

**ESTUDIO SOBRE LA REPELENCIA Y LA ATRACCIÓN EN LA BROCA
DEL CAFÉ COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO
AGROECOLÓGICO EN LOS CAFETALES COLOMBIANOS**

ANA MARIA CASTRO TRIANA

Director:

CLARA INÉS NICHOLLS Ph.D.

Programa Doctoral Agroecología

Universidad De Antioquia

Medellín, Colombia

2018

**ESTUDIO SOBRE LA REPELENCIA Y LA ATRACCIÓN EN LA BROCA DEL CAFÉ
COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO AGROECOLÓGICO EN LOS
CAFETALES COLOMBIANOS**

Presentado por:

ANA MARIA CASTRO TRIANA

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en Agroecología

Dirigido por:

Clara Inés Nicholls Ph.D.

Codirigido por:

Carmenza Esther Góngora Ph.D.

Línea de Investigación: Agroecología y Manejo integrado de plagas

Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café Cenicafé.
Sociedad Latinoamericana de Agroecología SOCLA. Universidad de Antioquia.

Medellín, Colombia, Diciembre 2018

RESUMEN

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) es la principal plaga del cultivo de *Coffea arabica* (Rubiaceae) en el mundo. Su control en Colombia se basa en un manejo integrado de la plaga, el cual incluye estrategias culturales, biológicas y químicas y aunque se han realizado investigaciones en búsqueda de atrayentes y repelentes, estos aún no han sido exitosos para ser incorporados en los programas de manejo. Este trabajo propone la introducción de diversidad vegetal funcional como alternativa agroecológica para el manejo de la broca del café, para lo cual se realizó una selección de plantas arvenses relacionadas con el cultivo en Colombia, se determinó la preferencia olfativa de la broca del café a frutos de *C. arabica* acompañado de *Crotalaria micans*, *Lantana camara*, *Artemisia vulgaris*, *Nicotiana tabacum*, *Calendula officinalis*, *Stevia rebaudiana* y *Emilia sonchifolia* en pruebas de laboratorio. Se identificó a *E. sonchifolia* como planta atrayente, el resto de las plantas como repelentes. Se realizaron los perfiles químicos de las plantas seleccionadas, identificando los compuestos volátiles relacionados con la función de atracción o repelencia. En *L. camara* se identificó por cromatografía de gases la emisión de diferentes terpenos relacionados con repelencia y en *E. sonchifolia* se identificaron alcoholes y acetatos volátiles relacionados con atracción de la broca. En campo, se realizaron tres pruebas independientes para corroborar el efecto de las plantas acompañantes sobre la broca del café. En el primer experimento se comparó la infestación entre plantas de café acompañadas por las plantas atrayentes o repelentes con plantas de café sin plantas acompañantes, esto se realizó con infestaciones controladas en un lote de café orgánico y un lote de café convencional. En el segundo experimento se realizó un arreglo que combinó los efectos de atracción y repelencia de las plantas y en el tercer experimento se evaluó el efecto de una planta acompañante individual seleccionada dentro de una parcela de café. Por último, se planteó un diseño y plan de manejo agroecológico para su implementación. En los ensayos de arreglos controlados en campo se identificó a *N. tabacum* como repelente. Con el

arreglo de atracción y repulsión se evidenció la reducción de la infestación de la broca del café por la presencia de *N. tabacum* y *L. camara*. La propuesta de diseño estructural y manejo del cafetal se basa en la funcionalidad de *L. camara* y *N. tabacum* como plantas repelentes para la broca del café dentro del cafetal. Finalmente, se presentó una propuesta de diseño predial que incorpora las plantas con función repelente para la broca del café (*L. camara* y *N. tabacum*), con un plan de manejo agroecológico para su implementación y funcionamiento en fincas cafeteras.

Palabras clave: agricultura ecológica, diversidad funcional, plantas acompañantes, compuestos volátiles orgánicos, Coleoptera, *Coffea arabica*

ABSTRACT

Colombia is one of the world's largest producers of coffee [*Coffea arabica* L. (Rubiaceae)]. The coffee berry borer (CBB), *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), is the main pest of coffee. This insect is controlled through an integrated pest management program that includes cultural, biological, and chemical control strategies. Despite research seeking CBB attractants and repellents, these potential management tools have not been successfully incorporated into control programs. This work proposes the use of plant functional diversity for CBB management, for which a number of plants related to coffee and weeds were selected. CBB preference to these plants was determined by olfactometry and volatile compounds emitted by them were identified. Field trials were performed to test CBB preference under field conditions. These trials determined the olfactory preference of CBB to coffee berries accompanied by material of the plants *Crotalaria micans* Link (Fabaceae), *Lantana camara* L. (Verbenaceae), *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae), *Artemisia vulgaris* L., *Calendula officinalis* L., *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni, and *Emilia sonchifolia* (L.) DC. (all four Asteraceae). Under laboratory conditions *N. tabacum*, *L. camara*, and *C. officinalis* were identified as repellents for CBB in olfactometer assays, whereas *E. sonchifolia* functioned as attractant. The chemical profiles identified the volatile compounds related to the attraction or repellency function. In *L. camara* the emission of different terpenes related to repellency was identified and in *E. sonchifolia* we identified volatile alcohols and acetates related to the attraction of CBB. Controlled field trials corroborated CBB repellency of *N. tabacum* and *L. camara*. A second experiment of arrangement was made combining the attraction and repellency effects of the plants, the reduction of infestation of the coffee borer was evidenced by the presence of *N. tabacum* and *L. camara*. and in the third experiment the effect of an individual companion plant selected within a coffee plot was evaluated. Finally, a proposal of structural design and a agroecological management was present based on the functionality of *L. camara* and *N. tabacum* as repellent plants for CBB.

Key words: ecological agriculture, plant functional diversity, companion plants, volatile organic compounds, Coleoptera, *Coffea arabica*.

LISTADO DE PUBLICACIONES ASOCIADAS AL PROYECTO

ARTICULOS PUBLICADOS

Castro, A.M., Tapias, J., Ortiz, A., Benavides, P., Góngora, C. (2017) Identification of attractant and repellent plants to Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 164: 120–130. DOI: 10.1111/eea.12604

Castro, A.M., Benavides, P., Góngora, C. (2017) Push-pull strategy for handling the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*).

TRABAJOS PRESENTADOS EN EVENTOS

Castro, A.M. (2017). Funcionamiento de un sistema de atracción y repulsión para la broca del café. Poster. Socolen. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia.

Castro, A.M. (2017). Cultivando biodiversidad que transforma: Estudios en café. Conferencia magistral. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Castro, A.M., Tapias, J., Ortiz, A., Benavides, P., Góngora, C. (2016). Cultivando biodiversidad que transforma: Agroecología y café. Socolen. Expositor. Manizales, Colombia.

Castro, A.M., Tapias, J., Ortiz, A., Benavides, P., Góngora, C. (2016). Plantas repelentes y atrayentes para el manejo agroecológico de la broca del café. IX Simposio Nacional de Agroecología, V Seminario Internacional de Agroecología, VII Feria de Intercambio de Experiencias y productos de la Agricultura Ecológica. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Castro, A.M. (2015) Berkeley, California, USA. Preference in coffee berry borer: devising a push – pull strategy in agroecological management of coffee agroecosystems in Colombia.

Castro, A.M., Tapias, J., Ortiz, A., Benavides, P., Góngora, C. (2015). Uso de plantas repelentes y atrayentes en una estrategia de manejo agroecológico de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Colombia. Socolen Medellin. Colombia. **Mención de honor.**

TABLA DE CONTENIDO

ESTUDIO SOBRE LA REPELENCIA Y LA ATRACCIÓN EN LA BROCA DEL CAFÉ COMO HERRAMIENTA PARA EL MANEJO AGROECOLÓGICO EN LOS CAFETALES COLOMBIANOS.....	1
RESUMEN.....	3
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCION.....	6
1.1. INTRODUCCION GENERAL.....	6
1.2. OBJETIVOS.....	9
2. MARCO CONCEPTUAL	11
2.1. AGROECOLOGÍA	11
2.2. TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS	12
2.3. DIVERSIDAD EN LOS AGROECOSISTEMAS.....	14
2.4. EL CULTIVO DEL CAFÉ EN COLOMBIA Y SU PLAGA PRINCIPAL.....	16
2.4.1. Daños económicos causados por la broca del café.....	17
2.4.2. Comportamiento de la broca del café.....	18
2.5. MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS.....	22
2.5.1. Manejo integrado de la broca del café	22
2.5.2. Estrategias de manejo con plantas acompañantes.....	25
2.6. METABOLITOS SECUNDARIOS COMO MECANISMO DE DEFENSA EN LOS FRUTOS DE CAFE.....	26
2.7. OLFATOMETRÍA.....	28
2.7.1. Volátiles y su efecto en la broca del café.....	29
2.7.3. Extracción y cuantificación de volátiles	31
2.8. PLANTAS ACOMPAÑANTES EN LOS CAFETALES.....	31
2.9. ESTRATEGIAS DE ATRACCIÓN Y REPULSIÓN (PUSH PULL).....	32
2.10. COMPLEMENTARIEDAD Y REDUNDANCIA	34
2.11. BASES PARA LA CONVERSIÓN A SISTEMAS AGROECOLÓGICOS	34
2.11.1. Manejo agroecológico de plagas	36
2.11.2. Inmunidad a través del suelo y la diversificación.....	39
2.11.3. Rediseño del sistema predial agroecológico.....	39
3. CUERPO DEL TRABAJO.....	41

3.1. IDENTIFICATION OF ATTRACTANT AND REPELLENT PLANTS TO COFFEE BERRY BORER, <i>HYPOTHENEMUS HAMPEI</i>	41
3.2. FUNCIÓN REPELENTE Y ATRAYENTE PARA LA BROCA DEL CAFÉ DE POSIBLES PLANTAS ACOMPAÑANTES EN LOS CAFETALES Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE SUS COMPUESTOS VOLÁTILES	42
3.2.1. MÉTODO	42
3.2.2. RESULTADOS	47
3.2.3. DISCUSIÓN	54
3.3. FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS REPELENTES Y ATRAYENTES DE LA BROCA DEL CAFÉ COMO ACOMPAÑANTES EN PRUEBAS DE CAMPO	58
3.3.1. MÉTODOS	58
3.3.2. RESULTADOS	66
3.3.3. DISCUSION	78
3.4. PROPUESTA DE DISEÑO AGROECOLÓGICO FUNDAMENTADO EN LAS INTERACCIONES FUNCIONALES DEL SISTEMA PARA REDUCIR LA INCIDENCIA DE LA BROCA DEL CAFÉ	83
3.4.1. METODO	83
3.4.2. RESULTADOS	90
3.4.3. Discusión	128
4. CONCLUSIONES GENERALES	133
5. RECOMENDACIONES	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXOS	163

Índice de Figuras

Figura 1. Fotografías de las plantas seleccionadas: a) <i>Crotalaria micans</i> ; b) <i>Lantana camara</i> ; c) <i>Calendula officinalis</i> ; d) <i>Stevia rebaudiana</i> e) <i>Artemisia vulgaris</i> ; f) <i>Emilia sonchifolia</i> ; g) <i>Nicotiana tabacum</i>	48
Figura 2. Diseño del olfatometro de tubo en Y para evaluar la preferencia de broca del café a frutos de café en presencia de plantas seleccionadas. A. Diagrama del sistema. B. Regulador y filtros de aire. C. Compartimentos a seleccionar. D. Ubicación inicial de la broca en el tubo en Y.	52
Figura 3. Recolección de volátiles emitidos por las plantas seleccionadas. a) Material vegetal de <i>N. tabacum</i> , <i>E. sonchifolia</i> y <i>L. camara</i> , b) <i>C. micans</i> . c) Fibra de microextracción.	53
Figura 4. Preferencia de <i>H. hampei</i> a compartimentos con frutos de café y frutos de café con las plantas acompañantes en prueba de olfatometría. Intervalos de confianza de 95%.....	54
Figura 5 Esquema del diseño de las unidades experimentales, en donde se evalúa la preferencia de <i>H. hampei</i> en condiciones controladas. Para A. y B. las flechas representan la dirección esperada del insecto hacia A. Plantas repelentes y B. Plantas atrayentes. C. Fotografía del encerramiento de las unidades experimentales.....	76
Figura 6 Disposición de las unidades experimentales para la prueba de preferencia en campo bajo un diseño completamente al azar. Mapas de los lotes experimentales de <i>Coffea arabica</i> var. Castillo. a. Con manejo orgánico. b. Con manejo convencional.	76
Figura 7. Diseño de la parcela, tratamientos. a. T1 control absoluto, b. T2 con plantas atrayentes y repelentes, c. T3 mezcla de alcoholes y plantas repelentes.....	79
Figura 8. Fotografía del establecimiento de las plantas en, a. plantas de café como control absoluto en el tratamiento 1 b. plantas repelentes en el interior de la parcela del tratamiento 2 y al interior del tratamiento 3. c. plantas atrayentes en el borde del cafetal en el tratamiento 2. d. bolsa de alcoholes atrayentes ubicada en una planta de café en el borde del tratamiento 3.	80
Figura 9. Distribución de los bloques y las unidades experimentales en el lote. El diseño experimental consistió en cinco bloques y tres tratamientos por bloque distribuidos al azar. La x representa los árboles de café, los rectángulos azules hacen referencia a las mezclas de alcohol del tratamiento 3, los rectángulos verdes representan las plantas atrayentes del tratamiento 2, los rectángulos rojos representan las plantas repelentes de los tratamientos 2 y 3 y los rectángulos negros representan los controles.....	81
Figura 10. Esquema del montaje de la prueba de plantas repelentes en parcelas efectivas. a. Parcela de café con <i>L. camara</i> . b. Parcela de café control. c. Parcela de café con <i>N. tabacum</i>	83
Figura 11. Deltas de diferencia en el porcentaje de infestación de broca entre plantas de café con plantas acompañantes sembradas en un lote de manejo convencional. Valores negativos muestran repelencia, valores positivos muestran atracción. Los deltas de diferencias con la misma letra no muestran diferencias significativas (prueba Duncan $p < 0,05$).	86
Figura 12. Porcentaje de infestación de broca en el borde de cada tratamiento a través del tiempo. Cada evaluación se realizó con 15-18 días de diferencia.	88

