.0	10
10	Nubes	0.0	11
11	Pasto y pasto arbolado	0.5	12
12	Plantación forestal	0.2	13
13	Asentamientos humanos	0.0	1000

3.3.2 Dinámica poblacional de la broca del café H. hampei

Para conocer la dinámica poblacional de *H. hampei* en las fincas en estudio se realizaron dos tipos de muestreo: el muestreo poblacional (disectación de frutos) de broca a nivel de planta y de suelo, y el muestreo de nivel de infestación de *H. hampei*.

3.3.2.1. Muestreo poblacional de H. hampei

Para conocer la población de broca en frutos (suelo y planta) en los doce lotes en estudio, mensualmente se disectaban 120 frutos por cada lote de café. La revisión se realizó tomando en consideración las categorías de fruto y el sitio de muestreo. En diferentes

plantas se recolectaban 90 frutos, 30 por categoría (seco, maduro y verde) y 30 frutos secos en el suelo. En total se revisó la población de broca residual en 8,640 frutos en los seis meses en estudio.

En el laboratorio los frutos brocados se ubicaban en placas petri y papel secante. Seguidamente, haciendo uso del estereoscopio y equipo de disección se revisaron y contabilizaron los estados biológicos de *H hampei*: número de adultos vivos y muertos, huevos, larvas, pupas.

3.3.2.2. Estudio del nivel de infestación

Las poblaciones de insectos tienen diferentes patrones de dispersión en el tiempo y el espacio, los más comunes son la distribución al azar, dispersa o agregada (Andrew y Rutilio, 1989). La broca del cafeto tiene una distribución espacial agregada; por esa razón es difícil evaluar las poblaciones de broca a nivel de una plantación. El método de muestreo que se utilizó ha sido tomado y modificado de las metodologías propuesta por Guharay et ál. (2000) y Dufour (2005), las cuales se detallan a continuación:

Para conocer el porcentaje de infestación de la broca, Guharay et ál. (2000) propone seleccionar cinco puntos bien distribuidos en un área de 0.7 a 3.5 ha. Luego en cada punto de muestreo se escoge al azar cinco plantas, y en cada planta se selecciona al azar una bandola (parte baja, media o alta), donde se cuenta el número total de frutos y el número de frutos brocados. Al final se cuenta un total de 25 bandolas, con estos datos se determina el porcentaje de infestación.

Por su parte Dufour (2005), plantea el método de muestreo tomando en consideración la metodología propuesta por Rémond (1996). El número mínimo de plantas a muestrear depende del número de plantas de la parcela. Por ejemplo, para una parcela de 450 plantas el número de plantas por muestrear es de 14. Para una parcela de 4,400 plantas, el número a muestrear es de 27. Por otra parte, no es recomendable muestrear menos de 12 plantas. A esas plantas deben muestrearse todos los frutos.

Las áreas de café muestreadas eran de 5,400 a 6,600 m^2 aproximadamente (parcela experimental), con una población promedio de 1,944 a 3,300 plantas de café. A partir de este dato, se delimitaron cuatro sitios de muestreo, entre y en el área adyacente a los transectos de trampeo de broca. Por cada sitio de muestreo se seleccionaron 3 plantas al azar para un total de 12 plantas. Por lo tanto habían 24 puntos de muestreo por finca (12 por tipo de uso colindante), para un total de 144 puntos de muestreo en las seis fincas muestreadas (Figura 7).

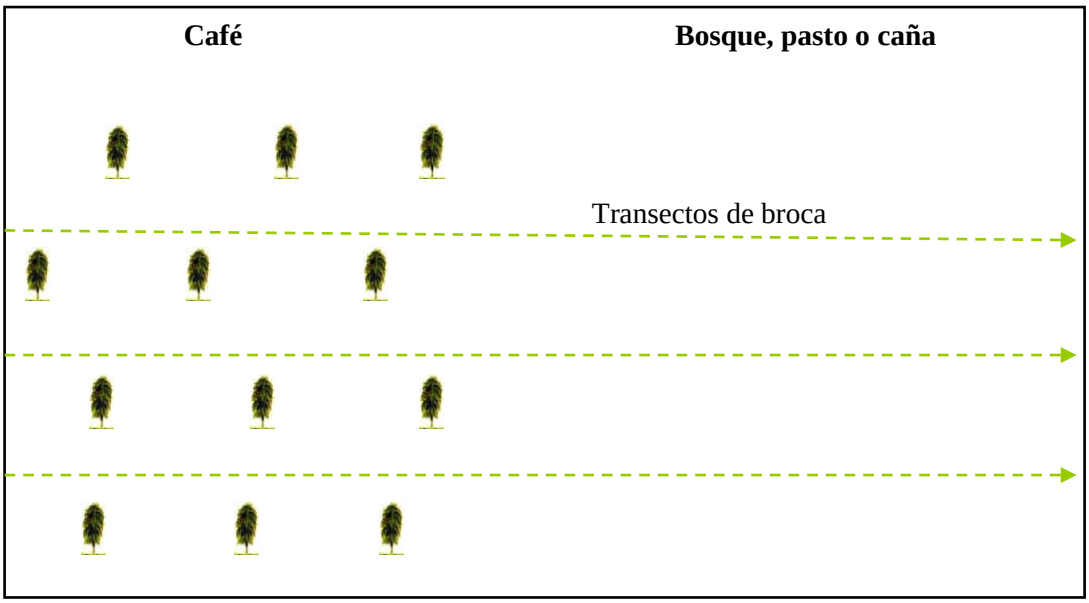

Figura 7. Representación gráfica de los muestreos realizados en los lotes de café, en el estudio la dinámica poblacional de Hypothenemus hampei.

En cada planta se contaron el número de ramas con frutos y en la parte media se seleccionaron al azar tres ramas, en donde se contaron los frutos lechosos y consistentes (frutos aptos para ser colonizados), los frutos brocados. Los puntos de muestreo no se repitieron en el tiempo, para cada fecha de muestreo se seleccionaron puntos diferentes. Los muestreos se realizaron durante cinco meses, iniciando en marzo y finalizando en julio del 2009.

3.3.2.3. Diseño y análisis estadístico

Para conocer el efecto de los usos de suelo adyacentes a los cafetales sobre la población de hembras en los frutos a través del tiempo, se aplicó un análisis de varianza

(ANAVA) en un diseño en bloque incompleto al azar. Donde la variable analizada fue: promedio de hembras por fruto. En este promedio se incluyen las hembras vivas más estados inmaduros. Para el calculó de las hembras que generan los estados inmaduros se aplicó la relación de sexo de la broca: 10 hembras por 1 macho (Bergamin, 1943). El bloque en el modelo correspondió a las fincas. Los factores en estudio fueron: el uso de suelo con cuatro repeticiones (bosque, caña y pasto), el tiempo de muestreo (6 conteos en distinta fechas), y la categoría de fruto (cuatro categorías), además se utilizó la altitud como covariable para conocer el efecto de ésta sobre la población de broca. Para determinar diferencias de medias entre tratamientos se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05).

Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo lineal que se utilizó es el siguiente:

$y_{ijk} = \mu + s_i + c_j + t_k + \delta_{ijk} + \beta_l + \varepsilon_{ijkl}$..... donde

y_{ijk} = es la respuesta del i-ésimo tratamiento en el k-ésimo bloque

μ= es la media general

S_i= factor uso del i-ésimo nivel

C_j= factor categoría del j-ésimo nivel

T_k = factor tiempo del j-ésimo nivel

δ_{ij} = efecto adicional (interacciones) para cada combinación de los niveles de los factores.

β_l = es el efecto del k-ésimo bloque k = 1, ...,b

ε_{ijkl} es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$

Para conocer la influencia del tiempo sobre la cantidad de frutos aptos se aplicó un análisis de varianza (ANAVA), donde la variable respuesta fue el promedio de frutos aptos por rama. El bloque en el modelo correspondió a la finca y el factor fue el tiempo de muestreo (Cinco muestreo en diferentes fechas). Para determinar diferencias de medias entre tratamientos se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05). Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo lineal fue el siguiente:

$y_{ij} = \mu + d_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$..... donde

y_{ij} = es la respuesta del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque

μ= es la media general

d_i= es el efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = es el efecto del j-ésimo bloque j = 1, ...

ε_{ij} = es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$

Para conocer el efecto del uso de suelo adyacente sobre el nivel de infestación de broca a través del tiempo, se aplicó un análisis de varianza (ANAVA) en un diseño en bloque incompleto al azar. Donde la variable analizada fue, el promedio de frutos brocados por rama. Los factores en estudio fueron: el uso de suelo con cuatro repeticiones (bosque, caña y pasto) y el tiempo de muestreo (5 conteos en distinta fechas), además se utilizó la altitud como covariable para conocer el efecto de ésta sobre el porcentaje de infestación de broca. Para determinar diferencias de medias entre tratamientos se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05).

Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo lineal que se utilizó es el siguiente:

$y_{ijk} = \mu + s_i + t_j + \delta_{ij} + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$..... donde

y_{ijk} = es la respuesta del i-ésimo tratamiento en el k-ésimo bloque

μ= es la media general

S_i= factor uso del i-ésimo nivel

T_j = factor tiempo del j-ésimo nivel

δ_{ij} = efecto adicional (interacciones) para cada combinación de los niveles de los factores.

β_k es el efecto del k-ésimo bloque k = 1, ...,b

ε_{ijk} es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$

3.3.3 Abundancia[5] poblacional de hormigas depredadoras.

3.3.3.1 Diseño de campo para el monitoreo de las hormigas

Para este estudio se seleccionaron dos especies de hormigas que son abundantes en los sistemas agroforestales de café (Benítez y Perfecto, 1989; Barbera, 2001 y Gallego, 2005) y que tienen potencial depredador sobre *H. hampei* (Varón, 2002 y Vélez et ál., 2006). Las especies seleccionadas fueron: *Solenopsis geminata y Pheidole radoszkowskii*.

Para conocer la abundancia y la distribución espacial de estas especies se realizaron muestreos utilizando dos transectos lineales (Ramirez y Enríquez, 2002 y Sarmiento, 2003). Los transectos se ubicaron frente a cada uso de suelo (bosque, pasto y caña), y estaban independientes a los transectos de trampeo de broca. Cada transecto tenía 60 m de largo (desde el borde del área de café, hacia el centro de la misma) y distanciado por 30 m entre cada uno. Para la captura de las hormigas se utilizaron trampas con cebo atrayente; éstas se ubicaron cada 20 m sobre la parte media de la planta de café, para un total de 4 trampas por transecto.

Las trampas eran cuadros de cartón absorbente blanco de 70 cm^2, los cuales, antes de ubicarlos en los puntos de muestreo, se impregnaban de aceite de atún, estandarizando la cantidad de cebo (Barbera, 2001; Varón, 2002 y Sarmiento, 2003). Los muestreos se realizaron cada mes, entre febrero y julio 2009.

Se establecieron las trampas principalmente en días soleados. Después de 30 a 45 minutos (Benítez y Perfecto, 1989 y Barbera, 2001) se recolectaba la trampa y se depositaba en bolsas plásticas para el traslado al laboratorio. Estas se ubicaron en refrigeración para inmovilizar a las hormigas. Seguidamente se ubicaban los individuos en frascos con alcohol al 70%, para luego identificar y contabilizar las hormigas capturadas por cada especie. La identificación de las especies se realizó utilizando claves proporcionadas por Luko Hilje.

---

[5] Durante este estudio el término de abundancia se definió como la frecuencia de los individuos de una especie determinada en una unidad espacial

3.3.3.2 Diseño y análisis estadísticos

Para conocer el efecto de los usos de suelo adyacentes y la distancia sobre la abundancia de *S. geminata* y *P. radoszkowskii*, se utilizó los modelos lineales generales y mixtos, en un diseño en bloque incompleto al azar. Donde la variable analizada fue la raíz cuadrada del número de individuos de cada especie en estudio.

El bloque en el modelo correspondió a la finca y los factores en estudio fueron: uso de suelo adyacente con cuatro repeticiones (bosque, caña y pasto), distancia (4 niveles, dos repeticiones) y el tiempo de muestreo (6 conteos en diferentes fechas). Se utilizó la altitud como covariable, para conocer el efecto de ésta sobre las capturas. Para determinar diferencias de medias entre tratamientos se utilizó la prueba LSD de Fisher (α=0.05). Se revisaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El modelo lineal que se utilizó es el siguiente:

$yijk = \mu + s_i + d_j + t_k + \delta_{ijk} + \beta_l + \varepsilon_{ijk}$ ... donde,

$yijk$ = representa la respuesta observada en el *k*-ésimo bloque, *i*-ésimo nivel del factor principal y *j*-ésimo nivel de factor asociado a las sub-parcelas.

μ = representa la media general

S_i = factor uso del *i*-ésimo nivel

D_j = factor distancia del *j*-ésimo nivel

T_k = factor tiempo del *k*-ésimo nivel

β_l= efecto del bloque de la interacción del *l*-ésimo tratamiento.

δ_{ijk} = efecto adicional (interacciones) para cada combinación de los niveles de los factores.

ε_{ijkl} = es el término de error aleatorio ~ $N(0,\sigma^2_b)$ y los componentes aleatorios independientes.

Adicionalmente, se revisó el efecto de la precipitación sobre la abundancia de hormigas en la finca del CATIE y la finca de Colima. Esta influencia se representó gráficamente, tomando en cuenta la precipitación (mm) quincenal y las capturas de broca por finca.

Además, para conocer la relación entre las hormigas, la broca presente en los cafetales, la altitud y la sombra, se realizó un análisis de componentes principales. Las variables utilizadas en este análisis fueron: (i) número de individuos de *S. geminata,* (ii) número de individuos de *P. radoszkowskii,* (iii) números de frutos brocados, (iv) número de broca capturadas en las trampas, (v) números hembras vivas, (vi) número de hembras muertas, (vii) número de huevos, (viii) número de larvas, (ix) número de pupa, (xi) porcentaje de sombra, y (xii) la altitud por lote. Para identificar esas relaciones las variables de hormigas, altura y sombra se ubicaron con variables activas y las demás variables se presentaron como variables inactivas. En este análisis sólo se incorporó la información de marzo a junio.

3.3.3.3 Caracterización de la sombra en las áreas de café

Con el propósito de ayudar a la interpretación de los resultados de abundancia de hormigas, se estimó el porcentaje sombra de las áreas de café utilizando un densiómetro esférico. La estimación se realizó en las doce trampas ubicadas dentro del café. Para cada punto se realizaron cuatro mediciones dirigidas hacia los puntos cardinales. El valor de cobertura reportado por sitio corresponde al promedio de las cuatro mediciones.

4 RESULTADOS

4.1 Efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña de azúcar) sobre la dispersión a corta distancia de la broca del café *H. hampei*.

4.1.1 Resultados generales sobre las capturas de broca en las localidades en estudio.

La cantidad de broca capturada en todos los muestreos realizados en los seis meses (febrero-julio), fue de 65,164 hembras voladoras. Las capturas en las 144 trampas ubicadas dentro de las áreas de café fueron de 62,930 hembras voladoras o 437 brocas por trampa y en las 504 trampas ubicadas en los usos adyacentes se capturaron 2,234 hembras o 4.4 brocas por trampa. En otras palabras se capturo 96.5 % de broca en áreas de café y 3.5 % fuera del área.

El porcentaje de brocas capturadas dentro del café varió entre un 60.6 % y un 99.6 % con respecto a las capturas totales; siendo los lotes de café adyacentes a bosque los que presentaron mayores porcentajes de captura. El mayor porcentaje de brocas capturadas en café se encontró en la finca Maquina Vieja localizada en Atirro (Cuadro 8).

Cuadro 8. Porcentajes de hembras de Hypothenemus hampei capturadas en las trampas Brocap®, ubicadas dentro de las áreas de café en seis fincas cafetaleras del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

Finca	Café-Caña	Café-Bosque	Café-Pasto
CATIE	95.7	94.5	
Maquina Vieja	99.1	99.6	
More Costa Rica	60.6		86.0
El Romeral		97.6	97.8
Colima		95.1	87.9
El Volcán	92.1		77.8

Nota: El complemento al 100% fue capturado en los usos adyacentes al café

Del 3.5 % de broca que se dispersó en los tres usos de suelo en estudio, un 40 % fue capturado en caña de azúcar, un 32 % en pasto y un 28 % en bosque. Las capturas en los

usos de suelo adyacentes a las áreas de café variaron entre 0.4 % y 39.4 % de las capturas totales. El mayor porcentaje de capturas en las trampas ubicadas en caña, fue en la finca More Costa Rica (39.4 %). En la finca del CATIE fue donde se capturó más broca en las trampas ubicadas en bosque (63.0 %). La finca El Volcán presentó el mayor porcentaje (32.0 %) de captura en las trampas ubicadas en pasto.

Las capturas por día incluyendo las trampas dentro de las áreas de café, se encontró alta variabilidad. Con respecto a las trampas ubicadas en las combinaciones café-pasto, se reportan promedio de capturas entre 1.5 y 67.8 brocas por día, siendo en la finca El Romeral ubicada en la localidad de Tuis donde se obtuvo mayores promedios de captura por día. En la combinación café-caña, las capturas variaron entre 3.4 y 169.3 brocas por día, siendo la finca de Maquina Vieja (Atirro) donde se presentaron mayores capturas. En tanto, en la combinación café-bosque los promedios de capturas de broca por día variaron entre 30.5 y 109.1. Nuevamente, la finca de Maquina Vieja localidad de Atirro fue donde se capturó más broca por día (Figura 8).

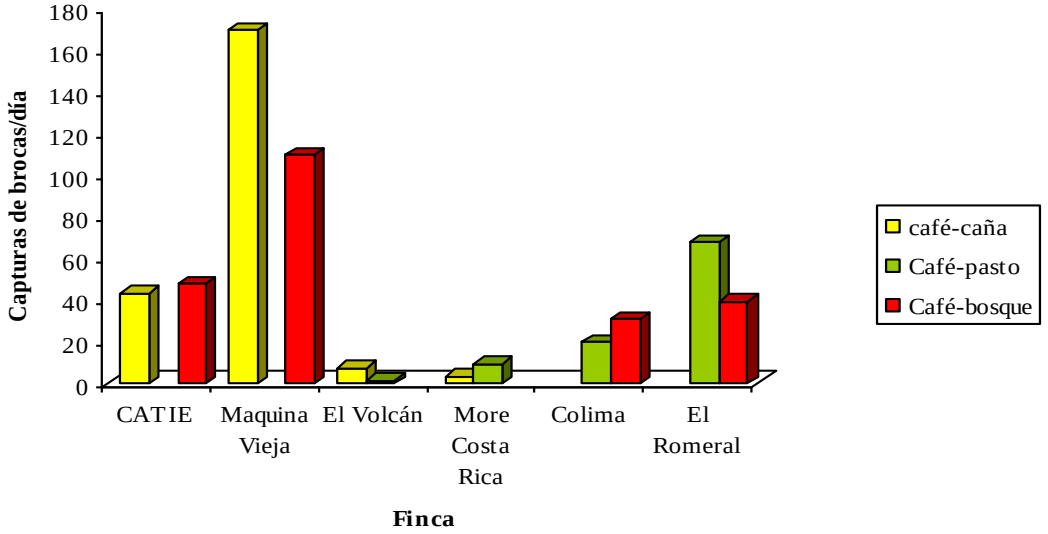

Figura 8. Capturas por día de hembras de Hypothenemus hampei utilizando la trampa Brocap® en doce lotes de café y sus usos adyacentes pertenecientes a seis fincas del cantón de Turrialba , Costa Rica 2009.