Figura 13. Porcentaje de infestación de broca en el interior de cada tratamiento a través del tiempo. Cada evaluación se realizó con 15-18 días de diferencia.	88
Figura 14. Porcentaje de infestación de broca (PFB) entre el borde y el interior de cada tratamiento. a. Tratamiento 1 control. b. Tratamiento 2 <i>E. sonchifolia</i> al exterior - <i>N. tabacum</i> y <i>L. camara</i> al interior. y c. Tratamiento 3 mezcla de alcoholes al exterior- <i>N. tabacum</i> y <i>L. camara</i> al interior.	91
Figura 15. Porcentaje de infestación de broca en el borde de cada tratamiento a través del tiempo para el bloque 5.	92
Figura 16. Porcentaje de infestación de broca en el interior de cada tratamiento a través del tiempo para el bloque 5.	93
Figura 17. Porcentaje de infestación de broca entre el borde y el interior de cada tratamiento a través del tiempo para el bloque 5. a. Tratamiento 1 control. b. Tratamiento 2 <i>E. sonchifolia</i> al exterior - <i>N. tabacum</i> y <i>L. camara</i> al interior. y c. tratamiento 3 mezcla de alcoholes al exterior- <i>N. tabacum</i> y <i>L. camara</i> al interior.	95
Figura 18. Ruta crítica para seguir un manejo agroecológico para la broca del café.	119
Figura 19. Mapa del departamento de Caldas. Se describe el porcentaje de área sembrada en café de los 25 municipios cafeteros. (Tomado de Informe de gestión Comités Departamentales 2011).	124
Figura 20. Algunos visitantes florales de <i>L. camara</i> . a) Abejorros; b) Abejas; c) Lepidópteros; d) Avispas (Tomado de Zenimori & Pasin 2006).	140
Figura 21. Esquema teórico de la diversidad de fauna relacionada con la broca del café y <i>Lantana camara</i> . Las flechas punteadas representan la atracción de los insectos hacia la planta.	146
Figura 22. Esquema del cafetal propuesto para el manejo de la broca del café.	147
Figura 23. Esquema del diseño. Al interior, las plantas acompañantes <i>L. camara</i> y <i>N. tabacum</i> repelen la broca del café, dirigiéndola hacia los bordes del cafetal, donde se presentará mayores niveles de infestación.	147
Figura 24. Triangulo del riesgo de presentar pérdidas por broca del café para la Finca orgánica Canaguaro, ubicada en Silvania -Cundinamarca.	160
Figura 25. Mapa del lote de experimento y lote de referencia de la finca Canaguaro. Distribución de plantas acompañantes (<i>L. camara</i> y <i>N. Tabacum</i>) dentro del cafetal en el lote de experimento. Los diferentes tonos de verde representan tres diferentes fechas de siembra.	161
Figura 26. Establecimiento de las plantas repelentes al interior del cafetal en la Finca Canaguaro. a. <i>L. camara</i> en etapa vegetativa. b. <i>L. camara</i> produciendo flor al lado de los frutos de café. c. Calidad de la cosecha de café. d. <i>N. tabacum</i> , daño en las hojas causado por lepidópteros. e. Lepidópteros alimentándose de hojas de tabaco en campo. f. Crecimiento de la planta de <i>N. tabacum</i> luego de la aplicación con <i>Bacillus thuringiensis</i>	162

Índice de Tablas

Tabla 1. Listado de plantas seleccionadas, incluyendo nombre científico, el nombre común como se le conoce en la región cafetera de Colombia y las características consideradas para su selección.	49
Tabla 3. Promedio del porcentaje de infestación de broca y promedio del número de frutos por árbol dentro de cada tratamiento en el lote convencional con 20 repeticiones por tratamiento. La comparación entre las plantas de café con plantas acompañantes y plantas de café sin plantas acompañantes dentro de cada tratamiento con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Prueba LSD $P < 0.05$).	84
Tabla 4. Promedio del porcentaje de infestación de broca y promedio del número de frutos por árbol dentro de cada tratamiento en el lote orgánico con 20 repeticiones por tratamiento. La comparación entre las plantas de café con plantas acompañantes y plantas de café sin plantas acompañantes dentro de cada tratamiento con la misma letra no son diferentes estadísticamente (prueba LSD $P < 0.05$).	85
Tabla 5. Promedio del porcentaje de infestación de broca en plantas de café acompañadas de la planta <i>L. camara</i> . (ANOVA $p < 0,05$)	96
Tabla 6. Indicadores que participan en la definición del riesgo que representa la broca del café para los caficultores (Modificado de Barrera et al. 2007).	135
Tabla 7. Guía de valoración del estado de la vulnerabilidad al ataque de la broca del café y la capacidad de respuesta del caficultor. Sistema semáforo donde, rojo = alta vulnerabilidad, amarillo = vulnerabilidad media y verde = baja vulnerabilidad o alta resiliencia	136
Tabla 8. Resumen de las condiciones de establecimiento del re diseño predial para el manejo agroecológico de la broca del café.	149
Tabla 9. Resumen de las prácticas dentro del plan de manejo agroecológico para el cafetal.	151
Tabla 10. Matriz para el diagnóstico del riesgo. Evaluación descriptiva, peso de los indicadores y el porcentaje de los componentes de la ecuación de riesgo de broca del café.	159

1. INTRODUCCION

1.1. INTRODUCCION GENERAL

En la actualidad Colombia cuenta con más de 941.000 hectáreas sembradas en café, las cuales producen 14,2 millones de sacos de café arábico al año. Esto representa el 15% de la producción mundial y convierte al país en el segundo productor de *Coffea arabica* en el mundo (FNC, 2015; USDA, 2015). El café representa el 34% de la actividad agrícola del país y genera \$6.2 billones de pesos por la cosecha al año (FNC, 2015; ICO, 2015). Sin embargo, su participación en el creciente mercado de cafés orgánicos es baja. De las 903.878 hectáreas dedicadas a la producción de café orgánico en el mundo, Colombia participa con solo 10.495 hectáreas establecidas y en proceso de conversión, 1,4% de la producción mundial (Willer & Lernoud, 2017). Una de las principales razones es la dificultad en el manejo de plagas.

La broca del café (*Hypothenemus hampei*) es actualmente la principal plaga del cultivo de café en Colombia y en el mundo, el daño lo ocasiona el insecto al perforar y barrenar la almendra, lo que conlleva a pérdidas del grano y en muchos casos la caída prematura de los frutos, generando disminución del precio de venta de la cosecha. Además, representa gastos adicionales por concepto de manejo y reducción de la calidad del producto final (Benavides & Arévalo, 2002; Benavides et al., 2012).

Aunque la infestación por broca varía por la altitud y la temperatura en la que se encuentre el cultivo, en Colombia la infestación oscila entre el 0,5% y 7,6%, cuando la infestación está por encima del 4% genera pérdida económica en la producción, por lo que a partir de este valor se considera una plaga. (Benavides, et al. 2015; CORPOICA, 2011).

El control de la broca del café es complicado debido a su ciclo de vida que transcurre casi en su totalidad dentro del fruto de café y a la presión del clima que influye fuertemente en la densidad poblacional de la plaga en el cafetal (Constantino, 2010). Teniendo en cuenta lo anterior, el Manejo Integrado de la Broca del café (MIB) ha sido la estrategia utilizada para proteger la cosecha del ataque del insecto. El programa MIB incluye prácticas culturales y cuando es necesario, el uso de plaguicidas localizado durante el vuelo de la broca para

manejar la plaga (Benavides, et al. 2012; Benavides & Arévalo 2002; Bustillo, 2008).

Las condiciones climáticas, la demanda de altas producciones, la expansión territorial del cultivo de café y el grado de tecnificación aseguran el suministro permanente de alimento favoreciendo al insecto (Bustillo, 1991), por tanto se intensifican los requerimientos externos para su manejo, esto aumenta los costos de producción, requiere un alto conocimiento y una intensa labor manual.

En la zona central de Colombia más del 70% de las fincas cafeteras siembran las variedades mejoradas resistentes a roya, de porte bajo, en altas densidades bajo sombra reducida o sin sombra y regularmente necesitan la aplicación de insumos químicos para el control de la broca (FNC, 2015). Sin embargo, el desarrollo de resistencia de *H. hampei* a plaguicidas de uso común (Brun, et al. 1994; Navarro et al 2010), la prohibición de otros por su alta toxicidad, el interés de producir económica y ambientalmente sostenible (FNC, 2015) y de consumir alimentos con altos estándares de calidad, lo que incluye libre de residuos de plaguicidas, hace pertinente buscar alternativas de manejo.

El sistema de producción de esta zona del país es monocultivo, sin embargo, estas fincas cuentan con una alta diversidad, tanto alrededor de los lotes de café como en las zonas de potrero y bordes de carretera. Conocer si esta vegetación vecina al cultivo de café puede ejercer un efecto repelente o atrayente en la broca del café, abre la puerta para proponer alternativas en el manejo de esta plaga. Introducir esta diversidad funcional endémica o adaptada a los agroecosistemas es una potencial estrategia para manejar de manera más estable en el tiempo los problemas que generan las altas infestaciones de broca de café.

Actualmente, son escasos los esfuerzos en el mundo para diversificar agroecosistemas. Se han realizado algunas investigaciones para introducir diversidad vegetal específica en cafetales con el objetivo de amortiguar los efectos del cambio climático (Farfán, 2014; Fischersworing, et al. 2015; Lin, 2007; Nicholls, et al. 2015; Perfecto & Vandermeer, 2015), pero muy pocas se han dirigido al manejo de plagas, en particular al de la broca del café (Vázquez, 2005).

En esta tesis doctoral se evaluó la hipótesis de si existen plantas que crecen en las cercanías de los cafetales colombianos, que tienen acción repelente y atrayente sobre la broca del café, las cuales pueden acompañar el cultivo del café bajo un diseño que contribuya a disminuir las infestaciones de la broca del café en los cafetales.

Para responderla, el trabajo se dividió en tres partes, explicadas en el capítulo tres. En la primera se estudiaron y seleccionaron siete posibles plantas acompañantes de los cafetales: *Crotalaria micans*, *Lantana camara*, *Artemisia vulgare*, *Nicotiana tabacum*, *Calendula officinalis*, *Stevia rebaudiana* y *Emilia sonchifolia*, en su mayoría arvenses de la zona central cafetera de Colombia. Además, se evaluó la preferencia olfativa de la broca frente a frutos de café acompañados de estas plantas. Las plantas con mayor actividad repelente fueron *Crotalaria micans*, *Lantana camara* y *Nicotiana tabacum*, la planta que mostró actividad atrayente fue *Emilia sonchifolia*. Para estas tres plantas se obtuvieron los perfiles químicos, identificando los compuestos volátiles emitidos y se relacionaron con su función de repelencia o atracción.

En la segunda parte del trabajo se realizaron pruebas de campo. Se montaron tres experimentos para corroborar el efecto de las plantas acompañantes seleccionadas en laboratorio sobre la broca del café en el cafetal. En el primero se utilizaron las plantas individuales bajo un arreglo con condiciones de infestación controladas, en un lote con manejo convencional y en un lote con manejo orgánico. En segundo experimento se evaluaron las plantas en un arreglo que combinó las funciones repelentes y las atrayentes. En el tercer montaje se evaluó el efecto de cada planta repelente dentro de una parcela de café. Los resultados permitieron establecer que el uso de las plantas repelentes al interior del cafetal puede ser una buena estrategia para el control de la broca del café. Por último, en la tercera parte se realizó una caracterización del sistema de café en la zona central cafetera de Colombia, apoyado en una robusta bibliografía publicada por Cenicafé, referente a las condiciones socioeconómicas, biológicas, ambientales y tecnológicas involucradas en el manejo de la broca del café, desde la llegada del insecto al país, hace aproximadamente 30 años (Vélez & Benavides, 1990). Con esta información, se definieron las variables que ponen en riesgo a los cafeteros por la presencia de la broca del café y para contrarrestar esta problemática, se propuso un

rediseño del establecimiento del cultivo con la introducción del material vegetal repelente para la broca del café, teniendo en cuenta el ecosistema natural predominante en la región y los servicios agroecosistémicos que debe proporcionar esta nueva biodiversidad al interior del cafetal.

Acompañado del rediseño, se realizó un plan de manejo que incluye pautas para la protección del suelo, prácticas de control cultural y control biológico y labores complementarias para garantizar la reducción en la incidencia de la plaga. Para despertar el interés en la validación de esta propuesta, se recomendó realizar una socialización y posteriormente, un programa de desarrollo participativo que genere en los investigadores, técnicos de extensión y caficultores, una visión integral de los conceptos y las prácticas para manejar el problema de la broca, pero también, un cambio de conciencia ambiental para evidenciar la forma en la que el sistema logra ser resiliente ante el ataque de la broca y la presencia de otras plagas y enfermedades, que puedan desatarse por los continuos cambios climáticos.

Este trabajo de investigación ayuda al entendimiento de la red compleja de interacciones ecológicas en un cafetal, con la finalidad de proponer diseños agroecológicos de fácil adopción por parte del caficultor, que propicien dichas interacciones y generen resiliencia en los sistemas cafeteros de Colombia.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar plantas atrayentes y repelentes a la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y utilizarlas como herramienta para el manejo de esta plaga en los cafetales, bajo un diseño agroecológico.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.2.1. Evaluar la función repelente y atrayente para la broca del café de una selección de posibles plantas acompañantes de los cafetales por medio de pruebas de olfatometría en laboratorio y caracterizar químicamente los compuestos volátiles relacionados con dicha función.

1.2.2.2. Evaluar el efecto para la broca del café de las plantas repelentes *Lantana camara* y *Nicotiana tabacum* y de la atrayente *Emilia sonchifolia* como acompañantes en tres diferentes pruebas de campo.

1.2.2.3. Proponer un diseño agroecológico del cafetal fundamentado en las interacciones funcionales de las plantas acompañantes atrayentes o repelentes de la broca del café para reducir la incidencia de la broca.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. AGROECOLOGÍA

La agroecología nace como un movimiento que representa un cambio de paradigma, con el objetivo de transformar la agricultura convencional en una agricultura sustentable. Para esto, sugiere un cambio en los métodos utilizados, en los patrones de medición, en la forma de concebir el tiempo y el espacio y en la razón del porqué se hace ciencia. Se centra justamente en el análisis ambiental de los agroecosistemas, asumiendo la complejidad que ello implica y generando nuevas aproximaciones en lo teórico y en lo práctico (Callicot, 1988; Gastón, et al. 2009; León-Sicard, 2009; Sevilla, 2006).

Como ciencia ambiental, la agroecología estudia de manera conjunta, las interrelaciones complejas, dinámicas y constantes que se establecen entre los ecosistemas y las culturas. Por lo cual, toma el sistema completo, el agroecosistema, como la unidad de estudio, basándose en que todo es más que la suma de sus partes, es lo que determina su naturaleza. En el plano agrario, esa dimensión ambiental exige comprender las limitaciones y las potencialidades del escenario biofísico en el que se desarrollan las actividades de producción y, al mismo tiempo, una aproximación cultural a los grupos humanos que las desempeñan, en donde se haga visible la estructura simbólica, la organización social y la plataforma tecnológica a través de las cuales se realiza la apropiación de la naturaleza (Ángel, 1993; León-Sicard, 2009; León-Sicard, et al. 2008).

Estas diferencias con lo convencional se traducen en que el énfasis de la agroecología es más que la conservación de los recursos naturales como tal, la conservación de las funciones y la capacidad productiva del ecosistema a largo plazo, que se logra por medio de la conservación de la biodiversidad, del aprovechamiento de los ciclos hídricos, del suelo, de la calidad del paisaje, de la diversificación de los productos, de la satisfacción de las necesidades humanas, que vayan a la par con el desarrollo, las necesidades económicas y potencialidades de los agricultores locales, con la distribución equitativa de los beneficios y con la conservación de los derechos de los pueblos, para así, lograr una agricultura realmente sostenible (Gastón, et al. 2009).

2.2. TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS

Cuando hablamos de agroecosistemas, nos referimos a un espacio natural diversificado en especies, elementos y funciones. En términos ecológicos, diversidad es la riqueza y establecimiento de las especies en un ecosistema, pero de la misma forma, el concepto puede incluir los componentes de clima, geomorfología, sitio, agua y cultura, que lo llevan a un equilibrio homeostático particular (Pareto, 1987 en Sevilla, 2006). Siguiendo la teoría de la complejidad, todos los sistemas se encuentran entretejidos de una manera heterogénea e inseparable, en todos los ecosistemas operan mecanismos de acumulación de energía organizada. En otras palabras, los ecosistemas son capaces de auto organizarse de manera autopoietica¹ en respuesta a los cambios internos o externos, evitando que se produzca un desequilibrio o una desorganización. Esta energía acumulada se expresa por medio de mecanismos (ej. mecanismos de reserva, de defensa, de alimentación, de regulación, de reproducción, etc.). Sin embargo, para que se den estos mecanismos se necesita almacenar la información en cada componente, e implica que estos se interrelacionen, la eficiencia de estos mecanismos aumenta en la medida que la complejidad organizacional aumenta. Los componentes se relacionan unos con otros de formas distintas y cada parte puede cumplir más de una función. De este modo, aumenta la complejidad y el número de conexiones de manera exponencial (Chiavenato, 1999; Margalef, 1968; Maturana, 1992; Morin, 1990; Sevilla, 2006).

Así, un agroecosistema simplificado que cuente con bajas interacciones, necesita ser subsidiado por flujos de energía auxiliares y una alta cantidad de nutrientes que provengan de otros ecosistemas para enfrentar los cambios, tal como la proveen los combustibles fósiles en los cultivos convencionales. Por el contrario, en agroecosistemas complejos, que cuentan con una alta diversidad, como ocurre en cultivos manejados con base a la agroecología, dependen del reciclaje interno de nutrientes para su regulación y pocos o ningún insumo

¹ La autopoiesis, hace referencia a la organización de los sistemas vivos: Los sistemas que presentan una red de procesos u operaciones (que los definen como tales y lo hacen distinguibles de los demás sistemas), y que pueden crear o destruir elementos del mismo sistema, como respuesta a las perturbaciones del medio (Maturana, 1992).

externo por las funciones que suplen sus múltiples componentes (Odum, 1975 en Sevilla, 2006).

Para ayudar a mantener este equilibrio en un sistema agrícola, se requiere identificar las conexiones apropiadas y lograr una composición de la diversidad selectiva y funcional, si es más fácil emular un proceso ecológico específico que duplicar la complejidad de la naturaleza, entonces se debiera realizar esfuerzos para incorporar un componente específico de la biodiversidad que juegue un rol especial, que cumpla una función (ej. que fije nitrógeno, que sus flores atraigan parasitoides o que estas repelen las plagas) y no al azar (Nicholls, 2009). Es lo que se conoce en la teoría de sistemas como el efecto palanca, hay unas partes y relaciones que son más importantes que otras y ejercen un mayor grado de control sobre el sistema. En lugar de malgastar la energía directamente, si se observan las conexiones, se puede presionar con poco esfuerzo las partes que se quieren desplazar. El desafío está en identificar los ensambles correctos, funcionalidades y abundancia de especies que, a través de sus interacciones proveen los servicios ecológicos necesarios de acuerdo con lo que ofrece las condiciones biofísicas y socioeconómicas imperantes en la región (Magdoff, 1999; Nicholls, 2009; Ramírez, 2002).

El equilibrio de estos ensamblajes en los agroecosistemas está sujeto a cambio en el tiempo y en el espacio, los períodos de estabilidad de las condiciones biológicas, socioeconómicas y ambientales se alternan con períodos de inestabilidad. Estos ciclos reflejan los cambios de magnitud del capital acumulado, tales como nutrientes, carbono, energía, pero también la respuesta de los mecanismos en cada cambio de estado. Por lo tanto, estas variaciones están condicionadas por el grado de heterogeneidad en la diversidad de cada región agrícola en particular (Nicholls, 2009).

Durante el período de reajuste, el sistema dependerá de su flexibilidad en la adecuación a las nuevas circunstancias. De esta forma, es posible plantear que la sustentabilidad depende, en parte, de la flexibilidad adaptativa de la diversidad. La flexibilidad del sistema estará determinada por el grado de información o complejidad de éste, por lo que mientras más simplificado sea el sistema menor será su flexibilidad ante los disturbios. Este desbalance en las interacciones y limitación de las respuestas frente al cambio ha generado, entre

otras cosas, que aumenten las plagas en los cultivos simplificados (Costanza, et al. 1992; Gunderson & Holling, 2001; Morin, 1990).

2.3. DIVERSIDAD EN LOS AGROECOSISTEMAS

La diversidad no solo es la riqueza de especies con procesos biofísicos específicos, sino la riqueza de las interrelaciones ecológicas complejas que involucra dicha diversidad. De ahí que, en la búsqueda de mayor diversidad se indague por las propiedades emergentes de los agroecosistemas según los manejos a los que son sometidos, más que por un efecto específico de una práctica determinada. Hay un mayor interés por el “efecto sistema” y en la optimización del agroecosistemas, que por el efecto parcial de las variables independientes (Altieri, 1995; León-Sicard, 2009).

Al reducir el agroecosistema a un cultivo de solo una especie vegetal productiva (monocultivo), se genera el aislamiento de controladores biológicos naturales o insectos que potencialmente puedan serlo, puesto que pierden su hábitat, fuentes de alimento y lugar de reproducción; el fitófago predominante aumenta su especialización concentrándose en el único recurso continuo y uniforme que se le presenta, por ende, se incrementan las poblaciones.

Existe abundante literatura agroecológica que describe el papel de la diversificación de los agroecosistemas en la regulación de plagas. Con un diseño que asegure la funcionalidad de la diversidad que se incorpore o se mantenga en el agroecosistema, los nexos tróficos aumentarán, incrementando a su vez la diversidad asociada que, sin función directa en la producción, desarrollarán sinergismos que promueven la estabilidad poblacional de los insectos (Altieri & Nicholls, 2009; Ohgushi, et al. 2007; Vandermeer, et al. 1998). A pesar de que los controladores naturales varían ampliamente en su respuesta a la distribución, densidad y dispersión de cultivos, la evidencia señala que la estructura compleja del agroecosistema (como las malezas y coberturas, la estratificación arbórea, los corredores vegetales, la diversidad genética, los niveles de nitrógeno y otros nutrientes en el suelo) influyen drásticamente en la dinámica de los depredadores y parasitoides (Altieri, 1995; Altieri & Nicholls, 2012; Nicholls, 2009; Nicholls, et al. 2000; Vandermeer, et al. 1998). La forma de poder estudiar estas interacciones complejas es bajo un

pensamiento sistémico, en donde el interés por conocer el papel que desempeñan las partes es con la intención de unirlos, porque el principio de la relación causa-efecto no es suficiente para explicar las relaciones de un evento complejo.

El aumento de las visitas de los controladores biológicos al cultivo y la introducción de otros cultivos o plantas acompañantes que dispersan los recursos, han sido las hipótesis que explican como el aumento en la complejidad puede reducir las poblaciones de plagas (Altieri, 1994; Magdoff, 1999; Nicholls, 2009).

Algunos de los factores relacionados con esta diversificación incluyen: el rompimiento de la continuidad en las especies vegetales para prevenir el movimiento y la emigración de las plagas; la emisión de compuestos químicos orgánicos por las plantas acompañantes para repeler la colonización, disminuir la reproducción e inhibir la alimentación de las plagas del cultivo y atraer, brindar alimento alternativo y hábitat para las poblaciones de parasitoides y depredadores (Armbrecht & Gallego, 2007; Nicholls, 2009; Ratnadass, et al. 2012).

Con respecto al uso de organismos vivos como parasitoides, depredadores o entomopatógenos para la regulación de plagas, para encontrar esa dinámica de comunidades vale más que liberarlos continuamente, determinar los elementos subyacentes que pueden evitar la invasión de una plaga y favorece la colonización, el crecimiento y establecimiento de las poblaciones de controladores naturales (Altieri & Nicholls, 2009).

Bajo esta visión, se privilegia un manejo holístico de los agroecosistemas, la dinámica de las comunidades de insectos, brinda mayor información que el aislamiento o introducción de una sola especie depredadora o parasitoide; la integración de los subsistemas animal, forestal y agrícola en una sola unidad, más que su separación conceptual y práctica; la incorporación de vegetación funcional asociada, sobre la adición de compuestos químicos u orgánicos externos y la visión ética del alimento sano, en contraposición a las ideas exclusivas del rendimiento vegetal por área como principal objetivo de la tarea agronómica (León-Sicard, 2009; Nicholls, 2009).

Dentro de un ecosistema, los organismos ocupan diferentes posiciones en la cadena trófica y sus poblaciones se regulan dentro de un ambiente dado en función de la abundancia del alimento y de sus enemigos, en condiciones naturales los insectos consumidores viven a expensas de las especies productoras. Se convierten en insectos plaga cuando la población de fitófagos disminuye la producción de un cultivo, reduce el valor de la cosecha o incrementa sus costos de producción. Por tanto, se trata de un criterio económico.

El aumento de las poblaciones de los organismos considerados plagas es la respuesta de la naturaleza frente a un desequilibrio existente. Las poblaciones elevadas generalmente se alimentan de los individuos más débiles u ocupan su lugar, cumpliendo con esto una función ecológica de coevolucionar con las plantas. Sin embargo, en los monocultivos esta coevolución – o intento de equilibrarse- se convierte en un problema.

2.4. EL CULTIVO DEL CAFÉ EN COLOMBIA Y SU PLAGA PRINCIPAL

De las 103 especies del género *Coffea* (Davis, et al. 2006) solo dos son de importancia económica *Coffea arabica* (arábica), con el 70% del café que se comercializa a nivel mundial y *Coffea canephora* (robusta) con el 30% (Medina-Filho, et al., 2006). Sumadas representan uno de los productos agrícola de mayor importancia en el mundo, con ingresos anuales que superan los 70.000 millones de dólares (Vega, et al. 2006).

En Colombia solo se cultiva variedades de café arábica y la venta de la cosecha anual representa 2.200 millones de dólares. Esto se redistribuye como ingreso entre 561.000 familias y se traduce en consumo de bienes y servicios en la economía de más de 590 municipios de Colombia, lo que representa más de la mitad del país (FNC, 2016). Por tanto, cualquier problema que afecte el cultivo tendrá importancia en la economía colombiana.

A finales de la década de los 80 llegó al país la broca del café *Hypothenemus hampei*, la plaga más importante de este cultivo a nivel mundial (Bustillo, 2006), que deja pérdidas globales hasta por 500 millones de dólares (Vega, et al. 2009).

La broca del café es originaria de África ecuatorial. Su centro de origen se encuentra en Etiopía, del mismo lugar donde proviene el género *Coffea* sp. y donde se encuentran sus enemigos nativos (Benavides, 2005; Benavides, et al. 2005; Waller, et al. 2007).

Desde África, la broca atravesó todos los continentes a través del comercio de bienes entre los países, el intercambio de semillas y el transporte de recolectores de café, hoy en día, se encuentra en todos los países productores. Desde 1922 la broca se reportaba en el continente suramericano (en Brasil), solo hasta 1988 se detectó la broca en Colombia, específicamente en la región fronteriza con Ecuador y en Ancuyá (Nariño, Colombia) (Vélez & Benavides, 1990). Siendo una especie exótica, la broca encontró condiciones favorables para su rápida dispersión, el clima, la continuidad de los cafetales y la carencia de agentes de control que le permitieron desarrollar su potencial biótico sin ninguna restricción y alcanzar altos niveles de población en los cafetales colombianos (Bustillo, 1991).

2.4.1. DAÑOS ECONÓMICOS CAUSADOS POR LA BROCA DEL CAFÉ

La broca localiza el fruto, lo perfora y barrena la almendra, la herida que hace en el fruto permite la llegada de infecciones fúngicas y bacterianas, produciendo sabores fermentados o mohosos en la taza de estos cafés (Montoya, 1999). Además, al llegar la broca a la almendra, pone sus huevos y cuando estos eclosionan, las larvas se alimentan en el interior dañando la estructura y composición del endospermo, lo que conlleva a la pérdida de peso, de hasta un 45% del peso original de la almendra y en muchas ocasiones, causando la caída prematura de los frutos (Benavides, et al. 2012), disminuyendo el precio de venta de la cosecha.

La mínima densidad de población del insecto que se necesita para causar pérdida económica de la broca es la equivalente a 4% de infestación en campo. Desde el 2009 y hasta el 2015, si en la producción del caficultor se sobrepasaba este umbral, le generaba una reducción en el precio de \$385 pesos por arroba, o el equivalente a \$30 pesos por Kg de café pergamino seco por cada punto porcentual de frutos brocados (FNC, 2009). Por su parte, las políticas del mercado internacional no permiten que el café de exportación

sobrepase el 1,5% de daño causado por el insecto (Duque & Baker, 2003). Sin embargo, para los mercados de café Premium la tolerancia al daño sigue siendo nula (Castaño-Castrillón & Quintero, 2004). Debido a las altas incidencias, a finales del 2015, se modificó el sistema de compra de café en Colombia basado en el factor de rendimiento que reconoce la cantidad de café pergamino necesario para obtener un saco de 70 kilos de café tipo exportación, la cual se determina durante el proceso de trilla. El factor base es de 94 kilos de pergamino seco por cada saco de 70 kilogramos. Entonces se elimina el descuento por cada punto porcentual o fracción, que supere el 5% del grano brocado, se incluye el precio de las pasillas y granos inferiores en el valor total por carga de café pergamino seco, valores que antes no se tenían en cuenta y se autoriza incorporar hasta 20 granos brocados en la masa de almendra sana para efectos del cálculo del factor de rendimiento en trilla, hasta llegar a los 94 kilos. Con respecto a la comercialización externa, se autorizó la exportación de granos de menor calidad conocidos como segundas, manteniendo los controles fitosanitarios y de humedad exigidos por el ICA (FNC, 2015). Esta medida, aunque aumenta los volúmenes de exportación, baja la calidad y por lo tanto el precio del café colombiano en el exterior. Además, la incidencia de esta plaga representa gastos adicionales para el caficultor de alrededor del 10% del costo de producción por concepto de manejo del cultivo en campo (Duque, et al. 2002; Benavides & Arévalo, 2002).