4.1.2 Efecto de los usos de suelo adyacente sobre la dispersión de H. hampei.

Los resultados evidencian que la dispersión de *H. hampei* está influenciada por el uso de suelo adyacente ($P<0.01$). Adicionalmente, se encontró efecto del factor distancia de la trampa al cafetal y de la fecha de trampeo e interacciones altamente significativas del uso de suelo x tiempo. Asimismo los resultados reflejan un efecto ($P<0.05$) de la covariable altura, el valor del coeficiente para la covariable altitud es negativo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores de F y probabilidades asociadas al análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y la fecha de captura sobre la cantidad de hembras de Hypothenemus hampei capturadas por la trampa Brocap®.

	gl	denDF	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	1	1488	18.965	<0.0001	
Uso de suelo	2	1488	25.296	<0.0001	
Distancia	13	1488	13.518	<0.0001	
Tiempo	9	1488	11.383	<0.0001	
Altura	1	1488	12.492	0.0004	-0.001
Uso de suelo * distancia	26	1488	1.251	0.1793	
Distancia * tiempo	117	1488	1.045	0.3576	
Uso de suelo * tiempo	18	1488	3.769	<0.0001	

En los bosques hubo menor dispersión de broca (0.04 brocas capturadas por fecha y por trampa) en comparación con los usos caña de azúcar y pasto (0.31 y 0.28 respectivamente). Estos últimos no presentan diferencias significativas entre ellos.

Sin embargo, las diferencias entre usos dependen de la distancia. La prueba de hipótesis para los contrastes indica que a 10 m del parche de café, las capturas de broca en los tres usos son diferentes estadísticamente; siendo el uso de suelo caña de azúcar el que presenta una media mayor (1.2 brocas por trampa y por fecha) en comparación con el uso de suelo pasto y bosque (media 0.8 y 0.6 respectivamente). Entre los 20 y 60 m después del borde, el bosque (presenta menores capturas) es diferente a caña de azúcar y pasto, y entre éstos no hay diferencia estadísticas. A partir de los 70 m los resultados son parecidos para los tres usos las capturas son bajas y muy cercanas a cero (Figura 9).

4.1.3 Capacidad de dispersión de H. hampei a corta distancia.

En el campo las hembras son capaces de volar hasta al menos 140 m después del borde del cafetal. No obstante, el 30.2% de la broca que se dispersó en los tres usos analizados (bosque, caña de azúcar y pasto) llegó solamente hasta los 10 m después del borde. Se encontraron diferencias estadísticas (P<0.01) entre las distancias; la distancia de 10 m difiere estadísticamente de las demás (Figura 9).

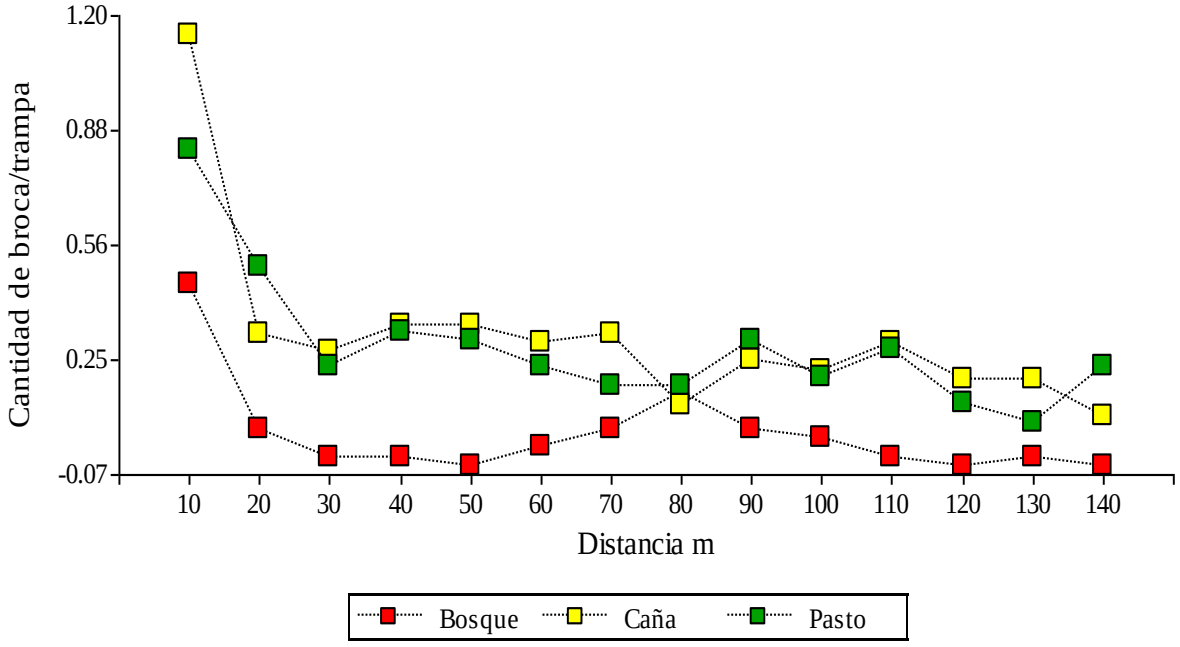

Figura 9. Comportamiento de la dispersión de adultos de Hypothenemus hampei en tres usos de suelo a diferentes distancias, utilizando trampas Brocap®; ubicadas en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

4.1.4 Comportamiento de la dispersión de H. hampei a través del tiempo

Se encontraron diferencias estadísticas significativas a través del tiempo (P< 0.01). Los valores encontrados para el uso caña de azúcar indican que el tiempo de muestreo 1, 3, 5 son iguales entre sí, pero es diferente a los demás. Además, se encontró interacción altamente significativa entre el tiempo y el uso de suelo. Aunque los usos caña y pasto presentan tres picos de captura, estos difieren en el tiempo; por su parte el uso bosque sólo presenta dos picos de captura y coinciden en el tiempo con el uso caña (Figura 10).

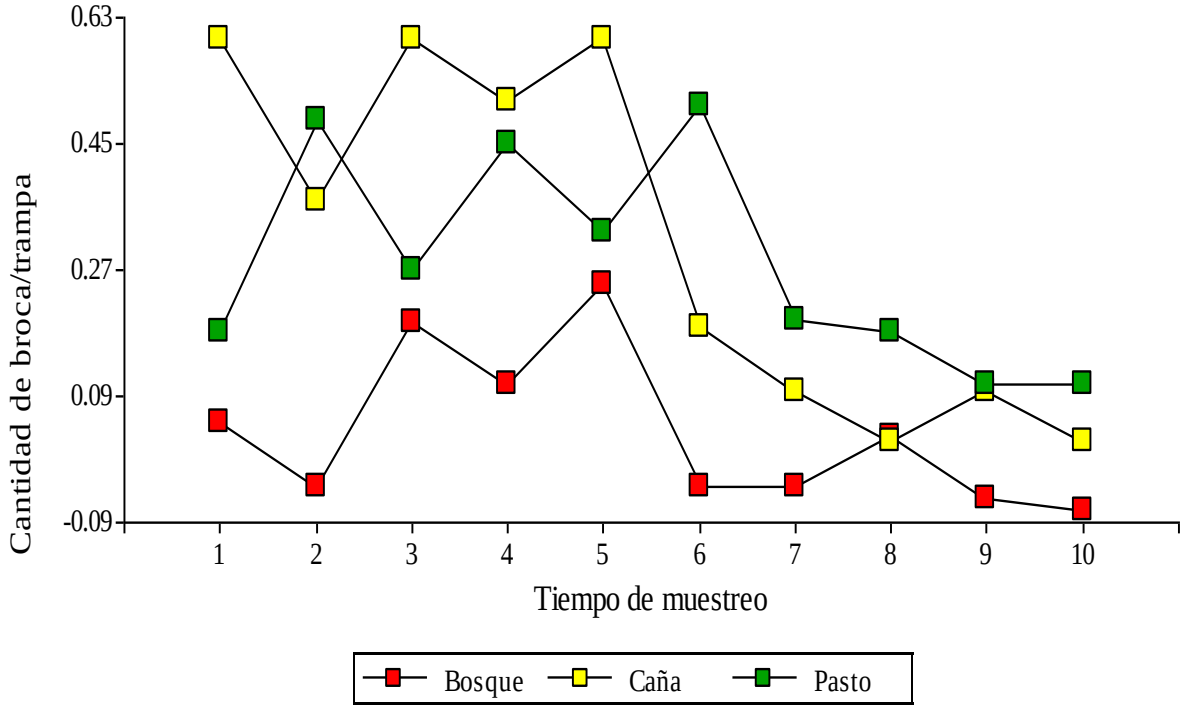

Figura 10. Comportamiento temporal de las capturas de hembras de Hypothenemus hampei en tres usos de suelo, utilizando trampas Brocap®; ubicadas en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

La prueba de hipótesis para los contrastes, indican que en el muestreo 1, 3, 5 y 6, hay diferencias significativas en los tres usos; siendo caña el que difiere de los demás. En los muestreos 2 y 4 los usos caña y pasto no se encontró diferencia entre ellos, pero estos sí difieren con respecto al uso bosque.

4.1.5 Correlación entre la cantidad de broca dentro del café y la población que se dispersa.

No hay correlación significativa entre la cantidad de broca dentro del café y la cantidad que se dispersa a través del bosque ($P>0.05$). Hay diferencias significativas ($P<0.05$) en las distancias 10, 30 y 90 en el uso de suelo caña. De igual manera, en la distancia 40 m en el uso pasto hay diferencias significativas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficientes y probabilidades asociadas al análisis de correlación de Spearman entre la cantidad de broca dentro del café y la población que se dispersa, dependiendo de la distancia del cafetal.

Distancia	Bosque		Caña		Pasto	
	R	P	R	P	R	p
10	-0.268	0.375	0.782	**0.001**	0.282	0.351
20	0.004	0.991	0.465	0.123	0.407	0.177
30	-0.161	0.594	0.829	**0.006**	0.378	0.210
40	-0.234	0.437	0.462	0.126	0.600	**0.047**
50	0.379	0.208	0.53	0.079	0.266	0.378
60	0.294	0.33	0.442	0.142	-0.011	0.972
70	0.215	0.476	0.552	0.067	0.306	0.310
80	0.259	0.391	0.442	0.142	0.121	0.689
90	0.192	0.524	0.691	**0.022**	0.348	0.249
100	0.406	0.179	0.518	0.086	0.191	0.527
11	0.101	0.737	0.573	0.057	0.547	0.070
120	0.215	0.476	0.122	0.685	0.185	0.539
130	0.266	0.378	0.323	0.283	0.077	0.799
140	0.421	0.162	0.1	0.741	0.343	0.256

4.1.6 Comportamiento de las capturas dentro de los lotes de café

Hay diferencias estadísticas significativas entre las distancias evaluadas ($P < 0.05$). De igual manera, en los diez muestreos realizados se presentan diferencias estadísticas significativas ($P < 0.01$). Se observan diferencias en la covariable altitud ($P < 0.05$), siendo el valor del coeficiente para la covariable altitud negativo. Solamente se encontró interacción altamente significativa entre el uso de suelo adyacente y la fecha de muestreo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valores de F y probabilidades asociadas al análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y la fecha de captura sobre la cantidad de hembras de Hypothenemus hampei capturadas por la trampa Brocap® dentro de las áreas de café.

	Gl	denDF	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	1	408	4.55	0.0336	
Uso adyacente	2	408	2.04	0.1313	
Tiempo	9	408	8.22	<0.0001	
Distancia	3	408	5.17	0.0016	
Altura	1	408	4.24	0.0401	-0.07
Uso adyacente * tiempo	18	408	1.9	0.0144	
Uso adyacente * distancia	6	408	2.1	0.0522	
Tiempo * distancia	27	408	0.34	0.9993	

La trampa ubicada más cerca del epicentro de la parcela presentó mayores capturas (distancia 0). La cantidad de brocas capturadas en las trampas disminuye a medida que éstas se acercan al borde del uso de suelo adyacente (caña de azúcar, bosque o pasto). La trampa ubicada sobre el borde del lote de café, fue la de menor captura y la que difiere significativamente de las demás (Figura 11). Las mayores capturas por trampa se presentaron en la distancia de 20 m (809 y 949 hembras) en las fincas El Romeral y Maquina Vieja respectivamente.

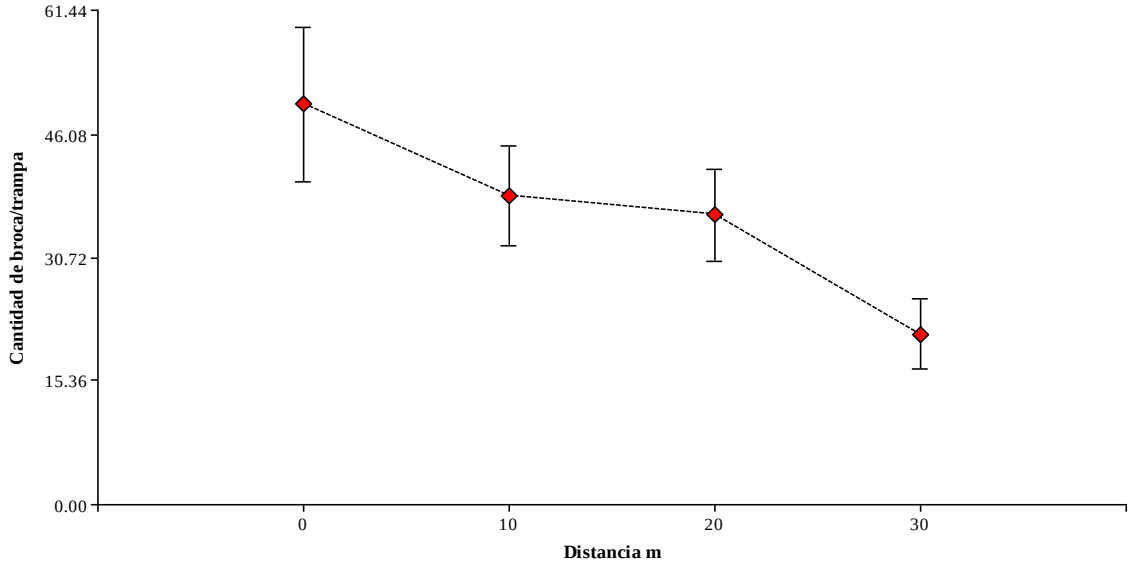

Figura 11. Comportamiento de dispersión de hembras de Hypothenemus hampei dentro de las áreas de café, utilizando trampas Brocap®; localizadas en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

4.1.7 Comportamiento del movimiento de H. hampei a través del tiempo

Las mayores capturas ocurrieron en el muestreo 3 (media =82.8) y el muestreo 5 (media =71.4). No hay diferencias estadísticas entre éstos, pero sí difieren de los demás muestreos.

Se inició con bajas capturas de broca, aumentando luego en el M3, siendo este el primer pico de captura. Posteriormente las capturas descienden considerablemente en el M4. Nuevamente en el M5 se presenta un pico de captura. Las capturas bajan

drásticamente en el M6, comportándose de forma similar en los muestreos posteriores (Figura 12).

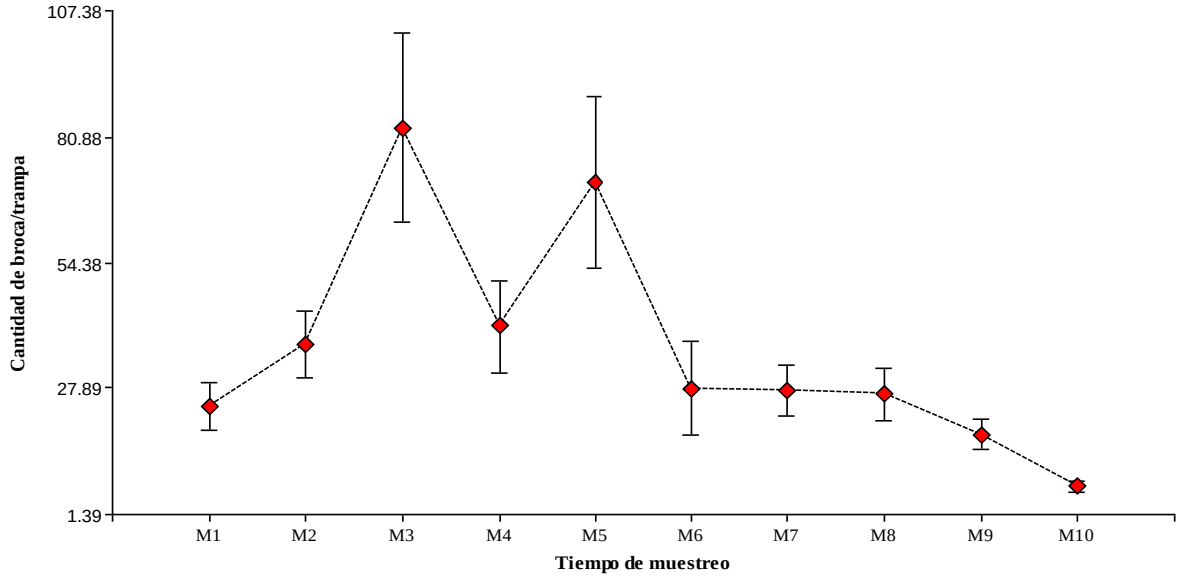

Figura 12. Comportamiento temporal de las capturas de hembras de Hypothenemus hampei en las trampas Brocap®, ubicadas dentro de las áreas de café; en seis fincas del Cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

4.1.8 Relación entre las precipitaciones y las capturas de broca

La precipitación presentó un comportamiento variable en los seis meses de estudio, los promedios de precipitación mensuales en las localidades de Santa Teresita y CATIE estuvieron entre los rangos de 82.7 (abril) y 666.6 mm (febrero). La precipitación de febrero se presentó en los primeros diez días.

Hay coincidencia entre los picos de dispersión de broca y la presencia de lluvias torrenciales y esporádicas. En la primera quincena de febrero donde se presentó mayor precipitación, también se realizaron las mayores capturas de broca. Asimismo, en la segunda quincena de abril se presentaron altas capturas, pero la precipitación fue baja.

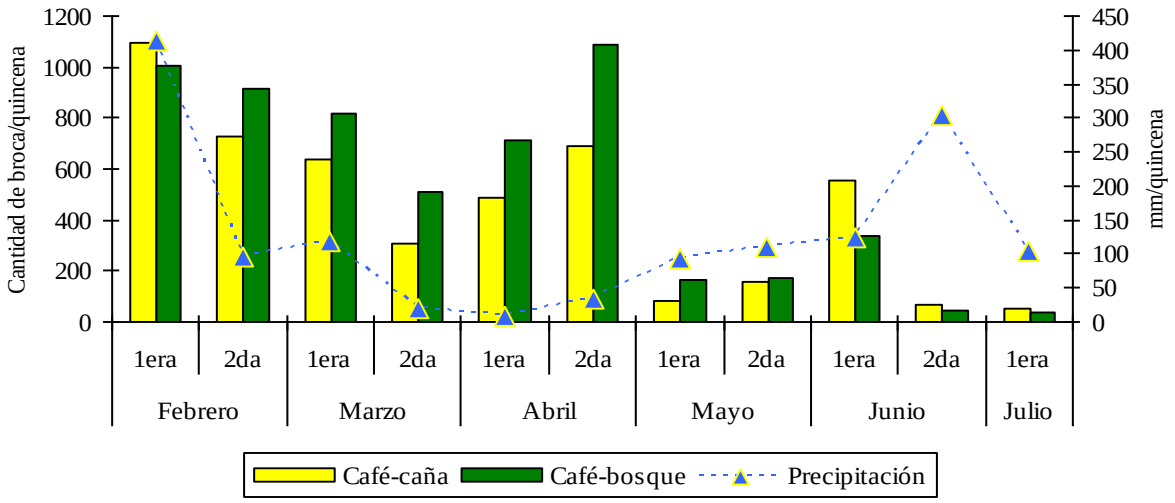

Figura 13. Comportamiento de las precipitaciones quincenales y las capturas de broca en la finca del CATIE, Cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

De igual manera, en la finca colima los picos de captura de broca en los usos de suelo estuvieron influenciados por la presencia de lluvia. La fluctuación de las precipitaciones parece estar de la mano con las capturas de la broca (Figura 14).