2.4.2. COMPORTAMIENTO DE LA BROCA DEL CAFÉ

El conocimiento de la biología y del comportamiento de la broca del café, es fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo, para la toma de decisiones a seguir y sobre todo si se desea implantar estrategias de control biológico.

La broca del café se orienta y es atraída a los cafetales principalmente por el olor producido por compuestos volátiles emitidos por el fruto (Bustillo, et al. 1998; Duarte, 1992; Bruce, et al. 2005). El insecto adulto hembra vuela en busca de un fruto de café, lo localiza, se posa y lo penetra, generalmente por la zona de la cicatriz del disco, pero puede encontrarse perforaciones en otros lugares del fruto. La broca comienza a cavar, dependiendo del estado de maduración del fruto, tomará de 5 a 11 días para llegar al canal de penetración

y de 4 a 90 días para llegar a la almendra y depositar los huevos en el interior, entre más maduro se encuentre el fruto, más corto será el proceso (Bustillo, 2008).

Su periodo de oviposición es de 20 a 30 días y ponen entre 2 y 3 huevos diarios, logrando poner de 40 a 90 huevos a lo largo de su vida. Una vez la hembra comienza su oviposición, permanece en el interior del fruto hasta su muerte, para cuidar la progenie (Bustillo, 2008). La incubación del huevo dura de 7 a 8 días y el estado larval 15 días para los machos y 19 para las hembras y las pupas se desarrollan de 7 a 8 días. El ciclo de vida de la broca desde huevo hasta adulto dura de 27 a 35 días. Esto depende fundamentalmente de las condiciones ambientales, en particular de la temperatura. Cuando las hembras de la progenie son adultas y se presentan las condiciones de temperatura y humedad relativa ideales, salen del fruto y vuelan para colonizar un nuevo fruto. El inicio de esta siguiente generación tarda, según las condiciones para la zona cafetera colombiana, 45 días a una temperatura de 22°C y 60 días a una temperatura de 19°C. Los machos completan el ciclo de vida en su totalidad dentro del fruto, se desarrollan más rápido que la hembra y copula con las hembras que van emergiendo. Presentan un radio sexual de un macho por 10 hembras (Bergamin, 1943). Este macho solo cumple una función reproductora, es de menor tamaño y tiene atrofiados los músculos de las alas, por lo cual no puede volar y son incapaces de perforar el fruto. Este comportamiento explica porque no es viable el uso de feromonas como atrayentes sexuales para el manejo del insecto (Bustillo, et al. 1998). Bajo las condiciones de la zona central cafetera colombiana se ha determinado que, desde que el fruto sea susceptible al ataque de la broca hasta la época de su cosecha, se pueden desarrollar dos generaciones del insecto. De ahí la importancia de recoger los frutos brocados que no se cosechan en el árbol (Ruiz, 1996).

El clima y la altitud son factores importantes en el tiempo de desarrollo y distribución del insecto. El tiempo de desarrollo del insecto es menor en localidades bajas (1.200 a 1.300 m.s.n.m.), con temperaturas medias superiores a 21°C y el tiempo de desarrollo es mayor en sitios por encima de 1.600 m, con temperaturas medias por debajo de 20°C. En épocas secas, aumenta la reproducción de la broca dentro de los frutos y al inicio de las

lluvias, emergen los adultos de los frutos infestados. Por lo tanto, la dinámica de infestación de la broca se ve afectada por eventos climáticos como El Niño o La Niña. En los años en los que se presenta el fenómeno de El Niño o es un año Neutro, las poblaciones de broca aumentan, cuando el fenómeno de La Niña predomina, disminuyen las poblaciones (Constantino, 2010). La diferencia de temperatura es de en promedio 1,5°C, medida suficiente para incrementar el porcentaje de infestación en los árboles de café, de un 5% de infestación durante un periodo La Niña hasta un 30%-40% de infestación durante un periodo El Niño, en una localidad a 1.218 m de altitud, mientras que, en una zona de 1.700 m, el nivel de infestación permaneció por debajo de 5%. De igual manera influye la humedad relativa, que por debajo del 60% a 25°C causa la salida de un gran número de adultos de los frutos de café. Sin embargo, la emergencia de la broca es mínima a 90% de humedad relativa (Constantino, 2010).

Aunque todavía quedan aspectos del comportamiento de la broca del café por conocer, la información que se tiene es la suma de muchos años de investigación que han permitido mejorar su manejo y pasar de la aplicación indiscriminada de plaguicidas a un manejo integrado de la plaga (Bustillo, 2006). Sin embargo, las largas extensiones de áreas conectadas, sembradas en café parece favorecer a la broca, en condiciones climáticas ideales para el desarrollo de la plaga, se incrementa la posibilidad de presentarse vuelos individuales para encontrar nuevos frutos de café a colonizar, sobre todo después de la cosecha cuando son pocos los frutos que quedan en el árbol (Sánchez et al., 2013). Esto traerá un aumento de la supervivencia de la especie durante periodos de escasos, en consecuencia, infestaciones más altas en la siguiente cosecha. Los movimientos de la broca fuera del cafetal a las tierras aledañas son prácticamente nulos. Gil et al. (2015) establecieron que en un cafetal, la broca no vuela más de 65 m y más del 90% quedan en un radio inferior a 40 metros. Así, interrumpiendo la continuidad del cafetal y estableciendo enemigos naturales en el interior se puede reducir la migración de la broca hacia un nuevo cafetal sin broca.

Si se observa, las poblaciones de hembras adultas de la broca del café pueden realizar cuatro tipos de desplazamiento: (1) entre las plantas durante la etapa de fructificación y cosecha; (2) de los frutos en la planta a los frutos en el suelo

al final de la cosecha, dentro de frutos que caen y mediante su propio vuelo; (3) entre frutos en el suelo, la broca que emerge de los frutos infestados caídos al suelo y que comienzan a descomponerse es capaz de atacar frutos en buen estado; y (4) emergen de frutos en el suelo y acuden a la planta en la nueva fructificación (Vázquez et al. 2012; Bustillo et al. 1998).

Teniendo en cuenta los reportes para la broca en la zona central cafetera colombiana, se espera que las épocas de floración se presenten de febrero a marzo y de agosto a septiembre, durante este periodo la cantidad de frutos en el suelo es menor, pero estos manifiestan altas poblaciones de broca, las cuales, esperan los inicios de periodos críticos entre junio y julio y enero y febrero para subir a los árboles, es decir que, en Colombia durante casi todo el año se cuenta con la presencia de broca, más aún, cuando en la región no se presentan periodos secos marcados, debido a la precipitación excesiva durante el año, el tipo de floración es indefinida y se presenta susceptibilidad de los frutos al ataque de la broca todo el año (Arcila 2011a; 2011b).

Para estos frutos, los principales enemigos naturales que se relacionan con el suelo del cafetal son hongos entomopatógenos, principalmente *Beauveria bassiana* y varias especies de formícidos (Vera, et al. 2007; Armbrrecht et al., 2005; Vélez, 2002; Armbrrecht y Gallego, 2007; Vera et al, 2007; Bustillo et al., 2002) y en menor proporción se han reportado la presencia de nematodos alimentándose de broca en el suelo (Lara et al., 2004; López et al., 2008; Molina y López, 2002). También, se encuentran especies alimentándose de broca al interior de los frutos en los árboles de café. Los parasitoides naturales de la broca del café, provenientes de su centro de origen son *Prorops nasuta*, *Cephalonomia stephanoderis*, (Hymenoptera: Bethylidae), *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) y *Heterospilus coffeicola* (Hymenoptera: Braconidae), algunos de estos se han criado en condiciones de laboratorio y se han liberado, logrando tener eficacia en las condiciones de campo en Colombia. Algunos de los controladores biológicos liberados se encuentran hoy en día, en el entorno de los sistemas cafeteros colombianos y han sido reportados atacando a la broca del café, además de especies nativas de los órdenes coleópteros, himenópteros, hemípteros y otros fórmidos (Vera, et al. 2007, Bustillo et al. 2002; Constantino 2013).

Reactivar las interacciones de estas especies y establecerlas al interior del cafetal para regular las poblaciones de broca, se puede lograr por medio de la diversificación, que brinda recursos alternos de néctar a enemigos naturales y a otros insectos asociados y el aumento de la actividad biológica del suelo, que acelera la descomposición de los frutos de café (Perfecto et al. 2010).

Estos procesos influyen sobre la capacidad de sobrevivencia de la broca en el cafetal. Generalmente, el suelo sustenta varios niveles estructurales de plantas, los árboles de café, los de sombra, los frutales, diversidad de especies de arvenses o coberturas vivas, sobre las cuales se acumula biomasa vegetal como resultado de la caída de hojas, flores, frutos y ramas, todo lo cual contribuye a que se enriquezca constantemente en el orden biológico, a la vez que se mantenga cubierto, generando un microclima y biotopo característico que permite el establecimiento de estas especies controladoras (Vázquez et al. 2012).

2.5. MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

Los intensos brotes de plagas en los cultivos a finales de los años 50s, especialmente en el cultivo de algodón, condujeron a pensar en el concepto de control de plagas. En esa década se formularon las ideas principales que dieron origen al actual Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Bartlett, 1956). Estos programas cambiaron el concepto de la erradicación de las plagas por el del manejo de plagas. El MIP presenta un enfoque multidisciplinario que utiliza diferentes técnicas, métodos y actividades coordinadas dentro de un contexto ambiental relacionado con la dinámica de un insecto plaga en particular, por lo que es evidente que recibe ajustes a través del tiempo y la experiencia. El MIP tiene como objetivo reducir las poblaciones de la plaga a niveles inferiores a los que causarían daño económico para lograr maximizar los rendimientos de la cosecha. Para ello, utiliza conceptos teóricos para implementar técnicas culturales, agronómicas, genéticas, químicas, biológicas e incluso legales y políticas (Romero, 2004).

2.5.1. MANEJO INTEGRADO DE LA BROCA DEL CAFÉ

Frente a la expansión de la broca del café a finales de los años 80's, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia intensificó los programas de

inspección: cuarentenas, educación, investigación y capacitación, con el fin de controlar la plaga. Como resultado, se creó el programa de manejo integrado de la broca (MIB) a cargo del Centro de Investigaciones en Café, Cenicafé.

Relacionando la dinámica de la broca y la fisiología de la planta de café, Cenicafé se propuso realizar un manejo integrado para el control de la broca, dentro del contexto ambiental colombiano (teniendo en cuenta sus variaciones de clima y altura) de las diferentes zonas cafeteras del país, para reducir las poblaciones a niveles inferiores a los que causarían daño económico (Benavides & Arévalo, 2002). En este programa se combinan prácticas de control cultural, control biológico y control químico a lo largo de todo el proceso productivo con el fin de disminuir las pérdidas económicas y permitir la producción de café para exportación en forma competitiva (Bustillo, 2006)

Algunas de las prácticas del MIB más relevantes son:

1. Registrar la floración de las plantas en cada lote, con lo cual se determina la edad del fruto y así se calcula el periodo crítico del ataque de la broca, que son los meses en los que hay que defender los frutos del ataque de la broca del café, este está entre el día 90 y 120 después de floración (Arcila, 2011).
2. Evaluar la infestación de broca mensualmente, seleccionando 30 árboles de cada lote y la rama más productiva de cada árbol, en ella se cuenta el número de frutos y de estos, los infestados por la broca.
3. Teniendo en cuenta que durante la cosecha se recolecta del 64 - 74% de la broca presente en el cafetal y hasta el 12% se quedan en los frutos del suelo, se recomienda hacer una recolección total de los frutos maduros, sobremaduros, verdes y secos después de la cosecha y recoger los del suelo (Bustillo, 2006). Al igual que realizar pases de recolección de manera oportuna cada 15 a 18 días. Aunque esta es la práctica con mejores resultados y mejor adoptada por los caficultores, el costo y la escasez de mano de obra en la región cafetera limitan su adopción.
4. Cuando los frutos se encuentran en periodo crítico para el ataque de la broca y la infestación en el lote es igual o mayor al 2% y al realizar un muestreo el 50% de las brocas se encuentran en posición de entrada al

fruto, se recomienda el uso del control biológico con la aplicación de entomopatógenos o control químico con aplicación de moléculas de síntesis químicas. El control biológico se realiza con el hongo *Beauveria bassiana*, este se ha producido y distribuido en toda la zona cafetera de Colombia infestada con la broca del café (Bustillo, et al. 1998). Para su aplicación Cenicafé recomienda utilizarlo sobre variedades de café resistentes a la roya, para no utilizar fungicida y así permitir la acción del hongo. Se recomienda asperjar *B. bassiana* dirigido al árbol y al suelo. Los niveles de control reportados fluctúan entre 20 y 75% dependiendo la forma y tiempos de aplicación (Góngora, et al. 2009; Vera, et al. 2011). Hoy en día, se continúan realizando aspersiones, aunque los reportes de adopción indican que del 16,6% al 19% de los cafeteros siguen esta práctica (Aristizábal, et al, 2002; Aristizábal et al. 2006; Duque & Chávez, 2000).

El MIB recomienda utilizar el control químico solo cuando técnicamente se requiere por los niveles de infestación, en forma localizada, en el tiempo apropiado de ataque de la broca y con la tecnología de aspersión recomendada, utilizando insecticidas como, pirimifos metil, fenitrothion, clorpirifos, fentoato, de categoría toxicológica III y con una actividad biológica que no supera los 15 días y capacitar a los operarios para que esta práctica sea menos peligrosa (Bustillo, et al. 1998; Posada, et al. 2004; Villalba, et al. 1995). La aplicación de insecticidas es la práctica más empleada debido a la simplicidad en su manejo con respecto a otras prácticas, el 80% de los caficultores en Colombia la utilizan (Aristizábal, et al. 2002; Bustillo, 2006). A nivel mundial, la aplicación de plaguicidas también es el método predominante de control. El uso de insecticidas no es eficaz en ausencia del control cultural (Benavides, et al. 2012).

5. Prácticas de control biológico con parasitoides o depredadores no se están utilizando actualmente dentro del MIB, pero se han realizado experimentos de cría masiva en laboratorio y posterior liberación de avispa (*Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston, parasitoides de las larvas de la broca y la avispa parasitoide del adulto *Phymastichus coffea* La Salle). Más de 1.700 millones de

estas avispas fueron liberadas en los cafetales infestados de broca (Bustillo, et al. 1998) presentando alto parasitismo cuando la broca se encuentra penetrando los frutos (Jaramillo, et al. 2002; Jaramillo, et al. 2005). Aunque estas liberaciones se realizaron hace más de 10 años, algunas poblaciones se han establecido en campo y aún se encuentra *Prorops nasuta* Waterston con un porcentaje de parasitismo hasta de un 66% (Vera, et al. 2007).

En general, los estudios sobre la adopción del MIB indican que el 60% de los cafeteros han adoptado parcial o totalmente las prácticas, esta cifra es alta tratándose de que es un concepto de manejo de plagas complejo para ser asimilado fácilmente por los agricultores (Duque & Chávez, 2000).

2.5.2. ESTRATEGIAS DE MANEJO CON PLANTAS ACOMPAÑANTES

Desde hace mucho tiempo, agricultores alrededor del mundo han controlado insectos en sus cosechas con ayuda del establecimiento de plantas de especies diferentes al cultivo (Ratnadass, et al. 2012).

La estrategia del manejo agroecológico de plagas es la manipulación del hábitat implementando tecnologías diseñadas para aumentar la tolerancia, en lugar de buscar resistencia. La tolerancia no se basa en la toxicidad, no se erosiona por resistencia en las poblaciones y no perjudica a los organismos no objetivo (Welsh, et al., 1999). Siguiendo esta teoría, los arreglos dentro de los sistemas agrícolas, como el establecimiento de plantas acompañantes son estrategias útiles para manejar las plagas en un agroecosistema (Gurr, et al. 2004; Nicholls 2009).

Entre las estrategias para la diversificación se encuentran 1. Rotar los cultivos, en particular, cultivos semestrales en donde se incorporan plantas no hospedantes de las mismas plagas del cultivo anterior, impidiendo el ciclo de vida de las plagas del suelo. 2. Interrumpir la continuidad del recurso cuando este se encuentra concentrado, para obstaculizar el paso y la localización del hospedante (Feeny, 1976) 3. Direccionar las plagas hacia afuera del cultivo, con plantas repelentes o disuasivas desde el interior y con plantas atrayentes desde afuera (Cook, et al. 2007; Shelton & Badenes-Pérez, 2006), en algunas ocasiones, estas plantas más atrayentes no son buenos hospedantes para las

progenies y las tasas de desarrollo de los insectos son inferiores que en la del cultivo principal, por lo cual se reducen las poblaciones de las plagas (Khan, et al. 1997, 2003) 4. Introducir plantas acompañantes que ayudan a establecer en el agroecosistema parasitoides y depredadores, en particular generalistas, que ejercen un control biológico en el cultivo principal ya sea porque proveen alimento alternativo (polen y néctar) (Landis, et al. 2000) o albergue con condiciones microclimáticas adecuadas (Perfecto, et al. 1996); además, contribuyen a la regulación de las plagas sin asistencia de insumos externos (Khan, et al. 1997; Ratnadass, et al. 2012). 5. Establecer plantas acompañantes que exudan por sus raíces o durante los procesos de descomposición compuestos alelopáticos o con efecto antibiótico, afectando las plagas del cultivo principal que se encuentran en la rizófora, o atrayentes o estimuladores de micro y macro biota antagonista de las plagas. Estos estimuladores pueden ser sustancias ricas en azúcares y nitrógeno que aumenten la diversidad y el tamaño poblacional de organismos benéficos en el suelo (Altieri, 1999).

2.6. METABOLITOS SECUNDARIOS COMO MECANISMO DE DEFENSA EN LOS FRUTOS DE CAFE

Los procesos coevolutivos entre una planta y una especie específica de insecto, hacen que se adapte a estas defensas de la planta e incluso pueda desarrollarse y reproducirse en su presencia, como sucede con la cafeína, para muchos insectos este compuesto es insecticida, pero para la broca del café no constituye un impedimento para su desarrollo, pudiendo crecer y reproducirse dentro de los granos de café (Guerreiro-Filho & Mazzafera, 2003).

La broca del café se alimenta, se desarrolla y se reproduce exclusivamente en los frutos del género *Coffea*, por lo tanto, estudios anteriores se han centrado en conocer los compuestos emitidos por estos. Diversas investigaciones han identificado estos compuestos emitidos por los frutos de café maduros (Barrera, et al. 2006; Borbón-Martínez, et al. 2000; Cárdenas, 2000; Esquinca, 1986; Dufour & Frérot, 2008; Gutiérrez-Martínez & Ordanza, 1996; González & Dufour, 2000; Giordanengo, et al. 1993; Jaramillo, et al. 2013; Mendoza, 1991; Mendesil, et al. 2009). Entre estos compuestos se encuentran etanol y otros

alcoholes principalmente aquellos emitidos en los procesos de maduración (Dufour, et al. 2013; Mendesil, et al., 2009; Ortiz, et al. 2004). Además de los volátiles emitidos por los frutos, es posible que la broca utilice otras señales procedentes de otras especies de plantas a su alrededor. Njihia, et al. (2014) identificaron la emisión de frontalin y conophthorin en frutos de café como compuestos involucrados en la localización de la broca en plantaciones de café. Estos compuestos no son específicos del género, sino que también son producidos principalmente por coníferas. Poco se conoce sobre el efecto de repelencia hacia el género *Hypothenemus*, se han reportado dos metabolitos secundarios volátiles dentro del género *Coffea* como compuestos repelentes para la broca del café, Cis-3-hexanol y Cis-3-hexenil acetato (Borbón-Martínez, et al. 2000; Dufour, et al. 2013; Jaramillo, et al. 2013; Mafra-Neto, et al. 2016; Mendesil, et al. 2009).

Adicionalmente, se ha evaluado el comportamiento de la broca frente a extractos de plantas diferentes a café. Extractos de *Capsicum frutescens*, *Allium sativum* (Ramírez, 2004) y de plantas tropicales como *Piper* ssp. (Giraldo & Valencia, 2000; Henao, 2008; Santos, et al. 2010), *Moringa oleifera* (Santoro, et al. 2011) y *Tilesia baccata* (Bustamante, 2007) entre otros, han mostrado repelencia en la broca de café. Sin embargo, estos extractos pierden su efectividad bajo condiciones de campo, la eficacia en campo se ve restringida a corto plazo por la inestabilidad de los compuestos activos en presencia de luz y aire principalmente (Schmutterer, 1990) y a largo plazo, al igual que los insecticidas químicos, por la dinámica de las poblaciones. Por razones económicas² y de inestabilidad de los compuestos, la ruta de la investigación científica se dirige, después de conocer el modo de acción del extracto, al aislamiento de los metabolitos secundarios y síntesis de los mismos. Por esta razón, los extractos vegetales no son una estrategia para el control de plagas, son tan solo una sustitución de insumos, que puede ayudar en los estados iniciales de los procesos de conversión de sistemas convencionales a sistemas con manejos agroecológicos (Gurr et al. 2004; Nicholls 2009).

² Elaborar un extracto vegetal a escala comercial es mucho más costoso, por la concentración del componente activo y el cultivo de la materia prima y mantenimiento del material vegetal, que producir su análogo en el laboratorio (Pachlatko-Novartis, 1998).

2.7. OLFATOMETRÍA

La olfatometría es una herramienta que cuantifica la percepción del olor, permitiendo estudiar la ecología y evolución de las interacciones entre plantas e insectos. Es una forma sencilla y rápida de medir en laboratorio los estímulos olfativos de un insecto, en respuesta a compuestos volátiles provenientes de una fuente. La ventaja de esta técnica es que permite hacer una correlación directa entre el olor y la sensibilidad del detector (López-Ávila & Rincón, 2006). Existen dos tipos de olfatómetros, los de aire estático y los de flujo de aire. Los de aire estático se usan para medir respuestas olfativas a cortas distancias o en situaciones donde las señales se difunden en el espacio sin ser transportadas por una corriente de aire. Los de flujo de aire se usan para medir la respuesta de atracción de insectos a señales olfativas dispersas por una corriente de aire, lo que permite hacer evaluaciones a larga y mediana distancia (López-Ávila & Rincón, 2006).

Estos últimos requieren una circulación continua de aire dentro del equipo. Se han diseñado una gran variedad de modelos para permitirlo, pero pueden diferenciarse tres modelos básicos: 1. túnel de viento, 2. de cuatro vías y 3. tubo en Y. El túnel de viento, consiste en una cámara alargada, en uno de sus extremos se ubica la fuente de olor y en el otro los insectos y la corriente de aire pasa de extremo a extremo. Este equipo mide la atracción de artrópodos con gran capacidad de vuelo. Aunque solo permite evaluar un tratamiento a la vez, por lo que no se utiliza para determinar la preferencia de olores. Los olfatómetros de cuatro vías hacen correr el flujo de aire simultáneamente por cuatro brazos ubicados de manera equidistante en una plataforma, los insectos se ubican en el centro y pueden escoger de las cuatro opciones, la más atractiva. En estos se evalúan feromonas, extractos o compuestos químicos. En los de tubo en Y, los insectos tienen la posibilidad de escoger entre una corriente de aire cargado del estímulo, es decir, un tratamiento y aire libre de olor o el olor de referencia, pero también pueden escoger entre dos fuentes de olor distintas y se dirigirán a la que más les atraiga (López-Ávila & Rincón, 2006).

Investigaciones donde se involucran evaluaciones con olfatómetros son cada vez más comunes y un cierto número de trabajos se han realizado para evaluar

la preferencia de la broca del café a compuestos sintéticos y extractos naturales (Borbón-Martínez, et al. 2000; Esquinca, 1986; Giordanengo, et al. 1993; López-Cruz, et al. 2016; Mendesil, et al. 2009; Mendoza, 1991; Njihia, et al. 2014; Pacheco, et al. 2012).

2.7.1. VOLÁTILES Y SU EFECTO EN LA BROCA DEL CAFÉ

La broca del café es atraída por los volátiles que emiten los frutos de café al final de su etapa de maduración (Esquinca, 1986; Giordanengo, et al. 1993, Mendoza, 2000). La complejidad de los compuestos volátiles, así como la masa de los mismos se incrementa a medida que el fruto avanza su desarrollo. En los frutos maduros de *C. arabica* se han identificado 45 compuestos volátiles y 68 en los frutos sobremaduros (Mathieu, et al. 1998; Ortiz, et al. 2004). Los compuestos principales son alcoholes, cetonas, aldehídos, acetatos y en menor proporción terpenos. En los frutos maduros como compuesto predominante se encuentra el etanol (Ortiz, et al. 2004), el cloruro de metileno (Gutiérrez-Martínez & Ondarza, 1996) y los monoterpenos limoneno y linalol (Mathieu, et al. 1998; Mendesil, et al. 2009). Los frutos sobremaduros emiten principalmente alcoholes como 2-pentanol, Isopentanol y 2-heptanol y en mínimas proporciones los monoterpenos β -myrceno y β -ocimeno (Mathieu, et al. 1998; Ortiz, et al. 2004). Estos compuestos han sido propuestos como candidatos promisorios para evaluar en pruebas de atracción de *H. hampei*. Mendesil et al. (2009) y Dufour et al. (2013) realizaron pruebas electrofisiológicas y olfativas en laboratorio para determinar que los compuestos emitidos por los frutos maduros y sobremaduros como el 3-etil-4-metilpentanol, metilciclohexano, etilbenceno, nonano, feniletanol, trans-2-hexenal y benzaldehído inducen una reacción atrayente en la broca del café.

Siguiendo la evidencia que el comportamiento de la broca del café, durante la localización de los frutos, es agregativo (Baker, et al., 1989), varios autores han propuesto evaluar feromonas de agregación (Vega, et al. 2009; Dufour, et al. 2004; Rojas, 2005). Njihia et al. (2014) reportaron dos feromonas con función atrayente para la broca del café: la frontalina (1,5-dimethyl-6,8-dioxabicyclo [3.2.1] octano) y la conoftorina (1,6-dioxaspirol [4.5] decano), ambas posiblemente de origen fúngico o bacteriano (Jaramillo, et al. 2013), pero encontradas en los frutos de café maduros.

Con respecto al efecto de repelencia poco se conoce en el género *Hypothenemus*, en la búsqueda de compuestos dentro del género *Coffea* se han reportado algunos metabolitos secundarios emitidos por los frutos como compuestos repelentes para la broca del café, camfeno, α -pineno, cis-3-hexanol, 1-hexanol (Dufour, *et al.* 2013), verbenona (Mafra-Neto, *et al.* 2016) y cis-3-hexenil acetato (Borbón-Martínez, *et al.* 2000).

2.7.2. Trampas de etanol-metanol

En campo, la única estrategia comercial basada en semioquímicos para *H. hampei* son las trampas que contienen una mezcla de alcoholes. Mendoza 1991 evaluó en trampa de campo el efecto atrayente de etanol, metanol y la mezcla de etanol + metanol en diferentes proporciones, encontrando efecto sinérgico positivo entre los dos alcoholes, la proporción 1:3 presentó mayores capturas. Esta mezcla es ampliamente aceptada como un dispositivo de captura masiva de broca, por la acción atrayente que ejerce la mezcla de alcoholes, simulando los compuestos metabolitos del proceso de maduración de los frutos de café (Barrera, 2006; Dufour, 2008). Sin embargo, las tasas de captura son relativamente bajas en comparación con la población de *H. hampei* en el campo (Njihia, 2015; Vega, *et al.*, 2009). En Colombia, las trampas se utilizan como herramienta de alerta para los caficultores para conocer cuando la broca está volando en busca de nuevos frutos (Bustillo & Jiménez, 2003; Posada, *et al.* 2003) y así determinar el momento oportuno de controlarla cuando este perforando los frutos de café (Bustillo, 2004). Además, a través del registro ordenado de su captura se pueden determinar los patrones de vuelo de la broca en una finca o también en una región si estos se consolidan (Bustillo, 2006).

Se han realizado varios intentos para mejorar la atracción de estas trampas adicionándole a la mezcla de alcoholes sustancias como extracto de pulpa de café, aceite de café, extracto de broca, cafeína pura, café tostado y molido y extractos de frutos maduros, (Barrera, *et al.* 2005; Borbón-Martínez, *et al.* 2000; Cárdenas, 2000; Da Silva, 2002).