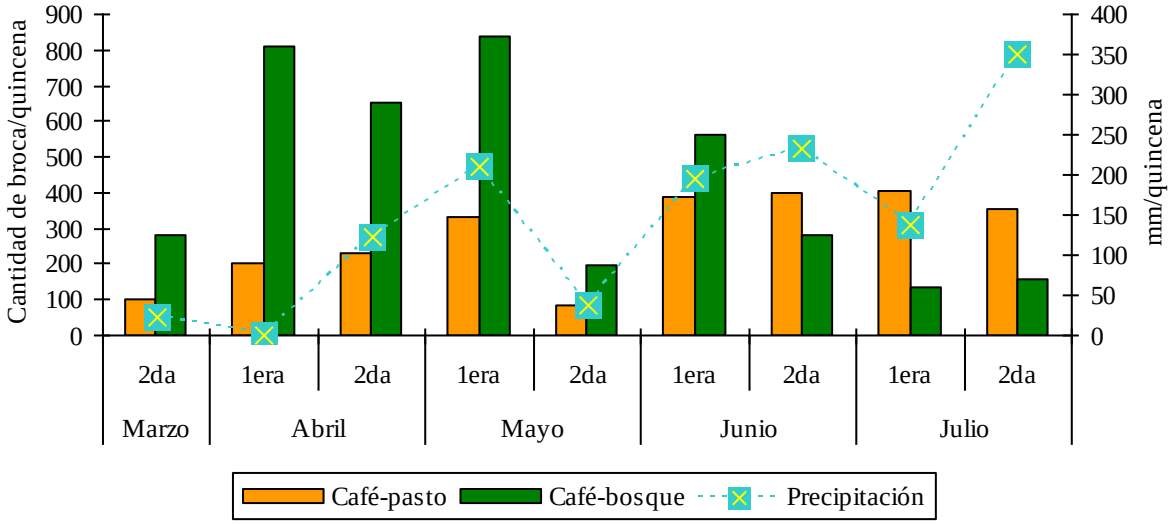

Figura 14. Comportamiento de las precipitaciones quincenales y las capturas de la broca del café en la finca Colima, ubicada en Santa Teresita localidad de Turrialba, Costa Rica 2009.

4.1.9 Disponibilidad de efluvios durante el período de muestreo

La cantidad de efluvios que se libera en cada uso de suelo difieren estadísticamente ($P<0.05$); esto significa que en cada uso de suelo, la cantidad de efluvios disponible alrededor de la trampa era diferente. No hay diferencias significativas en las distancias. No se presentaron interacciones entre el uso de suelo y la distancia (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de varianza de los efectos del uso de suelo y la distancia sobre la cantidad de efluvios disponibles en las trampas, en dos fincas ubicadas en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17192.6	46	373.75	1.57	0.0286
Uso de suelo	11417.4	3	3805.8	15.95	<0.0001
Distancia	1541.17	16	96.32	0.4	0.9793
Uso * distancia	4234.01	27	156.82	0.66	0.8959
Error	27435.8	115	238.57		
Total	44628.3	161			

El uso de suelo bosque fue el que presentó diferencias estadísticas con respecto a los otros usos. Las medias de disponibilidad de efluvios por trampa por día fueron los siguientes: para el uso pasto había un promedio de 195.8 mg, en tanto en el uso caña de azúcar hubo un promedio de 191.0 mg. En el uso bosque hubo menor disponibilidad 174.1 mg. En las trampas ubicadas en café fue de 189.2 mg.

Además en los usos caña de azúcar y pasto las trampas estaban más expuestas a condiciones ambientales adversas, la variación en la cantidad de efluvios por trampa por día fue mayor (*CV* 7.2 y 7.7 respectivamente). Este comportamiento no fue similar en las trampas ubicadas dentro del bosque (*CV* 5.1) donde la presencia de árboles, contribuyó a que la variabilidad de los efluvios emitidos fuera menor y que éstos permaneciera en el espacio circundante a la trampa.

4.1.10 Relación entre la vegetación, la apertura de dosel en los bosques y las capturas de broca.

Se presentó diferencias significativas entre las distancias ($P<0.05$) de las trampas dentro del bosque, siendo la trampa cinco la que difiere a las demás. No existe efecto

significativo de la covariable índice de variabilidad sobre la captura de broca dentro del bosque (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza del efecto de la variabilidad estructural sobre las capturas de broca dentro de cuatro bosques, ubicados en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	4897.03	28	174.89	1.04	0.4412	
Finca	369.67	3	123.22	0.73	0.5379	
Distancia	2299.54	6	383.26	2.27	0.0495	
Índice de variabilidad	122.89	1	122.89	0.73	0.3969	1.59
Finca * distancia	1763.97	18	98	0.58	0.8978	
Error	9269.78	55	168.54			
Total	14166.81	83				

La apertura del dosel presentó diferencia estadísticas significativas (P =0.04) únicamente entre los bosques. La covariable porcentaje de sombra no fue significativa, por lo tanto, las capturas de broca dentro de los bosque no estuvieron influencia por esta covariable. El bosque que es diferente a los demás se ubica en la finca del CATIE, ahí se presentaron mayores capturas dentro del bosque (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza del efecto de la apertura del dosel sobre las capturas de broca dentro de cuatro bosques, ubicados en el cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	13792.87	56	246.3	1.06	0.3931	
Distancia	3529.07	13	271.47	1.17	0.3132	
Bosque	1991.85	3	663.95	2.85	0.0405	
% sombra	21.56	1	21.56	0.09	0.7614	-0.06
Distancia * bosque	7716.38	39	197.86	0.85	0.7133	
Error	25825.77	111	232.66			
Total	39618.64	167				

El bosque ubicado en Maquina vieja (92.0%). presentó menor porcentaje de apertura del dosel y el bosque situado en la finca el Romeral (74.7 %) tiene mayor apertura del dosel; por lo tanto es aquí donde las trampas quedaban más expuestas a la radiación solar. No obstante, las capturas de broca dentro del bosque fueron menores.

4.1.11 Conectividad funcional

La herramienta FunConn generó un raster, donde se muestra una alta proporción de parches funcionales. Estos a su vez se encuentran conectados a través corredores (Figura 15). Del área analizada la proporción por uso suelo fue la siguiente: Plantación forestal 1%, no forestal 1%, cultivos anuales y perennes 2%, caña de azúcar 5%, charrales 5%, café 10%, pasto y pasto arbolado 27% y bosque 48%.

La mayor proporción (80%) de uso de suelo (caña, pasto y bosque) que estuvieron dentro del análisis, corresponden a los usos donde se realizó trampeo de broca. Además, estos usos son los que generan conectividad entre los parches de café, a excepción del uso de suelo bosque.

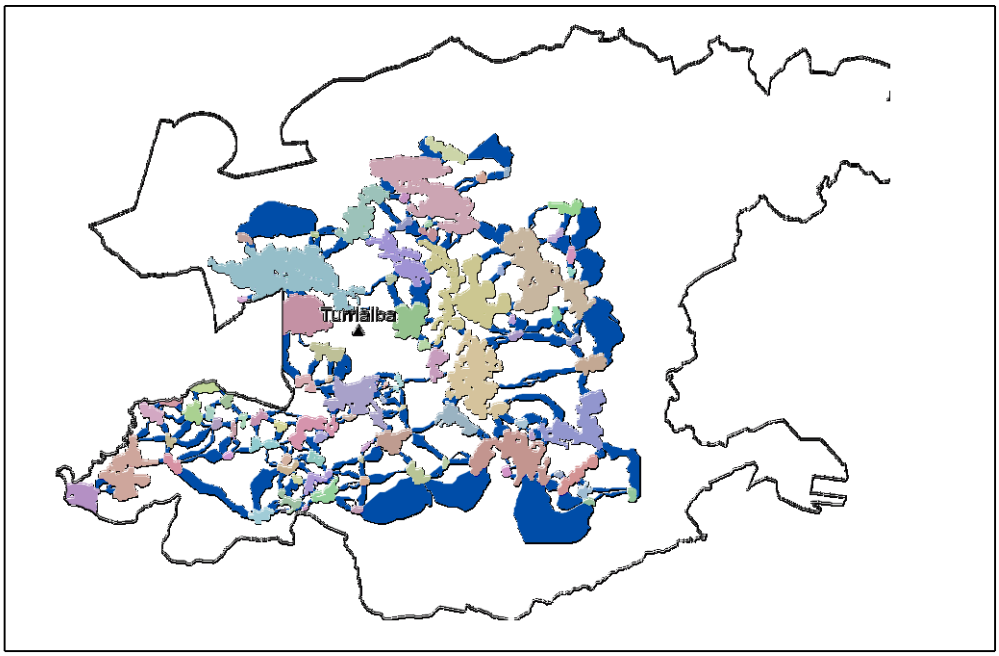

Figura 15. Delimitación de los parches y corredores funcionales para el movimiento de la broca del café dentro del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca. Los parches de diversos colores indican los parches funcionales y las franjas azules son los corredores que conectan a estos parches funcionales.

4.2 Efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña) sobre las poblaciones *H. hampei* en frutos y el porcentaje de infestación.

4.2.1 Estructura general de la población de H. hampei en las diferentes categorías de frutos.

La población total de (suma de todos los muestreos) hembras y estados inmaduros de broca por categoría de frutos, se comportó de la siguiente manera: en los frutos secos de planta y de suelo el mayor porcentaje correspondió a hembras vivas (32 y 35% respectivamente); de igual manera en los frutos verdes la mayoría de la población eran hembras (33 %), en cambio en los frutos maduros corresponde a las larvas (34%). La mayor cantidad de hembras muertas se encontraron en los frutos secos en suelo (Figura 16).

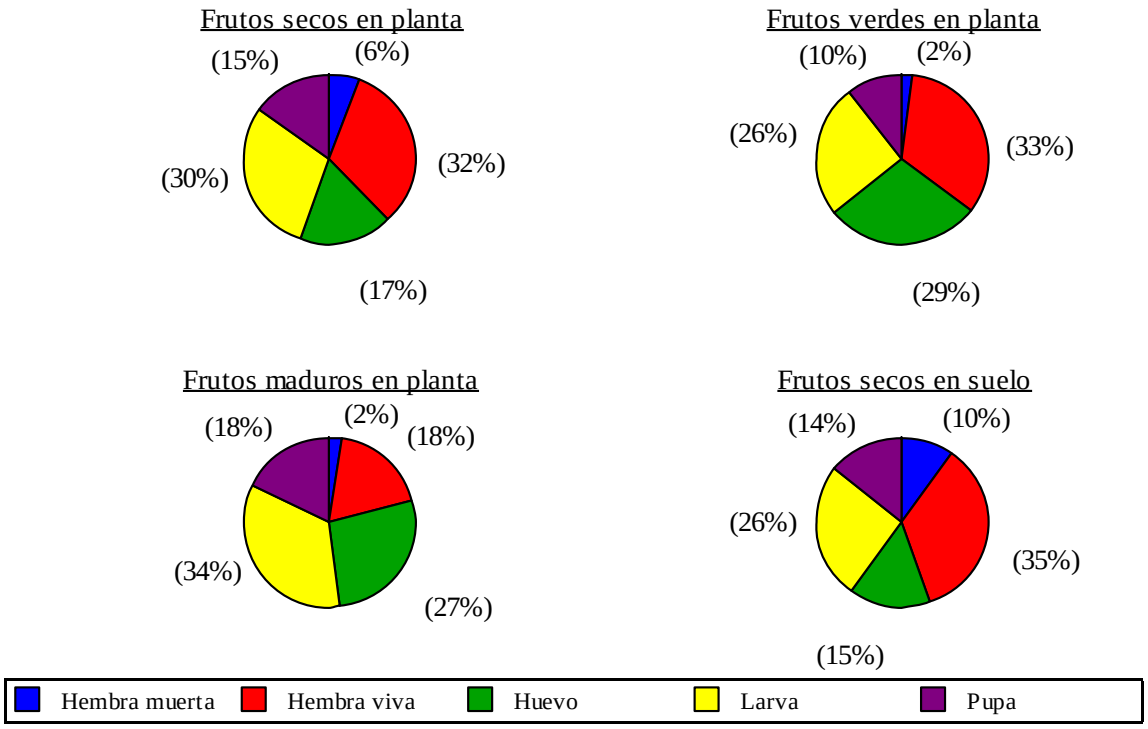

Figura 16. Población total de adultos y estados inmaduros de broca en seis muestreos (2160 frutos por categoría/mes) realizados en doce lotes de café, ubicados seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

4.2.2 Incidencia del uso de suelo adyacente, de las categorías de fruto y del tiempo sobre las poblaciones de hembras.

No hay influencia del uso de suelo adyacente a los cafetales sobre la población de hembras ($P > 0.05$). Sí hay diferencia significativas entre las fechas, entre las categorías de frutos e interacción entre la categoría de fruto por mes ($P<0.05$). Se observa un efecto altamente significativo de la covariable altitud ($P<0.01$) sobre la población de hembras. La relación es negativa, lo cual indica que a mayor altitud hay menos población de broca (Cuadro 15).

Cuadro 15. Análisis de varianza de los efectos del uso de suelo adyacentes a las áreas de café, categorías de fruto y las fechas de muestreo sobre la población de hembras de Hypothenemus hampei en frutos residuales y de la nueva cosecha.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	2862.83	42	68.16	4.72	<0.0001	
Uso de suelo adyacente	24.14	2	12.07	0.84	0.4347	
Categoría de fruto	1049.89	3	349.96	24.24	<0.0001	
Tiempo	232.45	5	46.49	3.22	0.0078	
Altura	402.03	1	402.03	27.85	<0.0001	-0.01
Uso de suelo *categoría	14.22	6	2.37	0.16	0.9860	
Uso de suelo * mes	206.38	10	20.64	1.43	0.1677	
Categoría de fruto * mes	799.17	15	53.28	3.69	<0.0001	
Error	3537.21	245	14.44			
Total	6400.03	287				

En el mes de febrero fue cuando se presentaron los mayores promedios (10.9 hembras por fruto). Este es diferente estadísticamente de los meses de junio y julio. A partir del mes de mayo baja drásticamente la cantidad de hembras en frutos secos en planta y comienza a crecer la población en frutos maduros (Figura 17).

Los frutos secos que se encuentran en las plantas son los que tienen los mayores promedios de hembras (5 hembras por fruto) Con relación al promedio de hembras voladoras en frutos secos de suelo y de planta, los resultados indican que el promedio de hembras casi siempre fue mayor en los frutos secos de planta (Figura 18). El máximo de hembras en un fruto seco de planta fue de 95 individuos.

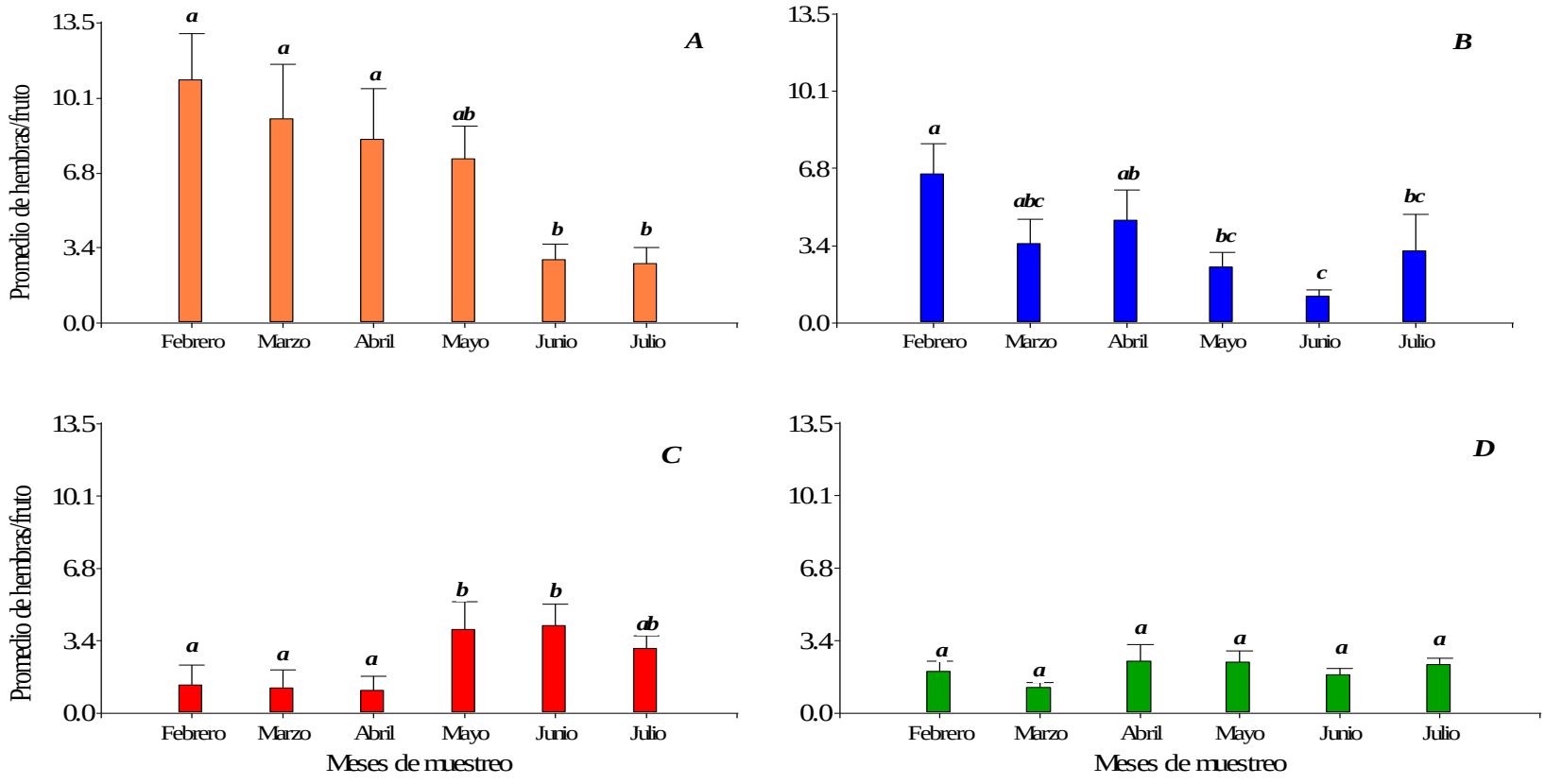

Figura 17. Comportamiento temporal de los promedio de hembras por frutos en las diferentes categorías, en doce lote de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: Frutos secos en planta, B: Frutos secos en suelo, C: Frutos maduros en planta y D: Frutos verdes en planta.

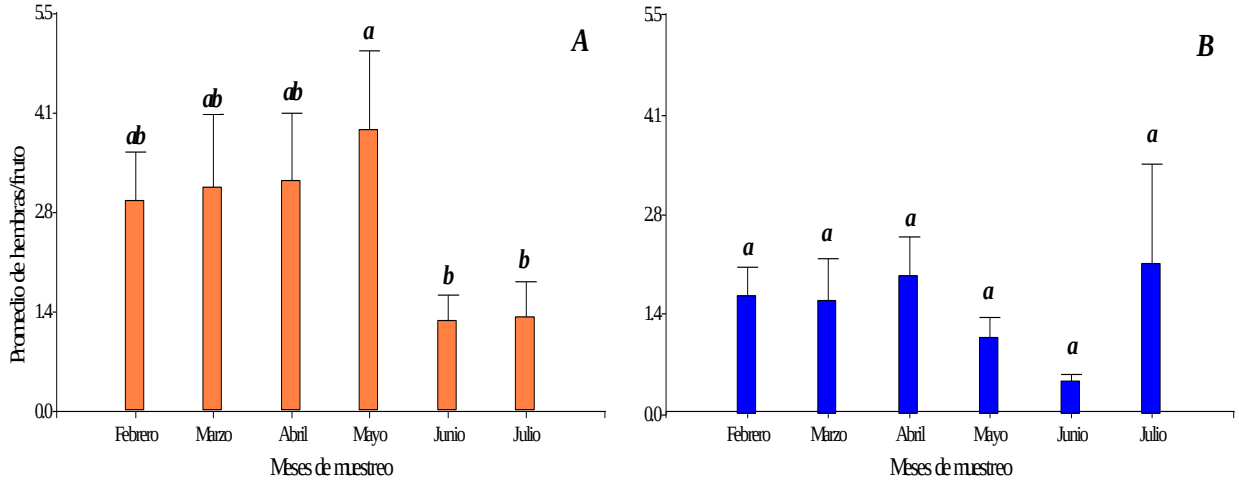

Figura 18. Promedio de hembras voladoras en frutos secos en plantas y en suelo en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: frutos secos en planta y B: frutos secos en suelo.

4.2.2.1 Evolución de los diferentes estados inmaduros a través del tiempo.

El número de huevos larvas en los frutos secos (en planta y en suelo) es decreciente a través del tiempo. En los meses de febrero y marzo los promedios de los estadios de huevo y larva son mayores con respecto al estado de pupa. Después del mes de abril, la cantidad de pupas tiende a superar la cantidad de huevos y larvas, especialmente en el caso de los frutos secos del suelo (Figura 19 A y 19 B).

Con relación a los frutos verdes en planta, el estado de huevo tiene un comportamiento bastante estable a través del tiempo. En este tipo de fruto, el estadio de pupa es poco frecuente y el estado de larva es variable casi en todos los meses (Figura 19 C)

En los frutos maduros, la cantidad de individuos de los tres estadios tiende a crecer a través del tiempo. En los meses de febrero, marzo y abril se observa menor proporción de estos estadios. A partir del mes de abril, los promedios de los tres estadios crecen drásticamente y luego hay una pequeña inflexión en el mes de julio (Figura 19 D).

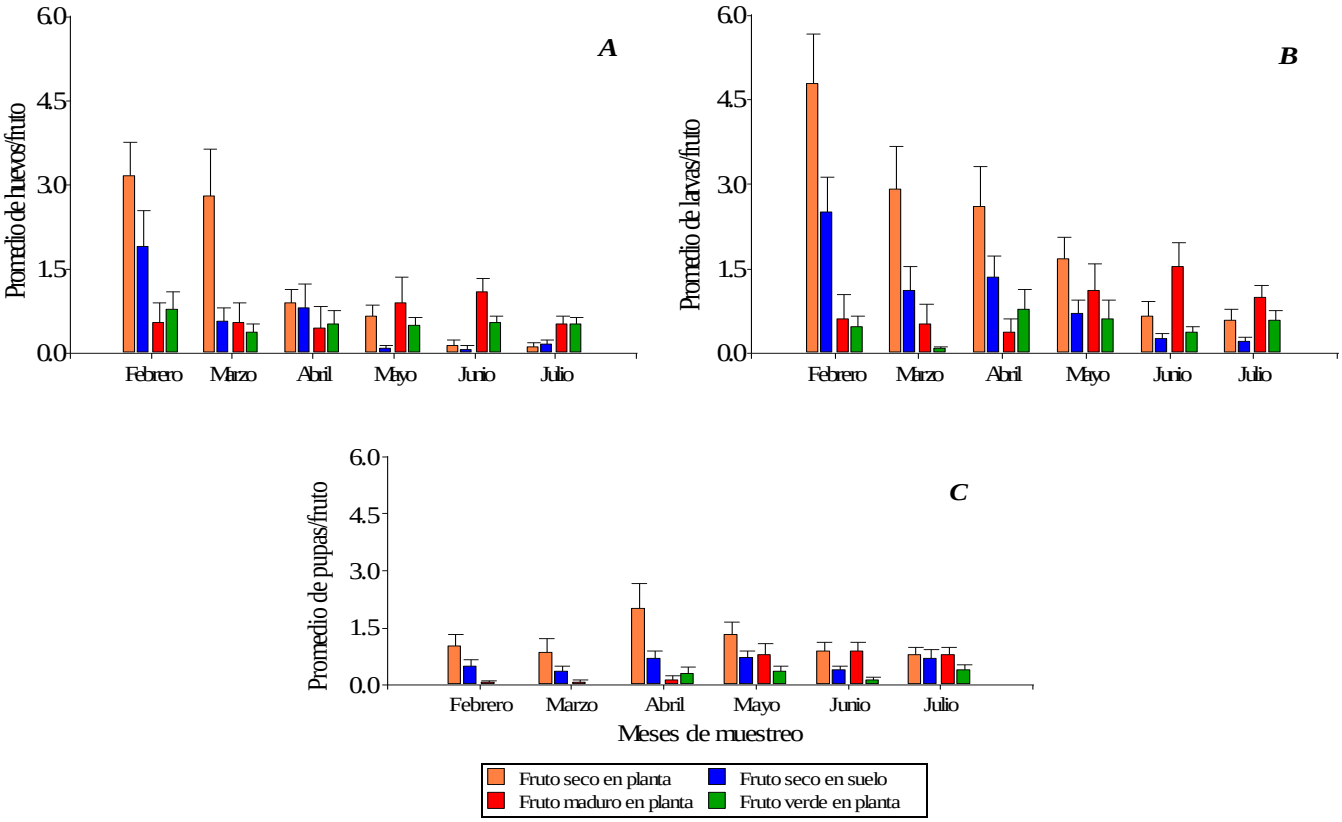

Figura 19. Evolución temporal del promedio de estados inmaduros de Hypothenemus hampei por fruto, en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: promedio de huevos por fruto, B: promedio de larvas por fruto y C: promedio de pupas por fruto.

4.2.3 Efectos sobre el nivel de infestación de H. hampei.

4.2.3.1 Evolución de la cantidad de frutos aptos a través del tiempo de acuerdo al uso de suelo adyacente.

El análisis estadístico indica que hay diferencias significativas (P <0.05) entre las fincas, y entre las meses de muestreo (P<0.05). Se encontró efecto significativo entre la interacción finca por el tiempo. La finca del CATIE es la que presenta mayores promedios de frutos aptos donde la broca puede ovipositar (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza de los efectos del tiempo de muestreo sobre el promedio de frutos aptos por rama.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	75223.22	29	2593.9	6.06	<0.0001
Finca	23480.57	5	4696.1	10.98	<0.0001
Tiempo	33420.47	4	8355.1	19.53	<0.0001
Finca *tiempo	18322.19	20	916.1	2.14	0.0288
Error	12832.55	30	427.7		
Total	88055.77	59			

Desde marzo se encontraron frutos disponibles para ser colonizados; sin embargo, fue en los meses de mayo, junio y julio donde se encontraron los mayores promedios de frutos por rama (91, 104 y 106 respectivamente) estos difieren estadísticamente de los meses marzo y abril (Figura 20).

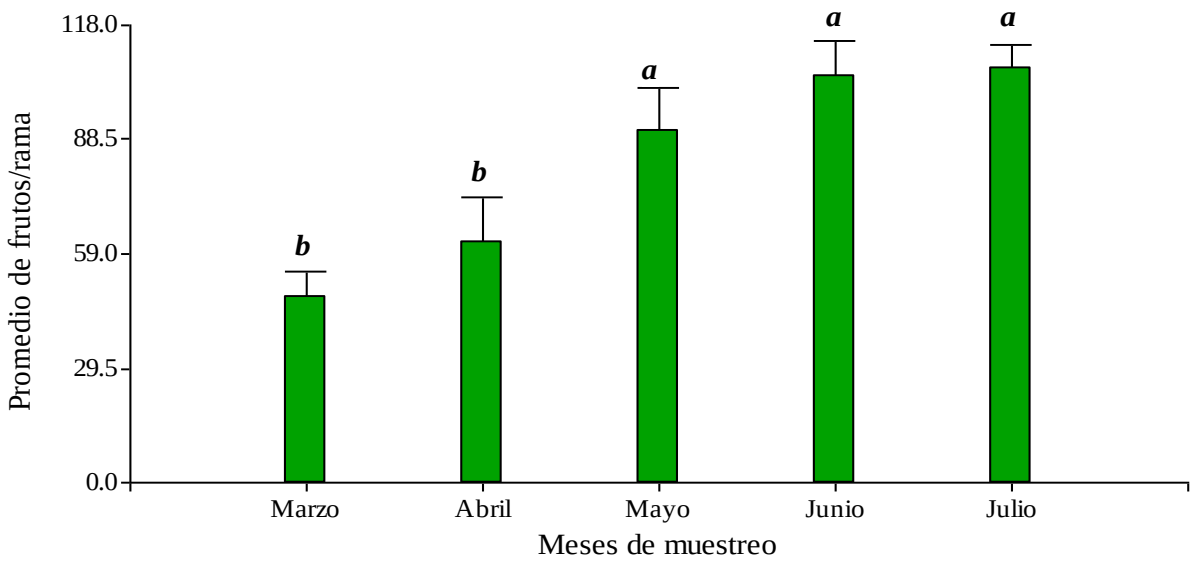

Figura 20. Disponibilidad de frutos aptos a través del tiempo, en doce lotes de café adyacentes a bosque, caña y pasto, ubicados seis fincas del cantón de Turrialba Costa Rica, 2009.

En el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas (P >0.05) entre los usos de suelo adyacentes a los cafetales, pero sí entre las fechas de muestreo (P<0.01). También se encontró efecto significativo (P <0.01) de la covariable altitud sobre el

promedio de frutos brocados por rama, esto significa que a mayor altitud menor broca (Cuadro 17).

Cuadro 17. Análisis de varianza de los efectos del uso de suelo adyacente a las áreas de café y la fecha de muestreo sobre el promedio de frutos brocados por rama.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	471.06	15	31.4	6.59	<0.0001	
Uso de suelo adyacente	3.68	2	1.84	0.39	0.6822	
Tiempo	216.25	4	54.06	11.35	<0.0001	
Altura	185.95	1	185.95	39.02	<0.0001	-0.01
Uso adyacente * tiempo	4.74	8	0.59	0.12	0.9979	
Error	209.67	44	4.77			
Total	680.73	59				

Los meses de marzo y abril presentan menor cantidad de frutos brocados. Desde el primer muestreo se observa un aumento en el promedio de frutos brocados por rama. Se presenta una ligera inflexión en el mes de junio, pero la pendiente continúa su ascenso en los meses siguientes (Figura 21).

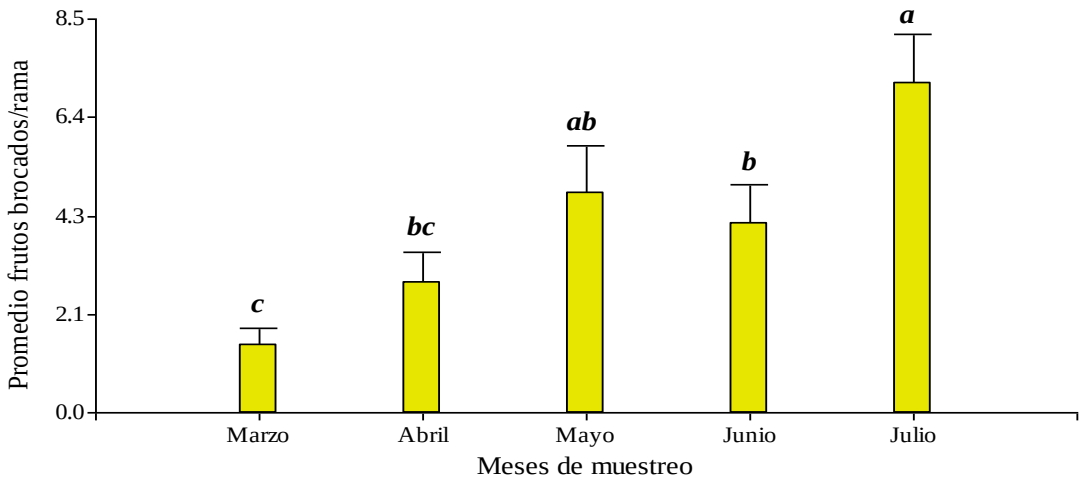

Figura 21. Comportamiento temporal de los promedios de frutos brocados por rama, en doce lotes de café adyacentes a bosque, caña y pasto, ubicados en el Cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

4.3 Efecto del contexto paisajístico (bosque, pasto y caña de azúcar) sobre la abundancia de hormigas depredadoras de *H. hampei*.

4.3.1 Resultados generales de las capturas totales de hormigas en las localidades en estudio.

Se realizaron 72 eventos de muestreos (576 puntos de capturas), donde se capturaron (parte media de las plantas de café) 34,024 individuos de la subfamilia *Myrmicinae*. La abundancia por especie y en orden de importancia fue la siguiente: un 49.6 % de *Pheidole radoszkowskii*, un 45.8 % de *Solenopsis geminata* y un 4.5 % a otras especies.

El comportamiento en las capturas de acuerdo al uso de suelo adyacente fue el siguiente: en café-bosque un 68.1 % correspondió a *P. radoszkowskii* y el 31. 9 % de las capturas fue de *S. geminata*; en tanto en café-caña un 66.2 % de *P. radoszkowskii* y 33.8 % eran de la especie *S. geminata*, y en café-pasto un 78.5 % de las capturas correspondieron a *S. geminata* y sólo un 21.5 % a *P. radoszkowskii.*

Las capturas de *S. geminata* fueron más altas en las fincas El Romeral y El Volcán. Los resultados generales de abundancia por lote de café variaron según el uso de suelo adyacente, entre el 0.9-9.0 % (café-bosque), 0-16.4 % (café-caña) y 8.7-19.8 % (café-pasto) (Cuadro 18).

En cambio las mayores capturas de *P. radoszkowskii* se presentaron en las fincas del CATIE y Maquina Vieja. La abundancia de esta especie fluctuó entre 6.0- 16.0 % en los cafetales adyacentes a bosque, 5.1-22.5 % en los cafetales colindantes con caña y 0.2- 4.6 % en los cafetales adyacentes a pasto (Cuadro 18).

Cuadro 18. Cantidad de hormigas capturadas en seis muestreos mensuales, en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009.

Localidad	Uso adyacente	*S. geminata*	Porcentaje	*P. radoszkowskii*	Porcentaje	Otras especies	Porcentaje
CATIE	Café-bosque	1076	6.9	1446	8.6	165	10.7
	Café-caña	207	1.3	3803	22.5	853	55.3
Maquina Vieja	Café-bosque	139	0.9	2705	16	40	2.6
	Café-caña	0	0	2233	13.2	65	4.2
El Romeral	Café-bosque	318	2	1006	6	104	6.7
	Café-pasto	2180	14	698	4.1	61	4
Colima	Café-bosque	1401	9	1118	6.6	37	2.4
	Café-pasto	1359	8.7	684	4.1	105	6.8
More Costa Rica	Café-caña	1534	9.8	1509	8.9	32	2.1
	Café-pasto	1757	11.3	782	4.6	0	0
El Volcán	Café-caña	2556	16.4	865	5.1	81	5.2
	Café-pasto	3082	19.7	32	0.2	0	0

4.3.2 Abundancia de S. geminata y P. radoszkowskii de acuerdo al uso adyacente a los cafetales y el tiempo.

Se encontraron diferencias significativas ($P< 0.05$) entre los usos de suelo en las capturas de *P. radoszkowskii.* También se encontraron diferencias significativas ($P< 0.01$) entre los tiempos de muestreo. No se encontraron diferencias significativas entre las distancias estudiadas. De igual manera, no se presentaron interacciones entre los factores, tampoco se encontró efecto de la covariable altitud sobre las capturas (Cuadro 19).

Cuadro 19. Valores de F y probabilidades asociadas en el análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y el tiempo de muestreo de Pheidole radoszkowskii.

	gl	denDF	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	1	528	27.2822	<0.0001	
Uso de suelo	2	528	6.6071	0.0015	
Distancia	3	528	0.7607	0.5165	
Tiempo	5	528	3.4848	0.0042	
Altura	1	528	0.748	0.3875	-0.0018
Uso de suelo * distancia	6	528	1.3043	0.2533	
Uso de suelo * tiempo	10	528	0.7705	0.6574	
Distancia * tiempo	15	528	0.5193	0.9305	

Las medias indican que los lotes de café adyacentes a caña (43.8) son los que difieren estadísticamente con respecto a los cafetales adyacentes a pasto (11.4) y bosque (32.7). Estos últimos no difieren estadísticamente; sin embargo, las medias indican mayor

abundancia de ésta especie en los cafetales adyacentes a bosque. Las capturas de esta especie fueron ascendentes a través del tiempo en los usos de suelo caña y bosque. En tanto en el uso de suelo pasto las capturas casi fueron estables en el tiempo. Sólo los meses de febrero y julio son los que difieren estadísticamente (Figura 22).