Además, se encuentra reportado el sinergismo entre el etanol y otros monoterpenos como atrayentes en otras especies de escolítidos (Byers 1995

en Rojas 2005). Por esto, más de 60 terpenos, entre ellos β -myrceno, α -pineno, (+)-2-careno (Costa, et al. 2002; González & Dufour, 2000) y otros compuestos químicos como benzaldehído, salicilato de metilo, etilo de 2-heptanona han sido adicionados a la mezcla de metanol y etanol (Gomes de Lima, et al. 2004). Sin embargo, ninguna de estas adiciones aumentó el número de capturas de brocas por lo que la mezcla de etanol y metanol sigue siendo el cebo más utilizado sin necesidad de adicionar otro componente (Borbón-Martínez, 2004). Actualmente, los esfuerzos para mejorar esta técnica están dirigidos a determinar las densidades óptimas de trampas por área con el fin de establecer su viabilidad en la reducción de niveles de infestación (Bustillo, 2012).

2.7.3. EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE VOLÁTILES

El análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) ha permitido conocer la composición química y la abundancia relativa de los principales componentes de las plantas (Acosta, et al., 2003). Para lo cual, previamente se realiza la extracción de los compuestos volátiles a través de métodos como la microextracción en fase sólida (SPME). Esta técnica de extracción es relativamente económica, rápida, no utiliza disolventes en la preparación de la muestra y es razonablemente sensible a la recuperación de compuestos volátiles (González-Zúñiga, et al. 2011). En esta técnica, una fibra revestida con uno o más polímeros de extracción remueve por adsorción los analitos de la muestra (e.g. los compuestos volátiles) y luego es insertada directamente dentro del sistema GC-MS para la desorción térmica y el análisis. La combinación de SPME y GC-MS ha sido exitosamente aplicada en la extracción de compuestos orgánicos volátiles y semi-volátiles de diversas muestras (González-Zúñiga, et al., 2011).

2.8. PLANTAS ACOMPAÑANTES EN LOS CAFETALES

En las diferentes zonas cafetaleras del mundo, se han realizado diversos estudios sobre la participación e incorporación de diversidad funcional vegetal en los cafetales, con el objetivo de hacerlos más resilientes a los efectos de cambios climáticos extremos y evitar así la erosión, la sequía del suelo, o la pérdida de nutrientes por escorrentía y mantener un microclima más estable

(Farfán, 2014; Fischersworrying, et al. 2015; Pohlan, et al. 2004; Siles, et al. 2010; Soto-Pinto, et al. 2001; Vázquez, 2005).

En Colombia se han utilizado diferentes leguminosas arbustivas como *Crotalaria* sp. y *Tephrosia* sp., sembradas en los surcos al mismo tiempo que las plántulas de café y hasta antes que se cierren las calles, para evitar la erosión y aumentar la fijación de nitrógeno libre en el suelo (Farfán, 2014). También se han utilizado estas plantas para retener el agua en zonas de sequía, como sucede en Brasil y México donde se evaluó la implementación de podas regulares y la extensión sobre el suelo del material vegetal para retener humedad, proteger las raíces superficiales y disminuir las malezas (Fischersworrying, et al. 2015). Adicionalmente a estos beneficios, las introducciones de materiales vegetales se realizan regularmente para aumentar la rentabilidad del cultivo, diversificando los ingresos de la finca con la introducción de frijol, maíz, plátano, frutales, madera y otros recursos adicionales a la producción de café (Altieri & Nicholls, 2009; Nicholls, et al. 2015; Perfecto & Vandermeer, 2015; Ekong, 2015; Lin, 2007; FNC, 2015).

Otros estudios relacionan las ventajas funcionales del establecimiento de sistemas agroforestales con café o coberturas dentro del cafetal, con respecto a la incidencia de plagas. Staver, et al. (2001) evaluaron sistemas de café con una selección de árboles centroamericanos, ubicándolos en arreglos espaciales y con un manejo de podas que mantienen las condiciones de humedad y sombrero necesarias para reducir las enfermedades y plagas más comunes en la caficultura, entre ellas la broca del café (*H. hampei*) y al mismo tiempo aumentar la microfauna y flora benéfica que los regula. Con respecto a la broca, en Cuba, Vázquez (2005) reportó que la introducción de *Zebrina pendula* para manejo biológico de arvenses, funciona a su vez en la reducción de poblaciones de broca ya que favorece la rápida descomposición de los frutos caídos al suelo.

2.9. ESTRATEGIAS DE ATRACCIÓN Y REPULSIÓN (PUSH PULL)

Para el aprovechamiento de las funciones de repelencia y de atracción que ejercen ciertas plantas sobre los insectos, se ha trabajado en algunos cultivos

una estrategia de atracción y repulsión, en inglés Push-Pull. Tiene como objetivo manipular la distribución y abundancia de las plagas y de los enemigos naturales por medio de un diseño de asociación de cultivos, donde las plantas repelentes (push) ubicadas dentro del cultivo principal ahuyentan las plagas y al mismo tiempo, las plantas trampa (pull) en el borde del cultivo las atraen, adicionalmente, ambas plantas sirven de hospedantes para insectos beneficios, que ayudan en la reducción de las poblaciones de los no deseados.

Como alternativa al uso de insecticidas y basada en los principios agroecológicos, esta estrategia se implementó con éxito en los cultivos de maíz en África que estaban siendo atacados por los lepidópteros barrenadores *Chilo partellus* (Pyralidae) y *Busseola fusca* (Noctuidae) que causaban entre el 20 y 40% de pérdidas totales en el cultivo (Pyke et al., 1987). Para disminuir las densidades de las poblaciones plaga, aumentar los enemigos naturales, mejorar la calidad del suelo y controlar las malezas, se propuso esta estrategia de diversificación. El uso combinado de plantas que repelen, sembradas en el interior del cultivo, entre los surcos del maíz como el pasto gordura *Melinis minutiflora* y la leguminosa *Desmodium uncinatum* y plantas atrayentes sembradas al borde del cultivo como el pasto elefante *Pennisetum purpureum* y el pasto Sudán *Sorghum vulgare sudanense*, lograron reducir el problema de plagas en el cultivo de maíz. Los resultados mostraron un aumento en la producción de 1,8 ton/ha en el lote control con solo maíz y sin manejo de plagas, a 4 ton/ha en los lotes de maíz con sistema de atracción y repulsión. Además de la funcionalidad de la diversidad incorporada, un aporte para lograr este resultado fue el aumento en el parasitismo, de 4,8% larvas parasitadas de *C. partellus* y 0,5% de *B. Fusca*, se pasó a 18,9 % de *C. partellus* y 6,17% de *B. fusca* alrededor del cultivo, donde se encontraba las plantas atrayentes y al interior el parasitismo aumentó de 5,4% a 20,7%, con respecto al control. Adicionalmente, el *Desmodium* redujo la arvense parásita *Striga hermonthica* en un 40% en comparación con el monocultivo de maíz. Asimismo, estas plantas acompañantes son de importancia económica en la producción de forrajes en la zona. Esta propuesta de diversificación se ha expandido por Kenia, Etiopia, Uganda, Malawi y Tanzania con resultados similares cubriendo más de 15.000 ha y beneficiando a más de 30.000 campesinos (Khan, et al. 1997, 2000; 2002, 2011; Cook, et al. 2007; Khan & Pickett, 2008, Amudavi, et

al. 2009). Esta estrategia se ha utilizado en diferentes programas de MIP en cultivos de arroz (Lou et al., 2015), sorgo y millo (Khan et al. 2010) con el fin de maximizar el control de la plaga y minimizar el impacto ambiental

Para la aplicación de esta estrategia se requiere conocer la biología del insecto plaga y la ecología química de la interacción con su hospedante y con sus enemigos naturales. Además, hay que tener en cuenta que la biodiversidad funcional debe ser estudiada en la zona donde se desea implementar para garantizar su buen desarrollo y la emisión de los compuestos deseados.

2.10. COMPLEMENTARIEDAD Y REDUNDANCIA

Cuando se piensa en diversificar un ecosistema, es importante aprovechar el efecto de complementariedad y el de redundancia. La complementariedad ocurre cuando uno de los atributos de un grupo de especies difiere de los de otro. Una mayor diversidad de funciones conduce al uso más eficiente de los recursos (Díaz & Cabido, 2001; Petchey & Gaston, 2002).

La redundancia significa que dos o más especies son equivalentes en términos funcionales, es decir, que cumplen la misma utilidad con respecto a un proceso del ecosistema y si una de estas desaparece, el proceso no se ve afectado ya que las especies restantes pueden compensar la pérdida. Entre más especies funcionalmente similares hayan, mayor será la probabilidad de que al menos una de estas sobreviva y mantenga las propiedades del ecosistema (Naeem & Li, 1997; Loreau, 2004; Petchey & Gaston, 2006).

Con la introducción de plantas funcionales en el agroecosistema, un mejoramiento de la calidad y fertilidad del suelo y el cumplimiento de las prácticas culturales, esta propuesta pretende direccionar procesos naturales e interacciones biológicas que propicien el equilibrio de un cafetal productivo.

2.11. BASES PARA LA CONVERSIÓN A SISTEMAS AGROECOLÓGICOS

La agroecología orienta y suministra las bases científicas necesarias para diseñar, innovar, evaluar y adaptarse a las condiciones cambiantes del medio ambiente y la sociedad, a través de sistemas que aprovechan la biodiversidad funcional de la zona, dentro del entorno cultural, es decir, desde donde lo

simbólico, organizativo y tecnológico influye en la toma de decisiones de los agricultores (Altieri et al. 2012, Espinosa et al., 2011, Gastón et al. 2009).

Para lograr la conversión de sistemas convencionales de producción, los cuales se han transformado en monocultivos dependientes de altos insumos externos, a sistemas agroecológicos, más diversificados y autosuficientes, Gliessman (2002) propone seguir tres niveles. El primero inicia generalmente con las estrategias que propone el manejo integrado de plagas, incrementar la eficiencia de las prácticas convencionales para reducir el consumo y uso de insumos costosos, escasos y ambientalmente nocivos. La meta de este enfoque es usar los insumos de manera más eficiente, de tal modo que se utilicen menos y al mismo tiempo, se reduzcan en el futuro sus impactos negativos. Este método ha sido el énfasis principal de gran parte de la investigación agrícola convencional, mediante la cual se han desarrollado numerosas tecnologías y prácticas agrícolas. Como ejemplo, buscar las densidades óptimas de siembra, el uso de maquinaria renovada, el monitoreo de plagas para una aplicación más apropiada de los plaguicidas, la optimización de las operaciones agrícolas y, oportunidad y precisión en la aplicación de fertilizantes y riego, incursiona en el uso de extractos, arvenses e implementa controladores biológicos. Este tipo de esfuerzos reducen los impactos negativos de la agricultura convencional, aunque aún no se rompe la dependencia de insumos externos ni el monocultivo.

Un segundo nivel en la conversión agroecológica es sustituir las prácticas o los insumos convencionales con prácticas alternativas. En este nivel, la meta de conversión es reemplazar prácticas y productos que degradan el ambiente y hacen un uso intensivo de los recursos, por aquellas que sean más benignas ambientalmente. Por ejemplo, el establecimiento de cultivos de cobertura, el uso de fijadores de nitrógeno para reemplazar fertilizantes sintéticos nitrogenados, agentes del control biológico en reemplazo de plaguicidas y el cambio a la labranza mínima o reducida. En este nivel, la estructura básica del agroecosistema no se altera significativamente, por lo que muchos de los problemas que se dan en los sistemas convencionales también se dan en aquellos que sustituyen insumos.

El tercer nivel es el rediseño del agroecosistema de manera que funcione sobre las bases de un nuevo conjunto de procesos ecológicos. A este nivel, el diseño

total del sistema elimina de raíz las causas de muchos problemas que existen todavía en los niveles 1 y 2. Así, más que encontrar formas más sanas de resolver problemas, se previene su aparición. Los estudios de conversión del sistema en su totalidad, nos permiten entender los factores limitantes del rendimiento en el contexto de las estructuras y funciones del agroecosistema. Se reconocen los problemas y se previenen en el futuro. Un ejemplo es la diversificación del manejo y estructura de la unidad de producción mediante el uso de rotaciones, cultivos múltiples y agroforestería. Si bien desde el inicio, en el primer nivel de la conversión se puede aumentar la biodiversidad en los subsistemas vegetales, aumentar la biomasa y la materia orgánica en el suelo, establecer las relaciones funcionales entre los diferentes componentes del sistema y comenzar un rediseño predial (Altieri, 1994).

En este proceso se hace énfasis en el ensamblaje de los componentes de los agroecosistemas, como los suelos, la vegetación, los animales, la sanidad, la infraestructura, los procesos de transformación, la comunidad, entre otros, para establecer interrelaciones temporales y espaciales que garanticen sinergias dentro de los procesos naturales que se llevan a cabo en su interior y alcanzar los niveles de rendimiento suficientes para llevar al sistema a la sustentabilidad (León y Altieri 2010).

2.11.1. MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS

El objetivo principal del manejo agroecológico de plagas es mejorar la inmunidad del agroecosistema, es decir, re-establecer, si el cultivo se encuentra en su lugar de origen, o establecer, si se encuentra fuera de él, mecanismos de manejo natural de plagas y los procesos reguladores (Altieri, 1999). Para lograrlo, es necesario basarse en el uso de los principios agroecológicos que aprovechan al máximo los beneficios de la biodiversidad en la agricultura.

Los principios agroecológicos son: 1. aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes. 2. asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo. 3. minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de

agua y el manejo de suelo a través del aumento de la cobertura. 4. diversificar, específica y genéticamente, el agroecosistema en el tiempo y el espacio. 5. aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos (Reijntjes et al., 1992).

Para avanzar en este enfoque, se debe comprender que la salud de los cultivos se deriva de un equilibrio entre los cultivos, el suelo, los nutrientes, la luz solar, la humedad, la fauna existente y la vegetación asociada. Por tanto, se deben integrar los componentes de manera que, se mejore la eficiencia biológica, se mantenga la productividad y la capacidad de autosuficiencia del sistema agrícola (Nicholls 2010).