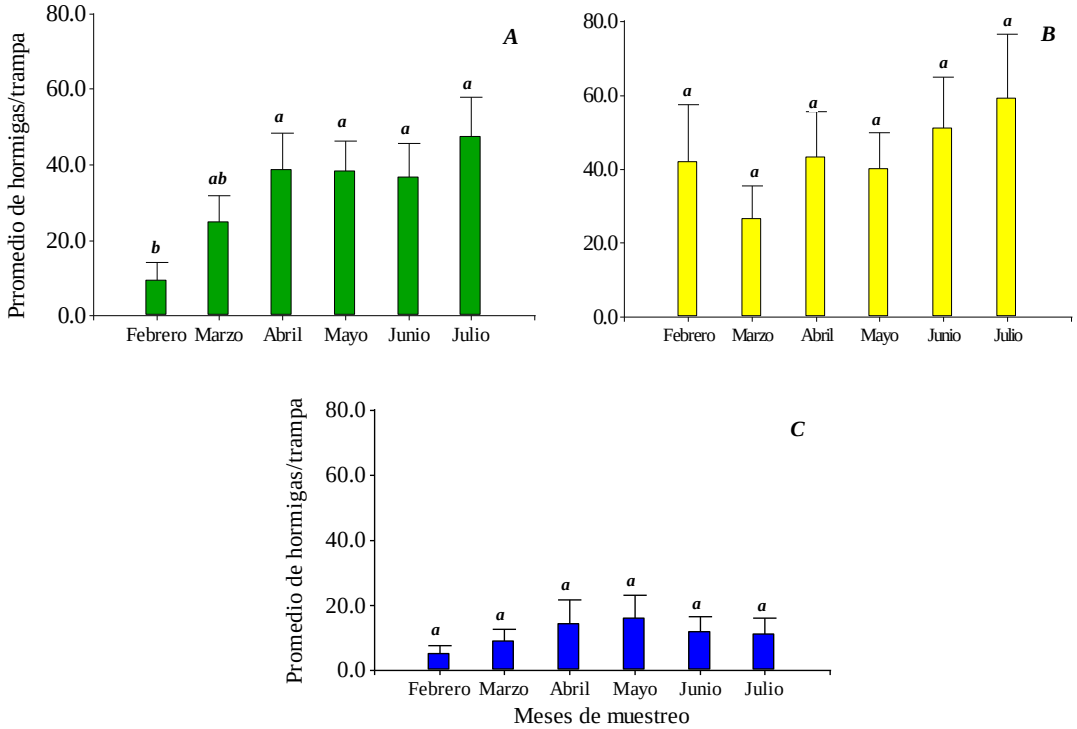

Figura 22. Comportamiento temporal de las capturas totales de Pheidole radoszkowskii en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: Café-bosque, B: Café-caña y C: Café-pasto

Hay diferencias significativas entre los usos adyacentes para la abundancia de *S. geminata* ($P<0.05$). En la distancia se observó un ligera influencia, pero es no significativa ($P>0.05$). El tiempo no presentó diferencias significativas. Además no se encontraron interacciones entre los factores estudiados. Se presentó una ligera influencia de la covariable altitud sobre la abundancia de esta especie (Cuadro 20).

Cuadro 20. Valores de F y probabilidades asociadas en el análisis de varianza de los efectos del uso de suelo, la distancia y el tiempo de muestreo de Solenopsis geminata.

	gl	denDF	F	p-valor	Coeficiente
Modelo	1	528	9.55006	0.0021	
Uso de suelo	2	528	8.49357	0.0002	
Distancia	3	528	2.44483	0.0632	
Tiempo	5	528	1.84042	0.1033	
Altura	1	528	3.73943	0.0537	-0.00415
Uso de suelo * distancia	6	528	1.14773	0.3333	
Uso de suelo * tiempo	10	528	0.51615	0.8792	
Distancia * tiempo	15	528	0.42794	0.971	

Las medias indican que los cafetales adyacentes a pastos presentaron (43.7) mayor población de esta especie. Estos difieren estadísticamente de los usos café-caña (22.4) y a los café-bosque (15.3). También esta especie fue encontrada en los cafetales adyacentes a caña y bosque, siendo este último hábitat su segunda opción. A través del tiempo esta especie fue más constante en los cafetales adyacentes a pasto (Figura 23).

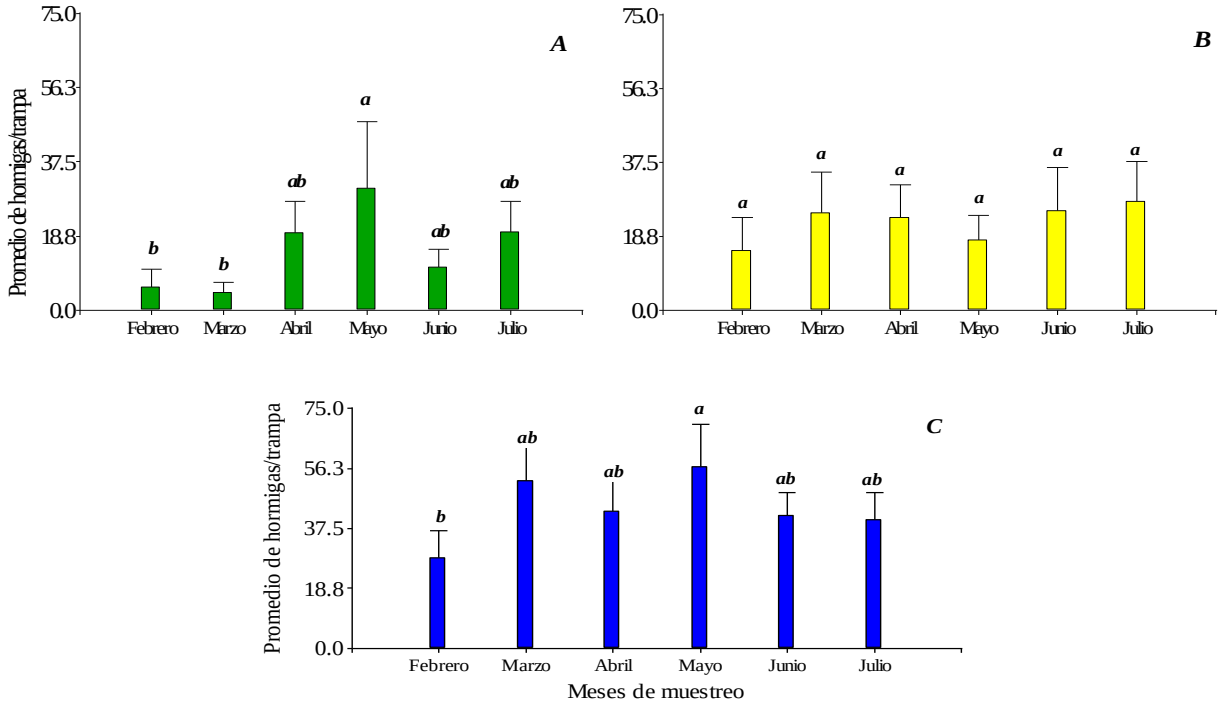

Figura 23. Comportamiento temporal de las capturas totales de Solenopsis geminata en doce lotes de café, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009. A: Café-bosque, B: Café-caña y C: Café-pasto.

4.3.3 Abundancias poblacionales y su relación con la distribución de la precipitación.

No se observa la relación entre la abundancia de las dos especies y la distribución de las precipitaciones. Al parecer éstas no generaron ninguna influencia. No se visualizan los contrastes entre la época seca y la estación lluviosa (Figura 24 y 25).

En la finca del CATIE, las mayores capturas de ambas especies se obtuvieron en el tiempo seco (abril y mayo). Sin embargo, durante el período de muestreo *S. geminata* solamente apareció una vez en el cafetal adyacente a caña y tres veces en el cafetal adyacente a bosque. Por el contrario *P. radoszkowskii* demostró mayor abundancia y permanencia a través del tiempo, independientemente del comportamiento de las precipitaciones (Figura 24).

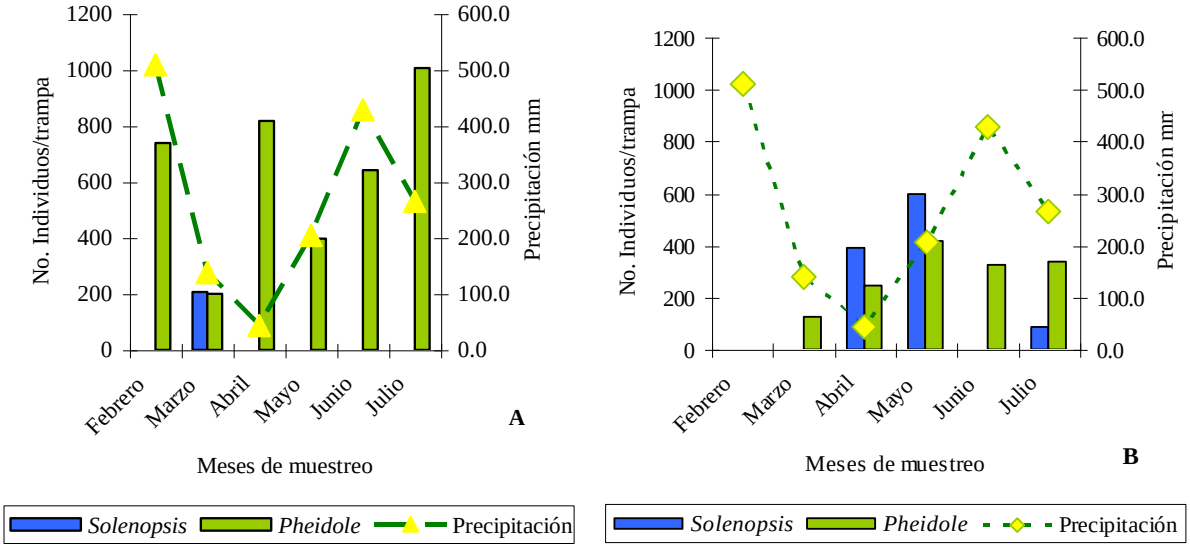

Figura 24. Abundancia en el tiempo de Solenopsis geminata y Pheidole radoszkowskii y su relación con la distribución de las precipitaciones en la finca del CATIE Turrialba, Costa Rica 2009. A (Cafetal adyacente a caña), B (Cafetal adyacente a bosque).

En la finca Colima al parecer las mayores capturas para ambas especies y en los dos hábitats se presentaron en el tiempo seco. Tanto en el café adyacente a pasto como en el cafetal adyacente a bosque fue notoria la mayor abundancia y presencia de *S. geminata* en los seis meses de estudio. Sin embargo, aunque en menor proporción *P. radoszkowskii*, logró mantener su presencia en ambos sitios muestreados (Figura 25).

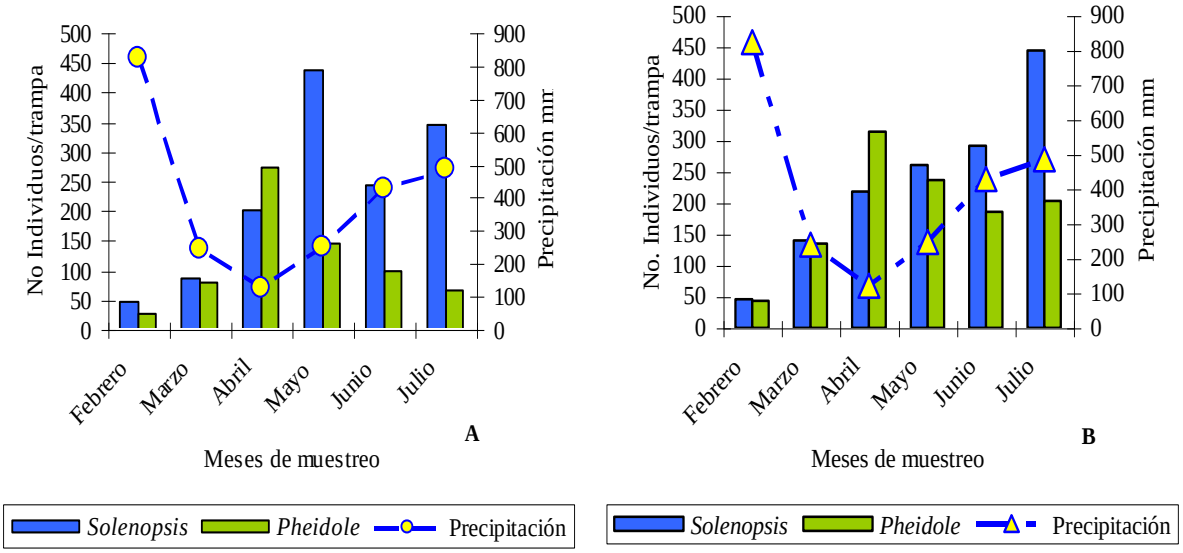

Figura 25. Abundancia en el tiempo de Solenopsis geminata y Pheidole radoszkowskii y su relación con la distribución de las precipitaciones en la finca Colima Turrialba, Costa Rica 2009. A (Cafetal adyacente a pasto), B (Cafetal adyacente a bosque).

4.3.4 Relaciones entre la presencia de S. geminata, P. radoszkowskii, la broca, la altura y la sombra.

Las variables activas, la sombra, las hormigas y la altitud, están todas bien representadas en los primeros dos ejes del análisis de componentes principales. En cambio, las variables inactivas: frutos brocados, hembras vivas y muertas, trampeo de broca y los estados inmaduros encontrados en los frutos, tienen lógicamente una menor representación, aunque ésta es aceptable. Las variables conteo de *S. geminata*, *P. radoszkowskii*, frutos brocados, hembras vivas, hembras muertas, trampeo de broca, huevo, larva, pupa y altitud se ubican en el componente 1 y por lo tanto están asociados. En el componente 2 únicamente se ubica la variable sombra, la cual es independiente de las variables antes mencionadas (Figura 26).

En el plano 1, 2 las dos especies de hormigas se ubican de manera opuestas en el eje 1. Se observa que la altitud está más relacionada positivamente con *S. geminata* y por lo tanto negativamente con *P.radoszkowskii*. La asociación con las variables de broca es negativa para *S. geminata* y positiva para *P.radoszkowskii*.

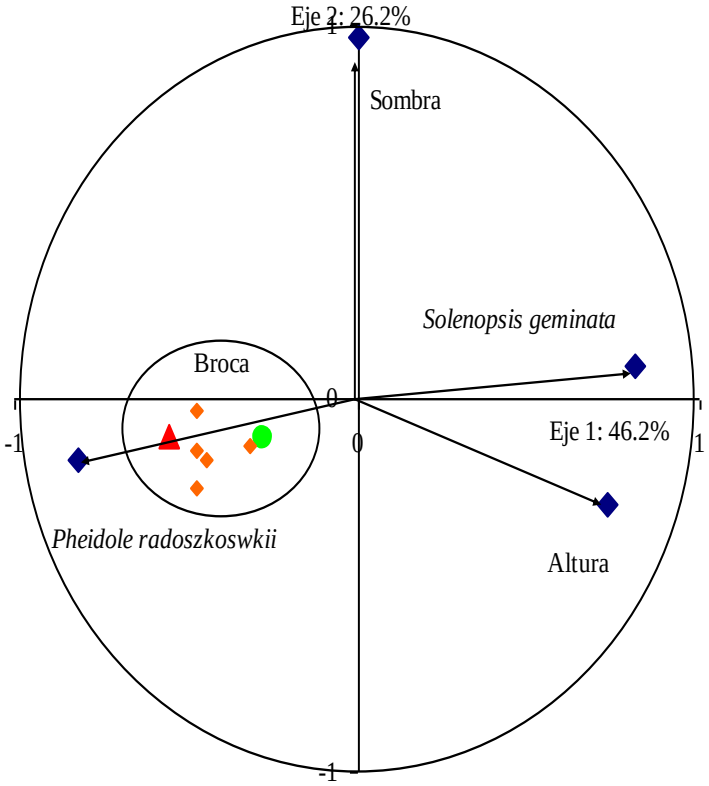

Figura 26. Representación de las variables en los primeros dos ejes (1 y 2) del análisis en componentes principales en él que Solenopsis geminata, Pheidole radoszkowskii, altura y sombra son variables activas y los diferentes estadios de la broca en frutos, los frutos brocados y la cantidad de broca capturada en las trampas son variables inactivas. Turrialba, Costa Rica 2009. Los porcentajes indican la parte de la variabilidad explicada por cada eje. Triángulo rojo (frutos brocados), círculo verde (broca en trampa) y rombos naranja (estadios de broca)

En el plano 1,3 hay una mejor representación de las hormigas y de la altura, que en el plano 1,2 y es la representación que permite ver mejor las variables de broca. La sombra en cambio no está bien representada. Se mantiene la oposición entre hormigas, a pesar de que la relación con la altitud no es buena (casi independencia). Las variables de broca se ven claramente opuestas a la altura, y asociadas positivamente a *P. radoszkowskii* (Figura 27).

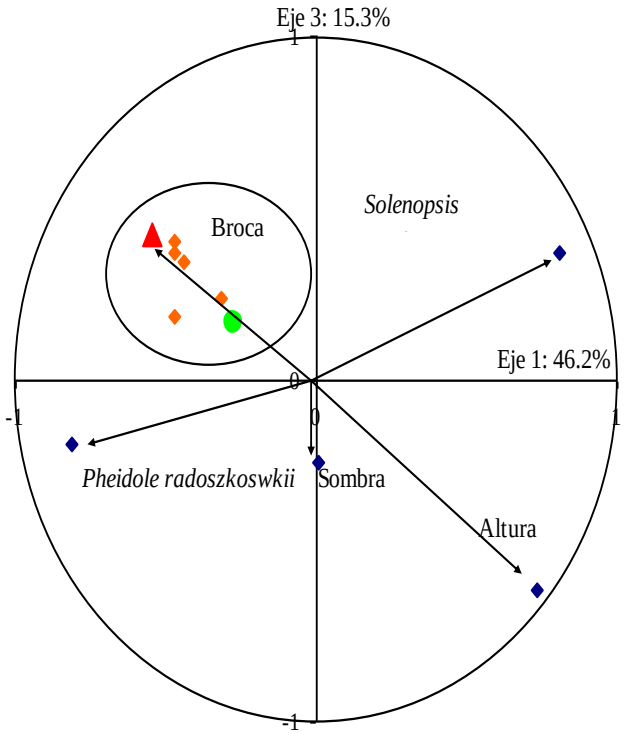

Figura 27. Representación de las variables en los ejes 1 y 3 del análisis en componentes principales en él que Solenopsis geminata, Pheidole radoszkowskii, altura y sombra son variables activas y los diferentes estadios de la broca en frutos, los frutos brocados y la cantidad de broca capturada en las trampas son variables inactivas. Turrialba, Costa Rica 2009. Los porcentajes indican la parte de la variabilidad explicada por cada eje. Triángulo rojo (frutos brocados), círculo verde (broca en trampa) y rombos naranja (estados de broca).

La representación de los individuos en el plano 1,3 evidencia que las hormigas están distribuidas de acuerdo al uso de suelo adyacente a los cafetales. La ubicación de los cafetales adyacentes al uso pasto (CP) coincide con la ubicación de *S. geminata* en la representación 1,3 de las variables. Por su parte *P. radoszkowskii* se localiza en los valores negativos del eje 1, donde se encuentran principalmente los cafetales adyacentes a bosque (CB) y un poco el uso caña (CC). Asimismo, las variables de broca se encuentran representadas en el espacio donde hay predominancia de cafetales adyacentes a bosque (CB) (Figura 28).

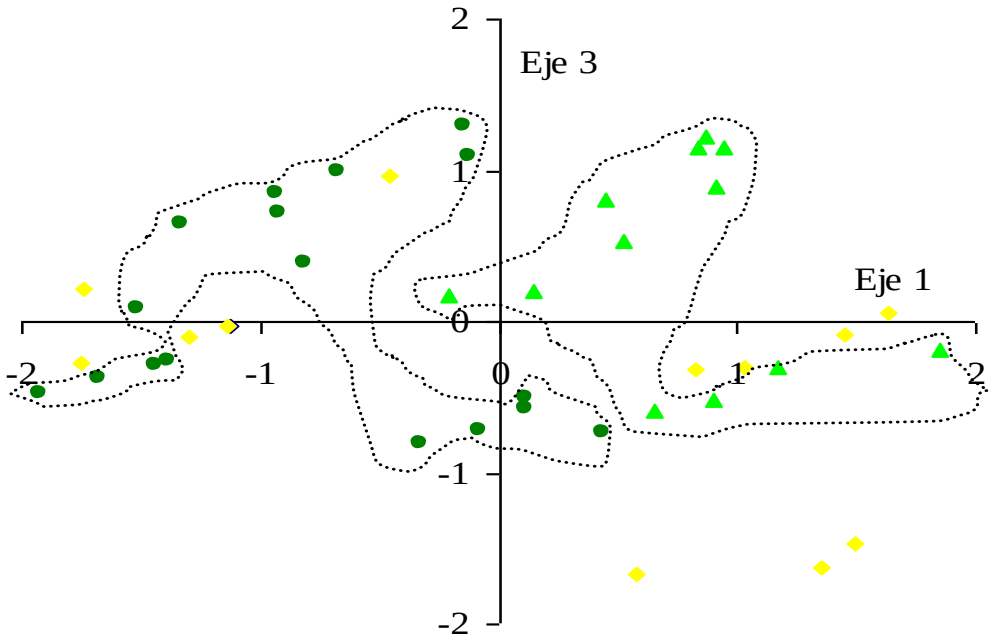

Figura 28. Representación de los individuos, de acuerdo al uso del suelo adyacente, en los componentes 1 y 3 del Análisis en Componentes Principales en él que Solenopsis geminata, Pheidole radoszkowskii, altura y sombra son variables activas y los diferentes estadios de la broca en frutos y la cantidad de broca capturada en las trampas son variables inactivas, Turrialba, Costa Rica. Puntos verdes: café-bosque, rombos amarillos: café-caña, triángulos verdes: café-pasto.

5 DISCUSIÓN

5.1 Comportamiento espacial y temporal de *H. hampei* fuera de los lotes de café y los factores que lo afectan.

Desde los años 30 son muchos los estudios realizados para conocer la ecología y biología de *H. hampei*, (Corbett, 1933; Sladden, 1934; Bergamin, 1943; Ticheler, 1961; Baker, 1984; Baker et ál., 1992; Rodríguez et ál., 2008). Sin embargo, los patrones dispersión de *H. hampei* en el campo y la influencia del paisaje es un tema poco estudiado (Benavides et ál., 2004).

Algunos estudios reflejan que este insecto tiene poca capacidad para volar y que la dispersión puede hacerla a cortas distancias entre 200 y 300 m como máximo (Leplay 1923 citado por Dufour et ál., 1999). En tanto Baker (1984) en su estudio en laboratorio encontró que una hembra puede tener vuelos hasta 400 m; también menciona que en general las brocas no vuelan muy bien y que los medios más comunes para dispersarse son la ropa y equipo de los trabajadores y el traslado de frutos infestados. En otro estudio realizado por Mathieu et ál. (1999) sobre la progresión de infestación de *H. hampei*, y en el cual ubicaron trampas fuera de las áreas de café, los resultados obtenidos plantean que las capturas de broca en dichas trampas son aproximadas a cero.

Sin embargo, bajo las condiciones climáticas y ambientales de Turrialba, se capturaron hembras de *H. hampei* en los usos de suelo adyacentes a los parches de café. Aunque estas capturas son relativamente bajas comparadas con las capturas dentro de las áreas de café (Maquina vieja de las capturas totales un 32.9% se capturó a 10 m y únicamente un 0.04% a 140 m después del borde de café), se capturaron individuos volando hasta los 140 m después del borde de café, principalmente en los usos pasto y caña. Estos resultados indican que las brocas tienen la capacidad de moverse aun en los paisajes heterogéneos. No obstante, son pocas las hembras que poseen esta capacidad, lo cual confirma las conclusiones de Baker, (1984).

Es importante destacar que aunque es baja la cantidad de hembras que se mueven a través del paisaje, probablemente éstas poseen ventajas genéticas con respecto a la población general, tener mayor capacidad de supervivencia, y por lo tanto mejor habilidad para la colonización o recolonización de áreas de café (Dufour et ál., 1999).

Si bien la plaga se dispersó a través de los tres usos de suelos, los resultados señalan que las áreas de bosques representan una barrera física (mayor fricción) para que la broca se mueva entre los parches de café. En cambio, en pasto y caña la plaga encontró mayor permeabilidad para trasladarse entre los parches de café. Las condiciones que ofrecen éstos usos son inhóspitas y se puede admitir que el vuelo es facilitado por las corrientes de vientos que ahí prevalecen (Sladden, 1934; Baker, 1984; Bustillo et ál., 2007).

Aunque los bosques se pueden considerar una barrera física para la dispersión de la broca, este hábitat puede resultar idóneo por la cantidad de plantas dispersas de café que alberga. Además, los bosques podrían también contener hospederos alternos, aunque, la mayoría de los bosques entre los 753 y 1012 m son secundarios, no se reporta predominancia de familia conocidas como hospederos alternos dentro de su composición florística (Ticheler, 1961; Franqui y Medina, 2003). Las familias más comunes son Moraceae, Lauraceae, Arecaceae entre otras (Murrieta, 2006). En tanto las áreas de cañas y los pastizales no presentan condiciones favorables para que este insecto encuentre recursos para sobrevivir.

Asimismo, los resultados del efecto de la sombra del bosque sobre las capturas de broca indican que no hay relación entre el porcentaje de apertura del dosel y la cantidad de broca capturada dentro del bosque. De igual manera, es importante mencionar que la variabilidad de las especies vegetales tampoco influyó en las capturas de broca dentro de los parches de bosque. Se encontró diferencia en distancia, pero esta puede ser atribuida a la cercanía con el cafetal y no a la complejidad estructural de los bosques.

Las mayores capturas de broca dentro de los parches de bosque (63%) se presentaron en la finca del CATIE. Se descartó la influencia de la vegetación y la apertura

del dosel sobre estas capturas. La hipótesis que puede explicar estos resultados es la presencia de planta de café que se encontraron dentro de éste.

Las bajas capturas obtenidas en los usos adyacentes a los lotes de café, probablemente estén asociadas a dos factores biofísicos: la precipitación y el manejo agronómico del cultivo, estos dos factores influyen en el movimiento de esta plaga. El primer factor es importante en la ecología de *H. hampei* y determina la disponibilidad de alimento en el año (Ticheler, 1961). En este sentido, Turrialba se caracteriza por la presencia de lluvias durante casi todo el año, condiciones que favorecen las floraciones continuas, y por lo tanto frutos disponibles para ser atacados por la broca en forma permanente. Por otra parte, las precipitaciones, afectan la dispersión de la broca; ésta no vuela en la presencia de lluvias (Ticheler, 1961). El mes de febrero del 2009 fue especialmente lluvioso, lo cual explica posiblemente la poca dispersión de la plaga. Sin embargo; frente a escenarios cambiantes, la dispersión de *H. hampei* puede también presentar variaciones en el ritmo, la duración y la intensidad (Dufour et ál., 1,999). Es de esperar, por lo tanto patrones de dispersión diferentes a los observados en el 2009 en años menos lluviosos, especialmente en los meses de menor presencia de frutos.

La escasez de recursos determina el movimiento de los insectos, principalmente de los especialistas (Pérez, 1999; Grez y Zaviezo, 2002; Fahrig, 1997). Esta escasez de recursos se relaciona con el manejo agronómico de los cultivos, el cual influye directamente sobre las poblaciones de broca (Decazy, 1990). En este sentido, el manejo de los lotes de café estudiados se considera deficiente, porque era común encontrar frutos de café en el piso y en planta, desechos de las podas sobre las calles. Tampoco se aplican medidas preventivas que contribuyan a disminuir las poblaciones de broca (pepena, repela, graniteo, trampeo). Se utiliza el control químico como única opción para controlar a la broca. Esto explica que los hábitats ofrecían condiciones favorables para la alimentación y reproducción de *H hampei*, lo que no obligó a la población a emigrar en busca de alimento y refugio. Asimismo la presencia de frutos puede atraer a la broca con la misma facilidad que la trampa (Dufour, 2007) y de esta manera se escapan de la misma. En los estudios realizados por Dufour et ál. (2007) durante tres años en El Salvador, indican que las

capturas en las áreas de trampeo dependían de las condiciones agronómicas o del tipo de manejo del cultivo, ellos concluyeron que en cafetales con poco manejo las brocas pueden esquivar las trampas.

Aunque estos factores hayan afectado la dispersión de la broca y su captura, las condiciones eran idénticas para todas las fincas estudiadas. Por lo cual se piensa que las diferencias de dispersión de acuerdo al uso del suelo adyacente que se encontraron son confiables.

Un aspecto técnico que pudo afectar las capturas es la distancia entre transecto. De acuerdo a Borbón (2007) el radio de acción de una trampa no va más allá de los 10 m; es decir, a esta distancia no hay interferencia entre ellas. Al utilizar distancias entre 30 y 40 m entre transectos, esto aseguró una cierta independencia entre éstos, lo cual era deseable, pero no permitió la captura de todos los individuos que emigraron en el espacio de estudio.

Con relación a la cantidad de efluvios disponibles en las trampas ubicadas en los tres usos, éstos estuvieron entre los rangos de difusión atractivos para la broca y recomendados (124 y 347 mg/trampa/día) por Dufour et ál. (2001). El promedio más bajo (182 mg/trampa/día) fue en bosque. Este presenta diferencias significativas en comparación con caña y pasto. En tanto la cantidad de efluvios emanados en los demás usos es muy cercana al promedio que estos mismos autores recomiendan (210 mg/trampa/día). Estas emanaciones de efluvios superiores en pasto y caña pueden explicarse por losa condiciones de exposición al sol de las trampas.

Sin embargo, es probable que las condiciones fueron menos favorables para las trampas ubicadas sobre el uso caña y pasto, ya que éstas estaban más expuestas a la radiación solar, el viento y la lluvia. La difusión del atrayente sube y se diluye en la atmósfera (evaporación). De esta manera la permanencia de los efluvios en el espacio de la trampa era inestable y por lo tanto era menos probable que la broca los percibiera (Dufour, 2007). A pesar de esta condición que pudo conducir a una subestimación de los movimientos de la broca en pasto y caña, fue donde hubo mayores capturas. Por lo

contrario, las condiciones ambientales que generan los árboles garantizan la permanencia de los efluvios en el espacio, lo cual pudo conducir a una mayor eficiencia en la captura de las brocas en el bosque. Sin embargo, la cantidad de brocas capturadas en bosque fue menor. Lo anterior indica que las diferencias de fricción entre bosque por un lado, y pasto y caña por otro lado, son seguramente mayores a las estimadas.

Siendo *H. hampei* una plaga especialista que depende directamente de los frutos de café para su alimentación y reproducción (Ticheler, 1961; Bergamin, 1934), ésta es afectada por los cambios que se generan en el hábitat. Tanto la perturbación (manejo agronómico del cultivo y aplicación de estrategias del manejo integrado) como la disminución y pérdida de hábitat (zoqueo y renovación) generan cambios en el microclima y disponibilidad de recursos dentro del hábitat. Bajo este contexto se pueden generar dispersiones masivas de la plaga a través del paisaje en búsqueda de recursos para sobrevivir (Castaño et ál., 2005; Pérez, 1999; Fahrig, 1997). En el caso presente, se puede afirmar que las condiciones en las cuales se realizó el estudio eran óptimas para la plaga. Por lo tanto, se asume que la proporción de hembras que se capturó fuera de los lotes de café, es el resultado que se puede esperar de la dispersión natural de la broca. Esta dispersión, de acuerdo a los resultados, no depende de la población existente en los cafetales.

Con respecto a los resultados sobre comportamiento temporal de *H. hampei*, estos coinciden con los encontrados en otros estudios (Baker, 1992; Barrera et ál., 2004; Bustillo y Villalba, 2007 y Dufour, 2007)). Los picos de captura de *H. hampei* en general estuvieron precedidos por períodos secos bien marcados y la presencia de lluvias torrenciales y esporádicas (después del 15 de febrero y antes del 15 de mayo). Estas variaciones ambientales conllevan a los movimientos de esta plaga (Barrera et ál., 2004). Las precipitaciones actúan como un indicativo natural para que las brocas salgan de los frutos remanentes en las parcelas (suelo y planta) en busca de nuevos frutos para colonizarlos.

Los pronósticos derivados de la hipótesis inicial, se asume totalmente. Esto significa que la dispersión de la broca a corta distancia fuera de las áreas de café está condicionada

por el uso de suelo adyacente. Con este estudio se dan algunos insumos sobre la dispersión de esta plaga en tres usos de suelo estudiados (caña, pasto y bosque); sin embargo, su comportamiento está sujeto a las variaciones climáticas. Asimismo, su comportamiento puede variar en otros usos de suelo que prevalecen en el cantón de Turrialba y en el CBVCT.

El complejo comportamiento de dispersión y sobrevivencia que presenta esta plaga, no se puede explicar completamente con estos hallazgos. Es necesario investigar por más tiempo su mecanismo de dispersión y bajo diferentes escenarios de manejo. También se debe despejar la hipótesis de interacción (recambio de poblaciones) entre los parches de café.

El raster de parches funcionales y corredores generado por FunConn, refleja una alta conectividad en el CBVCT. Con estos resultados se supone que la broca no encuentra barreras físicas para moverse y desplazarse entre los parches de café. El movimiento entre los parches funcionales es restringido y esta especie solamente puede hacerlo a través de los corredores. Esta conectividad podría ser explicada por la alta proporción de pasto y pasto arbolado que existe en el paisaje y su adyacencia con los parches de café. Este uso de suelo al igual que el de caña de azúcar, presentaron mayores captura de broca durante el trampeo.

La broca únicamente utiliza los frutos de café para su alimentación, crecimiento y reproducción, y solamente los sistemas de café con y sin sombra presentan condiciones óptimas para su alimentación y reproducción (Ticheler, 1961; Bergamin, 1943). No obstante, la población de broca puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales, principalmente la altitud y la temperatura. Los hábitats que se ubican por debajo de los 1,200 m de altitud son considerados óptimos; aquí la broca tiene un ciclo de vida más corto y mayores niveles de reproducción (Guharay et ál., 2000). En este sentido, aunque el mapa presenta conectividad en todo el paisaje, los corredores que se ubican por encima de los 1,200 m de altitud, podrían considerarse como no son funcionales porque la población de broca es baja.

Por otra parte, aunque los datos utilizados en la modelación son de calidad y confiables y se tomó en consideración el comportamiento de la especie analizada; se asume cierto error en esta predicción. Principalmente porque esta herramienta fue diseñada para especie con mayor movilidad y además se realizó una modelación generalizada, sin delimitar las áreas que podrían ofrecer mayor calidad de hábitat.

No obstante, estos resultados ofrecen un primer acercamiento para desarrollar estrategias que conlleven a desconectar (franjas de árboles) los parches funcionales y crear mayor fricción, especialmente las áreas de café que se ubiquen por debajo de los 1,200 m de altitud, donde probablemente los corredores pueden ser más funcionales. Queda pendiente, validar estos corredores mediante el trampeo, dentro de los usos de suelo con mayor permeabilidad.

5.2 Comportamiento espacial y temporal de *H. hampei* dentro de los lotes de café y los factores que lo afectan.

La variación de capturas en las trampas dentro del café, indica que la población de broca se concentra buscando el epicentro de la parcela. La cantidad de broca dentro del café disminuye a medida que se acerca el borde del otro uso. Este comportamiento tiende a confirmar que la broca no se aleja del cafetal, y que por lo contrario, busca adentrarse en las parcelas de café. En este sentido Castaño et ál. (2005) en su estudio sobre dispersión de broca en cafetales zoqueados, encontraron que al inicio de la perturbación la broca colonizó hospederos más cercanos, pero a través del tiempo migró hacia hospederos más alejados, probablemente en busca de hospederos más adecuados.

Estudios sobre la biología de la broca han demostrado que la broca tiene un mecanismo de dispersión agregada (Bustillo y Villalba 2007) y que puede estar asociada a una feromona que emanan las hembras. Sin embargo, los resultados en la capturas podrían indicar que aunque es común encontrar focos de infestación en los lotes de café, una proporción de esta plaga puede elegir mejor su hábitat, los cuales pueden ubicarse en el centro de la parcela, o también esta plaga es capaz de percibir los cambios ambientales que se generan por el efecto de borde (Castaño et ál., 2005). Por otra parte, este

comportamiento puede afectar a la dinámica de las poblaciones de broca que se ubican en parcelas de menor tamaño y de forma irregular; estos hábitats pueden presentar menor calidad respecto a los hábitats continuos.

Los picos de captura a través del tiempo están relacionados con la abundancia de los vuelos que realiza la broca, principalmente las que emergen de los frutos que se encuentran en el suelo. Conforme pasa el tiempo las capturas declinan porque en los frutos residuales en suelo la población se va escaseando. Por otro lado una parte de la broca que se encuentra transito si no encuentra frutos aptos puede morir o refugiarse en los frutos secos que quedaron en las ramas. Posteriormente, estas salen a colonizar los frutos de la nueva cosecha donde sí encontrara frutos con buenas condiciones para su descendencia. Cuando hay abundancia de frutos la broca por lo general no vuela, esta camina de un fruto a otro (Bustillo y Villalba 2007; Barrera et ál., 2004).

Los análisis sobre la relación entre la cantidad de broca capturada y los porcentajes de sombra indican que las capturas, se comportaron de igual manera tanto en los cafetales con bajos porcentajes de sombra (> a 10 %) como en aquellos con porcentajes por encima del 20%. Al parecer esta variabilidad en la cantidad de sombra no tiene influencia sobre las poblaciones de broca. No obstante, hay estudios que relacionan los niveles de infestación de broca con los porcentajes de sombra dentro de los cafetales (Ticheler, 1961; Guharay et ál., 2002; Boselmann et ál., 2008).

5.3 Relaciones entre las poblaciones de broca, usos de suelo adyacente, el tiempo y el estado del fruto.

De acuerdo a los resultados, el uso de suelo adyacente no tiene ningún efecto sobre las poblaciones de broca dentro de los frutos. Sin embargo, es importante destacar que las medias de la población de broca en todas las categorías de frutos, es mayor en los cafetales adyacentes a bosque. Esta tendencia podría estar con asociado las condiciones micro climáticas (más humedad) que pueden generar los bosques adyacentes; donde puede haber menor secamiento de los frutos residuales y mejor desarrollo de la broca dentro de estos y por más tiempo. Esto tiende a confirmar las observaciones de Cárdenas y Posada (2001),

citado por Jarquín et ál. (2006), los cuales plantean que la presencia de los focos de broca se puede asociar con la heterogeneidad biótica en los cafetales, estableciéndose más en las partes bajas y en plantas cercanas a vegetación densa como guaduales (especie de bambú), montes y rastrojos. La tendencia que se observó podría deberse al hecho que los cafetales adyacentes a bosque que se estudiaron se ubicaban en general a menor altura (< a 1000 m) que los otros usos.

Al inicio del año la mayor cantidad de adultos se concentra en los frutos residuales secos (especialmente los que se encuentra en la planta). Por el contrario los estados inmaduros son menos frecuentes en los frutos residuales secos y disminuyen con el tiempo. Esto confirma los resultados de Méndez (1992). La dinámica de la población en los frutos verdes y maduros fue diferente y se observó; a medida que pasa el tiempo, aumenta la cantidad de estados inmaduros.

Las condiciones de humedad relativa que ofrece el cantón de Turrialba, no favorece a las brocas que se encuentra en los frutos secos en el suelo. Estas se ven obligadas a abandonar los frutos que se degradan rápidamente y buscar nuevo refugio. Aunque se encuentran poblaciones en frutos secos en el suelo hasta en el mes de julio, esto podría estar relacionado con las caídas de frutos recientes, por lo tanto en buen estado. Estas caídas de frutos en julio pueden explicarse por el hecho que no realizó la cosecha sanitaria en los lotes experimentales. Los frutos residuales en la planta no removidos pueden caer varios meses después de la cosecha.