Si la causa de la presencia de plagas, de una enfermedad, o de la degradación del suelo, entre otros, se entiende como un desequilibrio, entonces el objetivo del tratamiento agroecológico es recuperar el equilibrio, poniendo en marcha la tendencia natural del agroecosistema a la reparación en sí. Con esto, prevalecerá el balance ecológico y el cultivo será capaz de tolerar el estrés (Nicholls 2010). Los monocultivos presentan dicho desequilibrio, por lo que son vulnerables a las invasiones de plagas, debido a:

1. *La disminución de la diversidad del paisaje:* La extensión y homogeneidad de los monocultivos fragmentan el paisaje agrícola y aumenta la perturbación del ambiente, afectando el establecimiento, por tanto, la función de los enemigos naturales en el cultivo (Altieri y Letourneau 1982).
2. *La disminución en la diversidad vegetal dentro de los campos:* Al reducir la diversidad, se encuentra mayor abundancia de insectos herbívoros en los cultivos. Además, las plagas especialistas son más abundantes en los monocultivos que en los sistemas diversificados (Altieri y Letourneau 1982, Andow 1991).
3. *Los plaguicidas:* Se presentan brotes de plagas y la resurgencia de plagas después de las aplicaciones de insecticidas, debido al desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos plaga. Más de 7750 casos han sido reportado de al menos 600 especies de artrópodos que han desarrollado resistencia a plaguicidas (Onstad 2017). Si bien, en los últimos años, se ha reducido el número de reportes de insectos

resistentes a insecticidas gracias a un uso más eficiente, el consumo de insecticidas en el mundo continúa creciendo exponencialmente, sin obtener el mismo crecimiento en producción (Blair, et al. 2015). Otra forma en que los plaguicidas favorecen los brotes de plagas es a través de la eliminación de los enemigos naturales de las plagas, los depredadores y parasitoides a menudo presentan mayor mortalidad que los herbívoros después de una aplicación de productos químicos (Morse *et al.* 1987).

4. *Los fertilizantes:* Los cultivos tratados con fertilizantes químicos, tienden a desarrollar una mayor infestación de insectos (especialmente insectos del orden Homóptera) que los cultivos tratados con fertilizantes orgánicos. En la fertilización orgánica, la adsorción de compuestos por parte de la planta (raíces, tallo, hojas y frutos) se hace de manera lenta, lo cual reduce la acumulación excesiva de nitrógeno, fósforo y potasio libre y su disponibilidad en el suelo. El exceso de estos compuestos, como ocurre cuando se fertiliza químicamente, se da por que la planta no es capaz de procesar rápidamente los compuestos que se le suministra y estos quedan almacenados en los tejidos vegetales, en forma de azúcares, aminoácidos libres y proteínas, haciendo que la planta sea más succulenta para plagas y patógenos, como se reporta para la broca del café (Dwomoh et al. 2008) y las cochinillas de la raíz, que se encuentra asociada a altos contenidos de nitrógeno en el suelo (Herzog y Funderburk, 1986; Honek y Martinkova 2005.).

Estos aspectos de vulnerabilidad son transversales, a medida que se reduce o elimina el uso de insumos químicos (plaguicidas, funguicidas, herbicidas, fertilizantes) incrementa el contenido de materia orgánica, mejora la estructura del suelo, aumenta la diversidad y actividad de la biota benéfica del suelo. Además, se presentan cambios en la actividad y relaciones entre arvenses, insectos y poblaciones de hongos y bacterias (Glissman, et al. 2007). Hay que tener en cuenta que realizar una transformación en el manejo de la finca requiere una inversión inicial en términos de producción, para establecer un sistema agroecológico en la etapa de re diseño la producción baja en los primeros 3-5 años, luego se estabiliza y comienza a evidenciar los beneficios (Altieri y Nicholls, 2017). En los datos comparativos de una finca de café en

transición a orgánica con una producción tecnificada convencional, teniendo en cuenta la duración de dos ciclos de 12 años en la producción ecológica y dos ciclos de 7 años en la producción tecnificada, la producción es levemente superior en las orgánicas (Ospina et al., 2003) para fincas del departamento de Caldas, y 20% más producción en sistemas orgánicos que en convencionales en las comparaciones realizadas en el departamento de Santander (Villareal et al. 2002), lo que muestra que los sistemas agroecológicos producen café, y se evidencia cuando se evalúa a mediano y largo plazo.

2.11.2. INMUNIDAD A TRAVÉS DEL SUELO Y LA DIVERSIFICACIÓN

Para lograr el equilibrio en el que las plantas toleren el ataque de insectos plagas y de enfermedades hay que proteger las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las prácticas agrícolas que causan desbalances nutricionales y no ayudan a mantener la riqueza del suelo bajan la resistencia de las plantas a las plagas, por esto hay que integrar el manejo (Magdoff y Van Es 2000).

2.11.3. REDISEÑO DEL SISTEMA PREDIAL AGROECOLÓGICO

En el enfoque del manejo de plagas se debe incluir una estrategia de diseño que imite las etapas posteriores de una sucesión ecológica (es decir, de comunidades maduras y complejas, tanto como sea posible). Particularmente en los trópicos, donde la promoción de monocultivos en áreas donde existe una alta complejidad biótica y donde las plagas prosperan durante todo el año, el enfoque más razonable es imitar los ciclos naturales, en vez de luchar para imponer la simplicidad en los ecosistemas que son inherentemente complejos (Nicholls 2010).

Con un rediseño predial se transforma la estructura y la función del agroecosistema, promoviendo los diseños diversificados que optimizan los procesos al interior. Para definir la composición vegetal se debe tener en cuenta el tipo de paisaje, el ecosistema en el que se encuentra inmerso el sistema, las especies y poblaciones presentes y accequibles, para contar con la disponibilidad de los recursos de la zona.

Con la incorporación de diversidad funcional, aquella que interfiere con la dispersión de la plaga, colonización o reproducción en el cultivo objetivo, aumenta a su vez, la diversidad asociada, aquella que no se conoce su función en el sistema o no se evidencia directamente. Además, dicha incorporación promueve la polinización, mejora el reciclaje de nutrientes y de energía, tiende a tener mayor productividad total y mejora la regulación de plagas, enfermedades y malezas (Nicholls 2010).

Para cualquier especie plaga, la intensidad total de los estímulos atrayentes determina la concentración del recurso, la cual varía con los factores que interactúan, como la densidad y la estructura espacial de la planta hospedante y los efectos de interferencia causados por las plantas no hospedantes. En consecuencia, cuanto más baja sea la concentración del recurso (plantas hospedantes), más difícil será para el insecto localizar una planta hospedante (Nicholls 2010), por esto la agroecología se refiere al sistema productivo a nivel de finca, más que un sistema de monocultivo (Altieri y Nicholls, 2017)

3. CUERPO DEL TRABAJO

3.1. IDENTIFICATION OF ATTRACTANT AND REPELLENT PLANTS TO COFFEE BERRY BORER, *HYPOTHENEMUS HAMPEI*

Utilizar Hipervinculo en la imagen de primera página para acceder al artículo completo.

Entomologia
Experimentalis et Applicata



DOI: 10.1111/eea.12604

Identification of attractant and repellent plants to coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*

Ana María Castro^{1,2} , Johanna Tapias², Aristóteles Ortiz², Pablo Benavides² & Carmenza E. Góngora^{2*}

¹Cenicafé-Universidad de Antioquia – Agroecology, Calle 67 No. 53108, Medellín, Antioquia, 050010, Colombia, and

²Cenicafé, National Center of Coffee research – Entomology, Km 4 vía Chinchiná, Manizales, Caldas, 170002, Colombia

Accepted: 5 April 2017

Key words: ecological agriculture, plant functional diversity, companion plants, volatile organic compounds, Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae, Rubiaceae, *Coffea arabica*

Abstract

Colombia is one of the world's largest producers of coffee [*Coffea arabica* L. (Rubiaceae)]. The coffee berry borer (CBB), *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), is the main pest of coffee. This insect is controlled through an integrated pest management program that includes cultural, biological, and chemical control strategies. Despite research seeking CBB attractants and repellents, these potential management tools have not been successfully incorporated into control programs. This work proposes the use of plant functional diversity for CBB management, for which a number of plants related to coffee and weeds were selected. CBB preference to these plants was determined by olfactometry and volatile compounds emitted by them were identified. Field trials were performed to test CBB preference under field conditions. These trials determined the olfactory preference of CBB to coffee berries accompanied by material of the plants *Crotalaria micans* Link (Fabaceae), *Lantana camara* L. (Verbenaceae), *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae), *Artemisia vulgaris* L., *Calendula officinalis* L., *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni, and *Emilia sonchifolia* (L.) DC. (all four Asteraceae). Under laboratory conditions *N. tabacum*, *L. camara*, and *C. officinalis* were identified as repellents for CBB in olfactometer assays, whereas *E. sonchifolia* functioned as attractant. Controlled field trials corroborated CBB repellency of *N. tabacum* and *L. camara*; both release volatile sesquiterpenes. Selected candidate attractants included *E. sonchifolia* plants, for showing attraction in the laboratory. The potential use of these plants in agroecological management of coffee plantations is discussed.

Introduction

Colombia is one of the largest coffee [*Coffea arabica* L. (Rubiaceae)] producing countries in the world (Colombian Coffee Growers Federation, 2015). However, its participation in the growing market of organic coffees is low. Of the 725 627 ha of organic coffee produced in the world, Colombia participates with only 10 495 ha, some of which are in transition from conventional to organic production (Willer & Lernoud, 2015). One of the main reasons for this limited participation is the difficulty of pest management.

Coffee berry borer (CBB), *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), is currently

the main pest of coffee crops worldwide, including Colombia; although CBB infestations vary with elevation and temperature, the percentage of coffee berries infested ranges from 0.5 to 7.6% (Benavides et al., 2012; Benavides et al., 2015). Controlling this insect is difficult not only because it spends almost its entire life cycle within the coffee berries but also because its population density is strongly influenced by weather conditions on coffee plantations (Constantino, 2010). The program to control CBB populations includes cultural, biological, and chemical practices to reduce economic losses (Benavides & Arévalo, 2002; Bustillo, 2008). The demand for high yields and territorial expansion of coffee crops in unshaded monoculture demands strict pest management practices increasing production costs and intense labor force. Not all coffee growers can afford the cost of these measures, presenting recurrent pest outbreaks and reducing the economic, environmental, and social sustainability of their farms

*Correspondence: Carmenza E. Góngora, Cenicafé, National Center of Coffee research – Entomology, Km 4 vía Chinchiná, Manizales, Caldas, Colombia. E-mail: carmenza.gongora@cafedecolombia.com

3.2. FUNCIÓN REPELENTE Y ATRAYENTE PARA LA BROCA DEL CAFÉ DE POSIBLES PLANTAS ACOMPAÑANTES EN LOS CAFETALES Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE SUS COMPUESTOS VOLÁTILES

3.2.1. MÉTODO

3.2.1.1. Criterio de selección de plantas acompañantes

Cuando se busca seleccionar plantas para diversificar un agroecosistema con una función específica hacia una plaga en particular, se debe tener en cuenta el desarrollo fisiológico de las plantas y su relación con el cultivo principal, el ciclo de vida del insecto, la relación de la planta con otros insectos y las características ambientales de la zona donde se desea introducir la biodiversidad dentro del agroecosistema.

Para encontrar plantas con función repelente y atrayente para la broca del café, en este trabajo se realizó la búsqueda de plantas arvenses que se encontraban en los paisajes cafeteros de la zona de estudio y se fijaron cinco criterios de selección: (1) que presentaran altas emisiones de compuestos volátiles orgánicos, (2) que no compitieran con las plantas de café, (3) que fueran de importancia nectarífera, (4) que no fueran hospedantes de plagas o patógenos de café y (5) que representaran valor económico para el caficultor que decidiera usarlas.

Plantas con altas emisiones de compuestos volátiles orgánicos

Hypothenemus hampei se orienta y es atraída a los cafetales principalmente por los compuestos volátiles emitidos por los frutos de café (Bustillo, et al. 1998), por tanto, deben tenerse en cuenta las plantas con emisiones de volátiles, que puedan ser detectados por la broca. Esta es la primera característica que debe cumplir la planta. Las arvenses de la región que cumplen esta característica se encuentran registradas como plantas alelopáticas, tóxicas o medicinales, de esta forma también las conoce el caficultor y se describen en los libros de consulta (Gómez & Rivera, 1995; Salazar & Hincapié, 2007).

Plantas que no compitan con el café

Las arvenses, por lo general, suelen presentar un alto vigor, por tratarse en su mayoría de especies endémicas muy adaptadas al medio donde se encuentran. Por esto, es importante tener en cuenta, que las plantas acompañantes que potencialmente se establecerían en el cafetal no compitan o interfieran con el desarrollo y rendimiento de las plantas de café. Además de lo mencionado en el libro "Descripción de arvenses en plantaciones de café", en los estudios de Gómez y Rivera (1995) y Salazar y Hincapié (2007) se reporta el grado de interferencia de las arvenses más comunes en las zonas cafeteras de Colombia.

Plantas de importancia nectarífera

Asegurar requisitos ecológicos, como los recursos energéticos suministrados por las flores de ciertas arvenses, permite el establecimiento de una gran cantidad de especies de insectos benéficos para el equilibrio de los cultivos (Altieri & Nicholls, 2004). Las plantas de importancia nectárea pueden aumentar el número de los parasitoides de la broca del café presentes en el cultivo, como se reporta para el caso de *Euphorbia hirta*, como fuente de néctar para *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, parasitoides de la broca del café (Salazar & Baker, 2002; Wäckers, 2004).

Plantas que no sean hospedantes de plagas de café

Si bien la broca del café se alimenta y se reproduce solo en los frutos de café, se debe tener en cuenta que ciertas arvenses en el cultivo pueden ser hospedantes de otras plagas diferentes a la broca y de patógenos del café. Algunas arvenses de la zona, como por ejemplo *Borreria laevis* son hospedantes de nematodos del género *Meloidogyne*, que en ciertas condiciones puede ser plaga del café (Baeza-Aragón, et al. 1978).

Plantas con valor económico

Cuando las plantas hacen parte de un diseño agroecológico, deben poder representar un beneficio económico ya sea por el uso alimenticio, forrajero, medicinal, ornamental o ecológico. La implementación y manejo de las plantas debe ser una inversión en infraestructura ecológica, que al realizar un balance se ahorre en insumos y se obtenga un mejor precio por calidad del producto.

Esto con el objetivo de integrar los componentes de manera tal que aumente la eficiencia biológica general del agroecosistema (Altieri et al, 2017).