La mayor concentración de broca en los frutos secos que se encuentran en la planta, está relacionada con la escasez de frutos. Cuando hay escasez, es decir poco después de la cosecha, los frutos secos en las plantas son los que mejor condición ofrecen para la broca en comparación con los frutos que se encuentran caídos en el suelo (Dufour et ál., 2007; Méndez 1992). Estos frutos le ofrecen un refugio temporal en espera de las condiciones óptimas para realizar la colonización de los nuevos frutos.

La evolución de los estados inmaduros de broca está relacionada a la calidad del grano (disponibilidad de alimento). Por eso se observaron descensos de huevos, larvas y pupa en el mes abril en los frutos secos en planta y en suelo. En cambio en los frutos verdes y maduros aumentan los estados inmaduros (huevo, larva y pupa).

Las buenas condiciones de multiplicación de la broca que se presentan en Turrialba son confirmadas por la baja mortalidad de las hembras en las diferentes categorías de frutos (entre el 2-10%). La mayor mortalidad se presenta en los frutos secos en suelo (contaminación por microorganismos), la cual puede ser asociada a las condiciones especiales de humedad. Es conocido que cuando la broca está dentro de frutos con buenas condiciones (frutos secos, verdes, maduros en planta) hay baja mortalidad debido a la protección que éstos ofrecen (Bergamin, 1943).

5.4 Relaciones en niveles de infestación, usos de suelo adyacentes y en tiempo.

Los porcentajes de infestación de broca son lógicos y se relacionan con la población de broca en los frutos.

Al igual que en el caso del estudio de las poblaciones de broca en frutos, el uso de suelo adyacente no tiene ningún efecto sobre los porcentajes de infestación, a pesar de las diferencias microclimáticas especiales en los bordes adyacentes a bosque. Otros factores importantes, como los de manejo que inciden sobre las poblaciones de la broca y que no se tomaron totalmente en cuanta, pudieron haber opacado el efecto de los usos adyacentes.

A nivel general en los lotes de café hubo presencia de frutos en casi todo el período de estudio. Esto significa condiciones óptimas para la sobrevivencia de la broca y posiblemente menor necesidad de migrar a distancias largas en búsqueda de refugio y alimento. Esta situación se refleja en el crecimiento continuo de la cantidad de frutos brocados y de los porcentajes de infestación a través del tiempo. La ligera caída observada en el mes de junio probablemente se debe al incremento de las precipitaciones, lo cual podría haber influido en los vuelos de las hembras en este periodo (Ticheler, 1961). En

general, los porcentajes de infestación por rama estuvieron por encima de los niveles permitidos (> a 3%). Estos resultados indican que la infestación es relativamente alta.

5.5 Comportamiento espacial y temporal de *Solenopsis geminata* y *Pheidole radoszkowskii* dentro de los lotes de café y los factores que lo afectan.

Nuestros resultados coinciden con los hallazgos encontrados por Benítez y Perfecto (1989) y Barbera (2001), donde *S. geminata* y *P. radoszkowskii* fueron las especies que dominaron en los cafetales estudiados; la presencia de otras especie fue muy baja (4.5 %). Por otra parte, en los cafetales adyacentes a caña (manejo moderadamente convencional) se encontró alta dominancia de *P. radoszkowskii*; por el contrario Barbera (2001) sólo encontró a esta especie como dominante en cafetales totalmente orgánicos. Las cantidades encontrados en las plantas de café son muy superiores a los que esta autora reporta. Por ejemplo: para *P. radoszkowskii*, ella encontró, en un sistema convencional de la finca del CATIE, una abundancia de 3834 individuos, de éstos sólo un 12 % fue capturado en las plantas de café (460 individuos) y el complemento en el suelo y los árboles de poró. No obstante, en nuestro estudio las capturas totales, únicamente en plantas de café, fueron de 5249 individuos.

P. radoszkowskii parece predominar ligeramente en todo el estudio. Sin embargo, ésta se encontró en mayor proporción en los cafetales adyacentes a caña y a bosque, y *S. geminata* dominó en los cafetales adyacentes a pasto. En este sentido, se observó que ambas especie expresaron preferencia por un hábitat determinado; aunque en algunos casos ambas coexistieron en el mismo hábitat (cafetales adyacentes a caña). En las observaciones de campo la tendencia fue encontrar cada especie en un espacio delimitado; posiblemente este comportamiento se relacione con la competencia ínter específica y la territorialidad de las especies (Armbrecht y Armbrecht, 1997).

Por otra parte, las localidades en estudio se ubicaban en un mosaico de usos muy heterogéneo donde era común que se alternaran áreas de café con bosque, pasto, caña entre otros. Estas condiciones pueden favorecer las especies que viven en los cafetales y en los

usos vecinos, porque podrían encontrar mayor disponibilidad de recursos (alimento, refugio, nidificación) y tener la oportunidad de mantener o aumentar sus poblaciones. Por su parte, los bosques actúan como reservorios de diversidad dentro de las matrices agropecuarias, donde las especie podrían mantener una interacción continúa con otros usos adyacentes (Ramírez y Enríquez, 2002). En el caso particular de las áreas de caña, debido a su manejo intensivo (aplicación de agroquímicos, remoción de la capa vegetal y quema), éstas podrían verse como un hábitat hostil y menos apropiado para las especie de hormigas. Sin embargo, los usos adyacentes a éstos pueden ser complementarios para el mantenimiento y recambio de las poblaciones de hormigas cuando se produce la perturbación o pérdida temporal de hábitat.

La presencia y frecuencia de *S. geminata* en los cafetales adyacentes a pasto, podría estar relacionada con dos factores tales como: alta presencia de gramíneas dentro y fuera de los sistemas de café y mayor presencia de luz (Benítez y Perfecto 1989). En tanto la presencia de *P. radoszkowskii* en cafetales adyacentes a caña y en cafetales a bosque es compleja de explicar, porque esta especie no presenta un comportamiento congruente en su preferencia de hábitat: se puede encontrar tanto en lugares sombreados como en áreas soleadas, y también en policultivos y monocultivos de café (Perfecto y Vandermeer, 1996, Gallego, 2005). De igual manera, Varón (2002) en su estudio, no encontró un patrón de preferencia de esta especie sobre los sitios de café sombreados y los soleados. Lo anterior podría explicarse por una relación antagonista entre las dos hormigas: en las zonas favorables para *S. geminata* (pasto) *P. radoszkowskii* es desfavorecida; en las zonas poco favorables par *S. geminata*, *P. radoszkowskii* se desarrolla sin competencia y alcanza niveles poblacionales más altos. Esta oposición se visualiza bien en el Análisis en Componentes Principales.

Con respecto a las distancias evaluadas no se encontraron diferencias significativas entre la abundancia de hormigas. No se visualizó, por lo tanto, un efecto de borde en las capturas. Es posible, sin embargo, que más adentro de los cafetales (después de 60 m del borde) las poblaciones de hormigas se comporten en forma diferente.

En general la presencia *P. radoszkowskii* fue creciente a través del tiempo en comparación con *S. geminata* la cual desapareció en algunos muestreos. Este comportamiento se observó particularmente en la finca del CATIE. Estos hallazgos coinciden con los resultados encontrados por Varón (2002). Por otra parte, este autor menciona que la variabilidad temporal se presenta cuando se hacen muestreo en transectos fijos, ya que algunas especies cambian sus nidos de sitios. Por lo tanto, se asume que esta causa podría haber incidido en la presencia irregular de *S. geminata* en el tiempo, ya que los nidos de esta especie son más susceptibles a la lluvia, porque son construidos sobre la superficie del suelo.

Otro aspecto que pudo afectar los resultados de presencia y permanencia de las especies estudiadas es el manejo de los cafetales muestreados. De acuerdo a Armbrecht et ál., (s/f) hay una tendencia negativa entre el índice de manejo y la riqueza (abundancia de nidos) de hormigas cazadoras. Es decir, que a medida que se reduce vegetación y la complejidad estructural de los sistemas se disminuye la función de nidificación de las especies cazadores. En nuestro estudio, los cafetales eran monocultivos con sombra monoespecífica, de *Erythrina poeppigiana* podada intensamente, es decir sistemas casi a pleno sol.

Un factor climático que posiblemente también afectó las capturas es la precipitación, aunque los datos no permiten asegurarlo. Las actividades de forrajeo de las hormigas probablemente no dependan directamente de la pluviometría mensual sino de eventos lluviosos más puntuales que no fueron medidos.

Varios estudios han documentado el papel de las hormigas en la depredación de la broca (Varón, 2002; Gallego y Armbrecht, 2005; Vélez et ál., 2006; Perfecto y Vandermeer, 2006;). En este sentido, el análisis de las relaciones entre las especies de hormiga y la presencia de broca en los cafetales, demuestran que hay una asociación positiva entre la presencia de *P. radoszkowskii* y la cantidad de frutos brocados. Por lo contrario, *S. geminata* está asociada negativamente. Hay varias razones que podrían explicar este resultado: a) estas hormigas son depredadores de la broca y por lo tanto

dependen de las poblaciones de broca aunque posiblemente no en el mismo grado, b) *P. radoszkowskii* compite fuertemente en contra de *S. geminata*, pero no a la inversa, c) independientemente de la broca, responden a estímulos ambientales y ecológicos contrarios, especialmente la altitud y el uso del suelo.

El comportamiento general en las capturas de *S. geminata y P. radoszkowskii* en los tres usos de suelo evaluados, sugiere que estas dos especies pueden co-existir y co-dominar en los agroecosistemas de café. Sin embargo, cuando hay un hábitat adecuado *P. radoszkowskii* es capaz de desplazar a *S. geminata*. La competencia que demuestra *P. radoszkowskii* esta relacionada a su eficiencia en la identificación y captación de recursos.

Es importante subrayar, que *P. radoszkowskii* presentó mejor comportamiento temporal que *S. geminata*; aunque sus colonias son de menor tamaño y las cantidades de individuos en algunas trampas eran menores que las de *S. geminata*, ésta permaneció distribuida en todas las áreas del estudio. Se encontró en mayor proporción en las plantas de café que en el suelo y es más eficiente en la captura de recursos pequeños que *S. geminata* (Pefecto, 1994; Barbera, 2000 y Varón, 2002).

Se demostró que la abundancia y permanencia de estas especies en los cafetales depende de los usos estudiados. Sin embargo, los mecanismos que explican este efecto no están completamente elucidados, especialmente porque no se muestrearon las hormigas en los usos adyacentes de los cafetales. No obstante, este estudio da insumos para profundizar sobre la influencia del uso adyacente en la abundancia de estas especies; aclarar la asociación de estas dos especies con la broca para determinar su efectividad de depredación en el campo y a la vez explorar la competencia entre ellas y su relación con la intensidad del manejo de los cafetales.

5.6 Discusión general

Se comprobó que la dispersión de la broca está determinada por los usos adyacentes al cafetal. Con estos resultados se observó que la broca es sensible a la fragmentación de hábitat, porque su mecanismo de dispersión no es tan eficaz y además es considerada un

mal volar. Por otra parte la influencia del uso de suelo adyacente sobre las poblaciones de broca no quedó comprobada estadísticamente. Se comprobó que la abundancia de las hormigas en los cafetales puede ser afectada por el uso de suelo colindante.

El mapa de corredores refleja que existe conectividad en el paisaje, facilitando que la broca se movilice entre los parches. Esta conectividad es facilitada principalmente por los fragmentos de caña y pasto que predominan en el paisaje estudiado. No obstante, la conectividad es comprobada por el intercambio entre las poblaciones de los parches y este depende de la estructura y composición florística del paisaje (Guevara et ál., 1998). Esta condición no queda comprobada en el presente estudio.

Hay muchos estudios que afirman que los niveles de parasitismo o la abundancia de enemigos naturales son mayores en los bordes de los sistemas que en el centro de estos (Altieri y Schmidt, 1986; Thies y Tscharntke, 1999; Nicholls et ál., 2001; Tscharntke et ál., 2002). Por lo tanto, queda la incógnita si el efecto de borde sobre las capturas de broca en las trampas pudo ser producto de la depredación de las hormigas.

Estos resultados generan insumos para el diseño de sistemas agroforestales y estrategias de manejo de la plaga. Es necesario crear mayor heterogeneidad a nivel de paisaje (fragmentación de hábitat) para crear mayor fricción e incidir en la dispersión. Esta complejidad beneficia de manera directa a los enemigos naturales, porque hay mayor disponibilidad de recursos dentro y fuera de los sistemas; aumentando las probabilidades de control de plagas (Thies y Tscharntke, 1999; Altieri y Nicholls, 2002; Tscharntke et ál., 2007).

6 CONCLUSIONES

6.1 Efecto de los usos de suelo sobre la dispersión de H. hampei

En este trabajo, hemos observado (o comprobado) que la fragmentación del paisaje incidir sobre la migración de la broca en época de post cosecha. Así, los bosques representan una barrera física para el movimiento de esta plaga entre los parches de café. Con caña y pasto, la broca puede migrar hasta 140 m fuera de su área de origen y por lo tanto logra buscar una ruta para moverse entre los parches de café. Por otro lado, las migraciones de la broca hacia áreas sin café es un fenómeno muy ocasional ya que las hembras son mucho mas atraídas por las áreas de café donde han emergido.

Los resultados confirman que las mayores capturas a través del tiempo se presentaron entre los meses de febrero y abril, coincidiendo con la presencia de lluvias torrenciales y esporádicas.

La cantidad de broca capturada fuera de las áreas de café es baja en comparación con las capturas dentro de los lotes de café. Esta situación podría estar asociada a las condiciones óptimas (disponibilidad de frutos) que ofrecieron las áreas de café, aún en el período postcosecha.

Las capturas de broca dentro de las áreas de café, se presentaron en mayor cantidad en las trampas ubicadas cercanas al epicentro de la parcela. No se encontró efecto del uso de suelo adyacente sobre las capturas dentro de las áreas de café.

6.2 Dinámica poblacional y el efecto de los usos de suelo adyacente

No se encontraron diferencias significativas entre los usos de suelos adyacentes a los cafetales tanto en la población de frutos como en los frutos brocados. Pero sí entre las fechas de muestreo.

Los resultados ayudan a entender mejor el desarrollo de la broca en las fincas estudiadas. Estos tienden a indicar que en la zona de Turrialba se dan condiciones

excelentes para el desarrollo de la broca, especialmente condiciones de disponibilidad de frutos, lo cual pudo haber incidido negativamente en el comportamiento de migración de la broca a distancias largas.

La mayor cantidad de hembras colonizadoras se concentró en los frutos secos en planta y en suelo; este es un comportamiento normal, ya que después de la cosecha la escasez de frutos induce a los adultos a concentrarse en los frutos residuales. El monitoreo de estos frutos podrían dar una idea muy aproximada de la cantidad de broca que se tendrá en la siguiente cosecha. El fenómeno de sobrevivencia de la broca se presentó en el período postcosecha.

6.3 Efecto del uso de suelo adyacente sobre la abundancia y permanencia de hormigas depredadoras en los cafetales.

La abundancia y permanencia en el tiempo de *S. geminata* y *P. radoszkowskii* en condiciones de campo varió de acuerdo al uso adyacentes a los cafetales. No hubo efecto de la distancia en las capturas de ambas especies.

S. geminata fue más dominante y demostró mayor presencia en las plantas en los cafetales adyacentes a pasto y con presencia de gramíneas. Por su parte, *P. radoszkowskii*, dominó en los cafetales adyacentes a caña y a bosque. En general esta especie demostró mayor permanencia durante el tiempo y la pendiente fue creciente.

Aunque se capturó abundante población de hormigas en las plantas de café en las áreas estudiadas, se considera que las poblaciones podrían haber sido mayores si el manejo del cafetal fuera más amigable a la biodiversidad.

La precipitación posiblemente incidió en las poblaciones de hormigas. Aunque hubo pocas capturas a inicio del año, cuando llovió más, este patrón no se reprodujo en otros meses lluviosos. Posiblemente, las precipitaciones del día, o de los pocos días anteriores al muestreo pudieron haber explicado mejor la abundancia de las hormigas que las precipitaciones mensuales. Por su parte, la variable sombra no presentó ninguna influencia

sobre los resultados. No obstante la altitud si parece haber favorecido *S. geminata* y por el contrario, desfavorecido *P. radoszkowskii*.

Se encontró una asociación positiva entre *P. radoszkowskii* y la broca, y negativa entre *S. geminata* y la broca. Sin embargo, la información recopilada no es suficiente para comprobar si esa asociación se traduce en depredación de las hembras de broca.

7 RECOMENDACIONES

Continuar investigando el efecto de los usos de suelos sobre la capacidad de dispersión de la broca por un período mínimo de dos años, bajo diferentes intensidades de manejo agronómico del cultivo y tomando en cuenta los factores climáticos (humedad relativa, temperatura y precipitación) que determinan la emergencia y dispersión.

Profundizar la investigación sobre le efecto del uso de suelo adyacente a los cafetales, tomando en cuenta los factores climáticos que inciden en la biología de la broca.

Realizar evaluaciones de depredación de las hormigas en los arbustos de café, para conocer su impacto sobre las poblaciones de broca, especialmente en las etapas de migración y colonización de los nuevos frutos por parte de la plaga.

Investigar el tamaño del parche de café o franjas de árboles que pueden generar fricción en la dispersión de la broca del café y a la vez proveer recursos a los enemigos naturales.

8 BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, E. 2006. Perspectivas de la ecología del paisaje en entomología aplicada. Revista Corpoica-ciencia y Tecnología Agropecuaria 7(1), 54-60p.

Altieri, M y Schmidt, L. 1986. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned, organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitat. Agric. Ecosyst. Environ. 16, 29–43.

Altieri, M y Nicholls, C. 2000. Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. 1ª edición. 257p.

ANACAFE (Asociación Nacional del café). 1998. Manual de caficultura. 3era edición. Guatemala. 308p.

Andrews, K y Rutilio, J. 1989. Manejo Integrado de Plagas Insectiles en la Agricultura: Estado actual y futuro. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, HN, Centroamérica. 623p.

Arcila, A y Lozano, F. 2003. Hormigas como herramientas para la bioindicación y el monitoreo. P 159-166. *In* Fernández, F. (ed) Introducción a las Hormigas de la regios Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, CO. 398p.

Armbrecht, I y Armbrecht, H. 1997. Observaciones sobre la variación espacial y temporal de hormigas en un bosque del Choco Colombiano. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 5 (2) 15:33.

Armbrecht, I and Perfeto I. 2003. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 97:107–115p.

Armbrecht, I and Gallego, M. 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. Journal compilation The Netherlands Entomological Society 124: 261–267p.

Baker, P. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera, scolytidae). Folio Entomológica Mexicana No. 61: 9-24.

Baker, P y Barrera, J. 1993. A field study of a population of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), in Chiapas, México. Tropical Agriculture 70(4): 351-355.

Barrera, J; Gómez, J; Castillo, A; López, E; Herrera, J y González G. 2008. Broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), p 101-120. *In* Arredondo, H y Rodríguez L. (eds) Casos de control biológico en México. 1era edición. Mundi Prensa México.

Barrera, J; Villacorta, A; Herrera, J; García, H y Cruz, L. 2007. Aplicación de trampas para el monitoreo de la broca del Café, p 95-111. *In* Manejo Da Broca-Do-Café: Workshop Internacional. Paraná, BR. 282p.

Barrea, J; Montoya, P y Rojas, J. 2006. Bases para la aplicación de sistemas de trampas y atrayentes en manejo integrado de plagas. P 1-16. *In* Barrera, J y Montoya, P (eds) Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica. Sociedad mexicana de entomología, Colima, Co.

Barrera, J; Herrera, J; Villacorta, A; García, H y Cruz, L. 2006. Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. P 71-83. *In* Barrera, J y Montoya, P (eds). Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica. Sociedad mexicana de entomología, Colima, Co.

Barrera, J; Villacorta, A; Herrera, J. 2004. Fluctuación estacional de las capturas de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) con trampas de etanol-metanol e implicaciones sobre el número de trampas. Entomología Mexicana 3:540-544.

Barbera, N. 2001. Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 79p.

Bergamin, J. 1943. Contribucaó para o conhecimiento da biología da broca do café (*Hypothenemus hampei*) Instituto Biológico de Sáo Paulo, p. 3 1 - 7 2.

Benítez, J y Perfecto I. 1989. Efecto de los diferentes tipos de manejo de café sobre las comunidades de hormigas. Agroecología Neotropical, Vol 1, N0 1.

Bianchi, F; Booij, C. and Tscharntke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control.

Bosselmann, A; Dons, K; Oberthur, T; Smith C; Ræbild, A and Usma, H. 2008. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 10.1016. 8p.

Borbón, O. 2005. Experiencias sobre manejo de la broca del café en Costa Rica. P 58-66. *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. 79p.

Bustillo, A y Villalba, D. 2007. Efecto del clima y condiciones del cultivo en la biología y comportamiento de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) Colepotera: Curculionidae, scolytinae, p 37-50. *In* Manejo Da Broca-Do-Café: Workshop Internacional. Paraná, BR. 282p.

Castaño, S; Benavides, M; Baker, P. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. CENICAFE 56(2):142-150.

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

Castro, F; Montes, E y Raine, M. 2004. Centroamérica La crisis cafetalera: Efectos y estrategias para hacerle frente. Sustainable Development Eorking Paper N^0 23. CR. 84p.

Corbett, G. H.1933. Some preliminary observations on the coffee berry beetle borer, Stephanoderes (Cryphalus) hampei. Ferrer. J Malayan Agric. 21:8-22.

Decazy, B 1990. El manejo integrado de la broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferrari). Manual técnico. IICA-PROMECAFE. Publicación miscelánea del IICA A1/GT-90-01, Guatemala, GT. 21p.

Di Rienzo, J; Macchiavelli, R y Casanoves. F. 2009. Modelos mixtos en InfoStat

Dufour, B; Gonzalez, M; Mauricio, J; Chávez, B and Ramírez, R. 2005. Validation of Coffee Berry Borer (CBB) trapping with the Brocap® Trap. P 1243-1247. *In* 20th International Conference on Coffee Science ASIC, Bangalore, India

Dufour, B y Frérot, B. 2008. Optimization of coffee berry borer, Hypothenemus hampei Ferrari (Col., Scolytidae), mass trapping with an attractant mixture. J. Appl. Entomol, 132. The authors Journal compilation. Berlin, DE. P 591-600.

Dufour, B. 2007. Condiciones de uso de las trampas en el control de la broca del café p 85-93. In Manejo Da Broca-Do-Café: Workshop Internacional. Paraná, BR. 282p.

Dufour, B. 2005. Elaboración de un método estándar para la evaluación del trampeo de la broca de café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) s/e. 10p.

Dufour, B; Barrera, J y Decazy, B. 1999. La broca de los frutos del cafeto. ¿La lucha biológica como solución? P 293-325. *In* Bertrand, B y Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José C. R. Editorial AGROAMERICA. 496 p.

Duicela, L; Corral, R; Cedeño, L y Chóez, F. 2003. Alternativas ecológicas para el control de la broca del café. P 183-209. *In* Tecnologías para la producción de café arábigo orgánico avances de investigación. Manabí, EC.

Feliz, D. 2002. Incidencias de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferr. 1867) y sus controladores en las plantas de café bajo diferentes tipos de sombra den San Marcos, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68p.

Fernández, S y Cordero, J. 2007. Biología de la broca de café Hypothenemus hampei (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae:Scolytinae) en condiciones de laboratorio. Bioagro 19(1):35-40.

Franqui, R y Medina, G. 2003. La broca del café: Biología y Aspectos Básicos de Control y Catastro de Broca en Puerto Rico. 23p.

Gallego, M. 2005. Intensidad de Manejo del agroecosistema de Café (*Coffea arabiga* L.) (Monocultivo y Policultivo) y riqueza de especies de hormigas generalistas. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 6 (2): 16-29.

Gallego, M y Armbrecht, I. 2005. Depredación por hormigas sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae) en cafetales cultivados bajo dos niveles de sombra en Colombia. Manejo Integrado de Plagas y agroecología (Costa Rica) N^0 76: 32-40.

Giordanengo, P; Brun, O y Frerot, B. 1993. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, by coffe berries. Journal of Chemical Ecology. 19:763-769.

Godoy, J.C; Valera, R.E; Guédez, C; Cañizalez, L.M y Castillo, C. 2007. Determinación de temperatura y humedad óptima para la germinación y esporulación de cinco aislamientos de *Beauveria bassiana.* Rev. Fac. Agron. (LUZ). 24: 415-425 p.

Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D y Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, NI. Serie Técnica, manual técnica N^0 44 CATIE. 267p.

Hanson, P. 1991. Los parasitoides asociados al café en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 21: 8-10 p.

Herrera, J y Armbrecht, I. 2007. Ciclo de vida y potencial reproductivo de la hormiga depredadora *Solenopsis* cf. *picea* (Hymenoptera: Formicidae). Revista Colombiana de Entomología. 33 (1): 64-69.

Holdenrieder, O; Pautasso, M; Weisberg, P and Lonsdale, D. 2004. Tree diseases and landscape processes: the challenge of landscape pathology. TRENDS in Ecology and Evolution Vol.19 No.8. 7p.

ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2006. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, CR. 73p.

ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2005. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, CR. 65p.

ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2004. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, CR. 70p.

IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2004. Manual Técnico: Manejo Integrado de la Broca del Café, basado en criterios biecológicos de la broca y el cultivo del café. 44p.

IICA/PROMECAFE (Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnologico y Modernización de la Caficultura en Centroamérica). 2007. Manejo Integrado de la broca del café diseñado con tres componentes. 8 P.

Jarquín, R; Jiménez, L; Guharay, F y Barrera, J. 2006. Aportes de productores y científicos al entendimiento de la agregación de *Hypothenemus hampei* en Chiapas, México. Boletín PROMECAFE (106) 7:11.

Kaspari, M. 2003. Introducción a la ecología de las hormigas. P 97-112. *In* Fernández, F. (ed) Introducción a las Hormigas de la regios Neotropical Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, CO. 398p.

Klein, C; Molinari, P y Tandazo, A. 1987. Distribución y niveles de infestación de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Sanidad vegetal 2: p 4-12.

Longino, J and Hanson, P. 1995. The ants (Formicidae) P 589-620. In Hanson, P and Gauld, I. eds. The Hymenotera of Costa Rica. New York, Oxford University Press and The Natural History Museum.

Lomeli, J; Bernal, J; Barrera, J y Quiroz, L. 2008. Hormigas depredadoras del minador de la hoja del café, Leucopotera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) en el soconusco, Chaipas, México. *In* Gutiérrez J; España, M; González, E; Ibarra, J (eds) XXXI Congreso Nacional de Control Biológico. Zacatecas, México.

Méndez, E. 1992. Influencia de diferentes coberturas del suelo en la sobrevivencia de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) en el período poscosecha. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 83p.

Mendez, L y Velasco, P. 1987. Infestación y daño de la broca del fruto de cafeto *Hypothenemus hampei* Ferr. en la región de Soconusco, México. VII Simposio sobre Caficultura Latinoamericana. Granada, NI. p 199-208.

Molinari, P. 1987. Situación de la broca del café *Hypothenemus hampei* ferr (Coleóptero: Scolytidae) en Santo Domingo de los colorados, EC.pp 31-40.

Murrieta, E. 2006. Caracterización de la cobertura vegetal y propuesta de una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 125p.

Nicholls, C; Parrella, M; Altieri, M. 2001. The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard. Landscape Ecol. 16, 133–146.

Ochoa, M; Campos, A y Decazy, B. 1990. Determinación de las pérdidas en la cosecha por broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferr.) en función de diferentes porcentajes de infestación, p 81-86. *In* IICA-Promecafe: resumen tercer taller regional de broca.

Perfecto, I. 1991. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as natural control agents of pests in irrigated maize in Nicaragua. Journal of Economic Entomology 84(1): p64-70.

Perfecto, I and Snellings, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. Ecological Applications 5(4): p 1084-1097.

Perfecto, I and Sediles, A. 1992. Vegetational diversity, ants (Hymenoptera: Formicidae) and herbivorous pests in a Neotropical agroecosystem. Enviromental Entomology 21 (1): p 61-67.

Perfecto, I & Vandermeer, J. (1996). Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia*, **108**, 577 – 582.

Perfecto, I and Vandermeer, J. 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. Conservation biology 16 (1): 174–182.

Perfecto, I and Vandermeer, J. 2006. The effect of an ant-hemipteran mutualism on the coffee berry borer (Hypothenemus hampei) in southern Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: 218–221p.

Ramírez, M y Enríquez, M. Riqueza y diversidad de hormigas en sistemas silvopastoriles del valle del cauca, Colombia. Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria (en línea). Cali Valle del Cauca, Colombia. Consultado 10 oct. 2009. Disponible en www.revistas.unal.edu.co.

Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. Conservation biology 18 (5): 1262-1271.

Ricketts, T. H; Daily, G.C; Ehrlich, P.R and Micherer, C.D. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. PNAS 101:12579-12582.

Salinas, M. 2007. Modelos de Regresión y Correlación IV. Correlación de Spearman. Ciencia y trabajo. Jul-sep: 9 (25):143:145. Consultado 10 sep 2009. Disponible en www.cienciaytrabajo.cl.

Sarmiento, C. 2003. Metodologías de captura y estudio de las hormigas. P 202-210. *In* Fernández, F. (ed) Introducción a las Hormigas de la regios Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, CO. 398p.

Sladden, G.E. 1934. Le Stephanoderes hampei. Ferr. Bulletin Agricole. Congo Belge (Congo Belga) 25(1):26:77.

Sousa, J y Reis, P. 1980. Efecto da broca do cafe *Hypothenemus hampei* (Coleóptero: Scolitydae) na producao e quilidade do grao do café. *In* Congreso Brasileiro do pesquisas caffeiras, Campos do Jordao. Rio de Janeiro, BR. p 281-283.

Thiollay, J-M. 1992. Influence of selective logging on bird species diversity in a Guianan rain forest. Conservation Biology 6(1): 47-63.

Thies, C and Tscharntke, T. 1999. Landscape Structure and Biological Control in Agroecosystems. Science 285 (5429):893-895.

Ticheler, H.G. (1961) Estudio analítico de la epidemiología del escolítido de los granos de café, *Stephanoderes Hampei* Ferr., en Costa de Marfil. Quiceno, G. Pag. 223-294.

Tscharntke, T; Steffan-Dewenter, I; Kruess, A; Thies, C. 2002. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. Ecol. Appl. 12, 354–363.

Tscharntke, T and Brandl, R. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. Annu. Rev. Entomol. 49:405–30.

Tscharntke, T; Bommarco, R; Clough, Y; Crist, T; Kleijn, D; Rand, T; Tylianakis, J; Nouhuys, S and Vidadl. S. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. Biological Control 43: 294–309

Varón, E. 2002. Distribución espacio-temporal de hormigas con potencial como depredadoras de *Hypothenemus hampei* e *Hypsipyla grandella*, en sistemas agroforestales de café, en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 87p.

Vásquez, M 1996. El manejo de efluentes en el beneficiado del café en Costa Rica, p 57-64. *In* Agronomía y Recursos Naturales ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva? Congreso Nacional Agronómico y de los Recursos Naturales. San José, CR.

Vélez, M: Bustillo, A y Posada, F. 2006. Depredación de Hypothenemus hampei, por hormigas durante el secado solar del café. Manejo Integrado de Plagas y agroecología (Costa Rica) N^0 77: 62-69.

ANEXOS

Anexo 1: Número y promedio de brocas de las capturas totales (trampas Brocap®), ubicadas dentro de las áreas de café y bosque.

Trampa	CATIE	Promedio/ día	Maquina Vieja	Promedio/ día	Colima	Promedio/ Día	El Romeral	Promedio/ día
1	1160	9.59	7459	63.21	507	4.23	1606	13.61
2	1969	16.27	2809	23.81	1095	9.13	979	8.3
3	1219	10.07	1772	15.02	956	7.97	1253	10.62
4	1015	8.39	796	6.75	986	8.22	720	6.1
5	43	0.36	11	0.09	114	0.95	32	0.27
6	20	0.17	5	0.04	1	0.01	12	0.1
7	6	0.05	3	0.03	2	0.02	7	0.06
8	7	0.06	1	0.01	1	0.01	12	0.1
9	7	0.06	2	0.02	0	0	2	0.02
10	14	0.12	2	0.02	0	0	3	0.03
11	27	0.22	1	0.01	0	0	0	0
12	169	1.4	6	0.05	0	0	1	0.01
13	25	0.21	5	0.04	1	0.01	1	0.01
14	27	0.22	0	0	0	0	2	0.02
15	23	0.19	1	0.01	1	0.01	0	0
16	15	0.12	1	0.01	0	0	0	0
17	15	0.12	1	0.01	0	0	0	0
18	14	0.12	0	0	0	0	0	0
Total	**5775**	**47.73**	**12875**	**109.11**	**3664**	**30.53**	**4630**	**39.24**

Anexo 2: Número y promedio de brocas de las capturas totales (trampas Brocap®), ubicadas dentro de las áreas de café y caña.

Trampa	CATIE	Promedio/ día	Maquina Vieja	Promedio/ día	El Volcán	Promedio/ Día	More Costa Rica	Promedio/ día
1	1501	12.4	6278	53.2	161	1.36	78	0.65
2	1533	12.67	4882	41.37	200	1.69	79	0.66
3	1311	10.83	4434	37.58	206	1.75	75	0.63
4	598	4.94	3968	33.63	221	1.87	48	0.4
5	67	0.55	200	1.69	21	0.18	20	0.17
6	28	0.23	19	0.16	4	0.03	13	0.11
7	26	0.21	22	0.19	8	0.07	4	0.03
8	28	0.23	15	0.13	5	0.04	10	0.08
9	29	0.24	12	0.1	6	0.05	6	0.05
10	20	0.17	12	0.1	5	0.04	9	0.08
11	12	0.1	22	0.19	13	0.11	8	0.07
12	13	0.11	13	0.11	7	0.06	7	0.06
13	13	0.11	19	0.16	4	0.03	6	0.05
14	9	0.07	20	0.17	10	0.08	8	0.07
15	3	0.02	30	0.25	1	0.01	6	0.05
16	3	0.02	13	0.11	2	0.02	12	0.1
17	8	0.07	15	0.13	3	0.03	10	0.08
18	1	0.01	11	0.09	2	0.02	10	0.08
Total	**5227**	**43.2**	**19985**	**169.36**	**879**	**7.45**	**409**	**3.41**

Anexo 3: Número y promedio de brocas de las capturas totales (trampa Brocap®), ubicadas dentro de las áreas de café y pasto.

Trampa	El Volcán	Promedio/día	Colima	Promedio/día	More Costa Rica	Promedio/día	El Romeral	Promedio/ día
1	34	0.29	865	7.21	200	1.67	868	7.36
2	38	0.32	585	4.88	226	1.88	3512	29.76
3	33	0.28	559	4.66	274	2.28	2644	22.41
4	33	0.28	253	2.11	169	1.41	739	6.26
5	11	0.09	31	0.26	47	0.39	72	0.61
6	2	0.02	40	0.33	30	0.25	27	0.23
7	4	0.03	16	0.13	18	0.15	18	0.15
8	1	0.01	11	0.09	17	0.14	20	0.17
9	3	0.03	4	0.03	21	0.18	15	0.13
10	1	0.01	5	0.04	18	0.15	6	0.05
11	2	0.02	7	0.06	20	0.17	4	0.03
12	5	0.04	2	0.02	13	0.11	6	0.05
13	3	0.03	16	0.13	11	0.09	8	0.07
14	4	0.03	6	0.05	16	0.13	10	0.08
15	3	0.03	5	0.04	8	0.07	15	0.13
16	2	0.02	8	0.07	9	0.08	12	0.1
17	0	0	4	0.03	12	0.1	10	0.08
18	0	0	5	0.04	15	0.13	9	0.08
Total	**179**	**1.52**	**2422**	**20.18**	**1124**	**9.37**	**7995**	**67.75**

Anexo 4: Porcentajes de dispersión de las capturas totales de *Hypothenemus hampei* (seis meses de trampeo) en los doce lotes estudiados, ubicados en seis fincas del cantón de Turrialba, Costa Rica 2009

Trampa/ distancia	Caña				Bosque				Pasto			
	CATIE	Maquina Vieja	More Costa Rica	El Volcán	CATIE	Maquina Vieja	Colima	El Romeral	More Costa Rica	El Volcán	Colima	El Romeral
1-0	32.5	28.7	21.2	7.9	14.4	59.7	10.7	31.5	21.5	33.3	29.0	10.8
2-10	21.9	33.0	12.1	13.2	22.7	31.5	24.8	22.7	19.8	13.9	16.8	43.7
3-20	26.2	20.1	15.2	34.2	16.7	7.8	26.1	30.5	32.2	19.4	27.1	33.0
4-30	15.1	17.3	12.1	36.8	40.8	0.7	33.5	13.0	12.4	11.1	15.0	10.3
	95.7	**99.1**	**60.6**	**92.1**	**94.5**	**99.6**	**95.1**	**97.7**	**86.0**	**77.8**	**87.9**	**97.8**
5-10	0.6	0.2	6.1	2.0	0.5	0.0	4.8	0.9	1.7	0.0	3.1	1.0
6-20	0.3	0.1	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.3
7-30	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	2.8	0.6	0.4
8-40	0.5	0.0	3.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	3.3	2.8	0.3	0.2
9-50	0.7	0.0	0.0	1.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.2
10-60	0.3	0.1	0.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0
11-70	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.7	5.6	0.3	0.0
12-80	0.5	0.1	3.0	0.0	1.7	0.2	0.0	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0
13-90	0.2	0.1	6.1	1.3	1.0	0.1	0.0	0.0	2.5	2.8	1.3	0.0
14-100	0.1	0.1	3.0	1.3	0.5	0.0	0.0	0.2	3.3	0.0	0.0	0.0
15-110	0.1	0.1	3.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	2.8	0.3	0.0
16-120	0.0	0.1	3.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.2
17-130	0.2	0.1	3.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18-140	0.0	0.0	6.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
	4.3	**0.9**	**39.4**	**7.9**	**5.5**	**0.4**	**4.9**	**2.3**	**14.1**	**22.2**	**12.2**	**2.2**

Anexo 5: Formato de recuento poblacional de *Hypothenemus hampei* durante la disectación de frutos.

Recuento poblacional de broca

Finca: _____ Fecha: _____ Sitio: _____

Categoría de fruto: _____Total de frutos recolectados: _____

Frutos brocados: _____Frutos disectados: _____ Uso de suelo: _____

			Adultos vivos		Estados inmaduros			Total 1/10
Fruto	**HM**	**MM**	**Hembra**	**Macho**	**Huevos**	**Larvas**	**Pupa**	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
Total								

Observaciones:_____

_____