3.2.1.2. Prueba de olfatometría

La prueba se realizó en el laboratorio de la Disciplina de Entomología en Cenicafé (Manizales, Caldas), manteniendo la humedad relativa a 75% y temperatura a 25°C, con ayuda de un humidificador y un aire acondicionado, respectivamente. Se diseñó un olfatómetro para evaluar la preferencia olfativa de la broca del café a las plantas seleccionadas (Figura 2). Se construyó un tubo de vidrio en forma de Y de ¼ de pulgada, al cual se le conectó una manguera de teflón y se le ajustó a un sistema de liberación de aire (Analytical Research System INC, Gainesville FL, USA) movido por una bomba de vacío y conectada a 6 filtros de carbón para la purificación del aire. Por los dos extremos superiores del tubo en Y entra aire limpio y por el otro se recoge formando un sistema cerrado. La velocidad del aire se controló por medio de reguladores de presión con flujo constante a 100 mL/s según las recomendaciones de Sengonca y Kranz (2001) sobre flujos de aire máximos, mínimos e ideales para insectos pequeños. Al final de las dos entradas, el aire pasó a través de dos compartimentos elaborados con bolsas de Nalophan inodoras de 40L. Para evaluar la atracción y repelencia de la broca del café se colectaron 25 frutos de café maduros (de 200-220 días después de floración) y se ubicaron en cada compartimento del olfatómetro. Adicionalmente, en uno de los compartimentos se colocaron (en igual proporción que los frutos) hojas y flores de las plantas acompañantes recién colectadas. Los tratamientos de las plantas acompañantes fueron hojas y flores de *C. micans*, *L. camara*, *A. vulgaris*, *C. officinalis*, *E. sonchifolia* y hojas de *N. tabacum* y *S. rebaudiana*. El control absoluto consistió en colocar en ambos compartimentos solamente 25 frutos de café maduros. El control atrayente consistió en colocar en ambos compartimentos 25 frutos de café maduros y en uno de ellos se adicionó un papel filtro de 25 mm diámetro Whatman N 1 (Whatman International Ltd., Maidstone, UK) con 10ul de la mezcla de metanol y etanol en proporción 3:1 (Barrera, et al., 2006). El control repelente consistió en colocar en ambos compartimentos 25 frutos de café maduros y en uno de ellos se adicionó un papel filtro de 25 mm de diámetro Whatman N 1 con 10ul de extracto comercial de *Artemisia* sp. al 3% (Benavides & Góngora, 2015). Cada evaluación se

realizó con 200 insectos para cada tratamiento, con cuatro réplicas de 50 insectos por día, utilizando un solo insecto a la vez, para un total de 200 datos por tratamiento. Se utilizaron brocas hembras adultas recién emergidas de los granos de café y las evaluaciones se realizaron entre la 1:00 y 4:00 pm, hora de mayor actividad de los insectos. Para determinar la preferencia de la broca del café a un tratamiento dado se registró la escogencia de cada insecto en los primeros tres minutos después de dejarlo en el extremo inferior del tubo en Y. La variable de respuesta fue la proporción de insectos que caminaron hasta llegar a cada extremo del tubo en Y. Para determinar si la proporción de insectos que llegaron a cada extremo era mayor o menor al 50% se utilizó una ANOVA seguida de una prueba Z, con un nivel de confiabilidad del 95%. Se consideró como evidencia que las plantas eran atrayentes cuando la proporción de brocas que llegaban a ese tratamiento fueron significativamente superiores al 50% y plantas con proporciones inferiores al 50% se consideraron repelentes para la broca del café.

Las muestras fueron alternadas del extremo derecho al izquierdo del tubo en Y cada 10 mediciones, para evitar sesgos en la preferencia (Noldus, 1988). El dato de preferencia correspondió a la visita de la broca a un lado del brazo del tubo en Y.

3.2.1.3. Evaluación del perfil químico

Para la identificación de los compuestos volátiles emitidos por las plantas acompañantes se realizó una microextracción en fase sólida (SPME). Para su extracción se obtuvieron hojas y flores de las plantas acompañantes en su estado adulto³ sembradas en campo: *L. camara*, *C. micans*, *E. sonchifolia* y hojas de *N. tabacum*. Para cada caso, el material vegetal se encerró en un recipiente de vidrio de 500 ml, se equilibraron por 45 min a temperatura ambiente y los compuestos se atraparon con la fibra de extracción carboxen-polidimetilxiloxano (Supelco, USA) durante 40 min a temperatura ambiente (Figura 3). La detección de los compuestos se realizó por medio de una cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (GC-MS) con

3 Del lat. *adultus*, m. Biol. Bot. En botánica, término usual con el que se expresa la fase o estado de la planta capaz de multiplicarse o que ha llegado a un grado de madurez suficiente para dar flor u órgano reproductor. Al estado adulto corresponde la forma de sus órganos, que se manifiesta principalmente en la morfología foliar.

una columna de 50 m x 320 μm x 1 μm , DBWAX. Para la identificación de los compuestos volátiles se utilizó las librerías NIST 98 y Wiley 275.

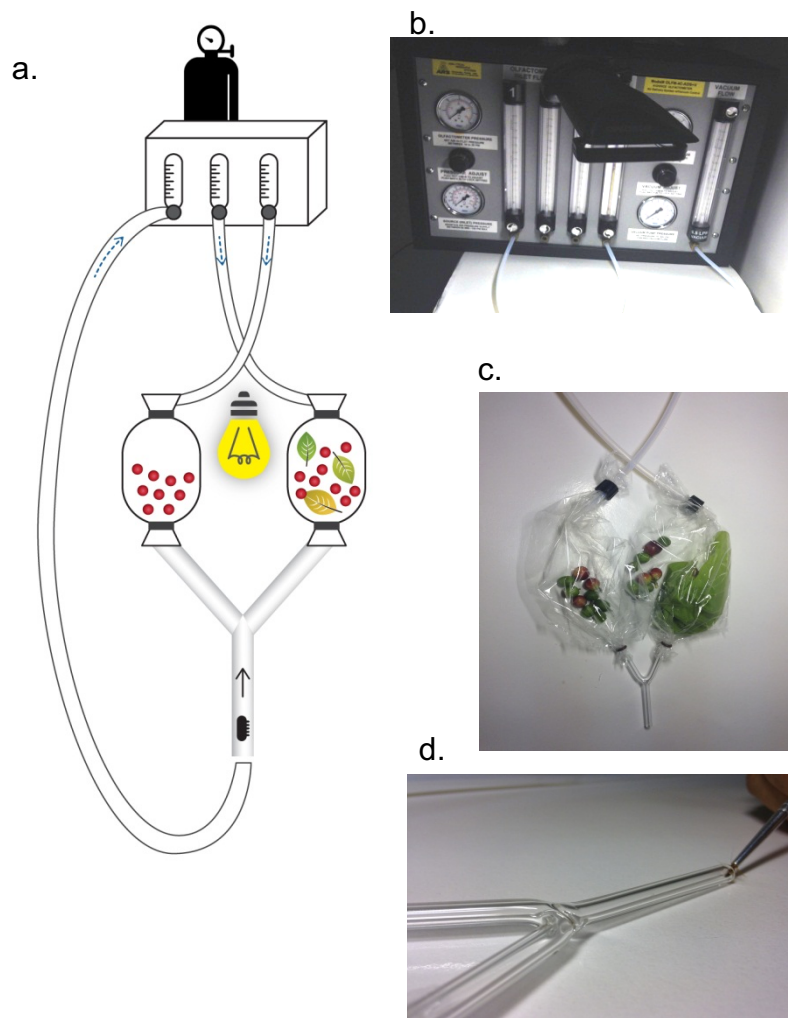


Figura 1. Diseño del olfatómetro de tubo en Y para evaluar la preferencia de broca del café a frutos de café en presencia de plantas seleccionadas. A. Diagrama del sistema. B. Regulador y filtros de aire. C. Compartimentos a seleccionar. D. Ubicación inicial de la broca en el tubo en Y.

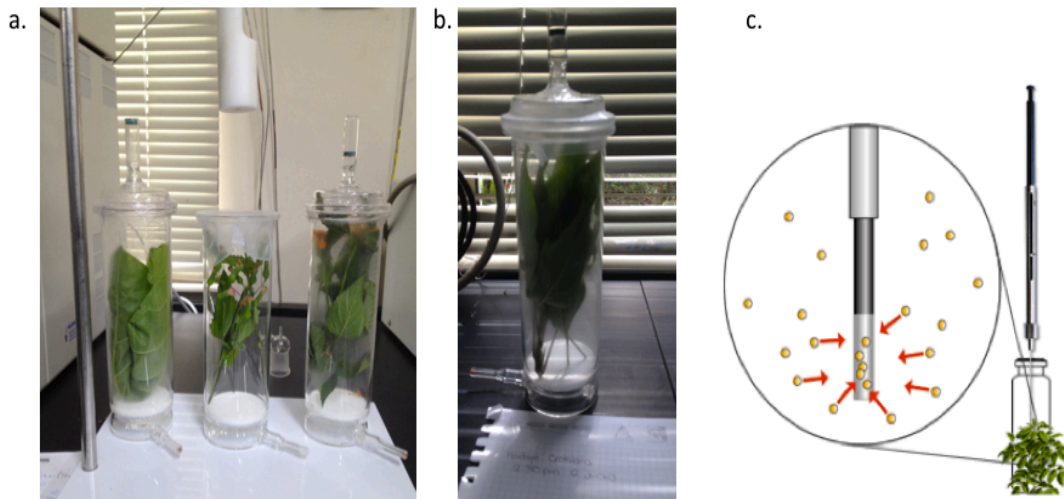


Figura 2. Recolección de volátiles emitidos por las plantas seleccionadas. a) Material vegetal de *N. tabacum*, *E. sonchifolia* y *L. camara*, b) *C. micans*. c) Fibra de microextracción.

3.2.2. RESULTADOS

3.2.2.1. Plantas seleccionadas

Partiendo de la base que la broca solo se alimenta, se desarrolla y se reproduce en los frutos de café, la función de las plantas seleccionadas fue la atracción de los frutos de café a la broca o alejar la broca de los frutos de café. Los cinco criterios de selección de las plantas utilizadas se explican en la introducción. Como parte de esta selección, se revisaron las plantas encontradas y reportadas como arvenses en la zona central cafetera colombiana, algunas de ellas cuentan con estudios de interferencia en el cultivo de café (Gómez & Rivera 1995; Salazar & Hincapié 2007). Además, se tomaron en cuenta los estudios recopilados en Waller et al. 2007, de plantas refugio temporal de la broca del café, dos especies cumplen con los criterios y se cultivan con éxito en la zona tropical y subtropical de América. Adicionalmente, se escogió un grupo de plantas que históricamente se han utilizado, aunque por lo general en extracto, para repeler o atraer a un amplio rango de insectos y presentan un potencial productivo en la zona. Con esta información se conformó el grupo de siete plantas a evaluar que se explican a continuación y se resumen en la Tabla 1 y Figura 1.

Crotalaria micans: De la familia Fabaceae, esta planta se encuentra bien distribuida en Colombia. Se reporta como arvense asociada al cultivo de café.

Es de importancia apícola, puede atraer avispas parasitoides y depredadores de la broca del café y de otras plagas como el minador de la hoja del café, se reporta que estas plantas cultivadas en cafetales orgánicos en Brasil son hospedantes de *Orius* spp., *Geocoris* sp., *Phymata* spp., reduvideos y nabídeos (chinchas depredadores), arañas, mariquitas, crisopas, parasitoides (huevos, larvas, ninfas y adultos de diversos órdenes), *Franklinothrips* sp. y *Stomatothrips* spp. (depredadores de trips) y sirfidios, correspondiendo al 10% de los artrópodos presentes en todo el cafetal (Silveira, 2007). Además, por ser *Crotalaria* una especie leguminosa se obtiene abono verde y es eficaz para el control de nematodos (Devi, et al. 2013; Gómez y Rivera, 1995).

Artemisia vulgaris: cuyo nombre común en Colombia es altamisa negra o ajeno. Esta planta herbácea de la familia de las asteráceas proveniente de Europa y Asia, se encuentra comúnmente como arvense en los cafetales colombianos (Gómez & Rivera, 1995). Mide de 1 a 2 metros de altura, cuenta con flores abundantes y pequeñas (5mm de longitud). Es un género distribuido ampliamente y su extracto ha sido reportado con función repelente para insectos en diversos cultivos a lo largo del mundo. Su repelencia está relacionada con su contenido de volátiles, de esta especie se han aislado poliacetilenos, monoterpenos, flavonoides y sesquiterpenos lactonas (Wang, et al. 2006), también se reportan importantes propiedades medicinales (Debboun, et al., 2007). En Colombia se utiliza como antimalárico, para curar el paludismo y mezclada con otras plantas para el dolor de cabeza (Blair & Madrigal, 2005).

Lantana camara: Verbenacea de origen tropical, nativa de Centroamérica y norte de Suramérica, se encuentra distribuida ampliamente alrededor del mundo y está reportada como arvense en las diferentes regiones cafeteras de Colombia (Gómez & Rivera, 1995; Salazar & Hincapié, 2007). Es un arbusto perenne muy ramificado y oloroso, de crecimiento rápido, las variedades de porte alto, como la utilizada en este trabajo, pueden llegar a medir de 1.50 a 3.00 m. En la zona tropical florece todo el tiempo. El extracto de sus hojas tiene actividad insecticida en larvas de mosquitos como *Musca domestica* (Raj, et al., 2014), *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* (Kumar & Maneemegalai, 2008). Además, tiene efecto alelopático en el crecimiento de semillas de diferentes especies vegetales (Shrivastava & Jha, 2016).

Calendula officinalis (Asteraceae) es una planta de anual a perenne, estudiada a nivel químico por sus propiedades medicinales y aromáticas tanto a nivel mundial, como local (Franco, 2013), además es usada como planta reservorio de insectos entomófagos como sírfidos, míridos, óridos y parasitoides de minadores (Vázquez, et al., 2008) Además, sirve de alimento a diversas larvas de lepidópteros (Vázquez, 2011). Su tallo llega a medir hasta 55 cm de alto, con inflorescencias de amarillas a anaranjadas presentes todo el año.

Nicotiana tabacum: Conocida comúnmente como tabaco, esta planta es originaria de la zona Andina, entre Perú y Ecuador. Puede ser anual, bienal o perenne. La variedad utilizada en este trabajo es tabaco Burley. Puede llegar a medir hasta 3 m de altura. Sus hojas despiden un olor ligeramente narcótico debido a los altos contenidos de nicotina, por lo cual tiene una gran actividad farmacológica. Aunque esta Solanacea no está relacionada con el café, se encuentra reportada con actividad repelente para un gran número de géneros de insectos y es utilizada como planta modelo en estudios de repelencia (Isman, 2006).

Stevia rebaudiana: De la familia Asteraceae, nativa de la zona tropical de Suramérica, es un arbusto perenne que alcanza hasta 90 cm de alto, cuenta con flores pequeñas de color blanco, que son polinizadas por abejas. Presenta propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antiinflamatorias (Ghosh, et al., 2008) y juega un papel importante en la industria alimenticia como endulzante natural (Lemus-Mundaca, et al. 2012; Muanda, et al., 2011). Esta planta ha sido incorporada en la región cafetera del Departamento de Antioquia bajo programas de la Corporación para la diversificación de recursos de café (Jarma et al., 2005).

Emilia sonchifolia: De la familia Asteraceae, es una especie anual de 60 a 100 cm de altura, nativa de Asia y ampliamente distribuida en América, se halla desde el sur de los Estados Unidos hasta Brasil. En Colombia su nombre común es clavel chino y se encuentra como arvense noble en las áreas cultivadas de café, plátano y banano (Gómez & Rivera, 1995). Es considerada una planta con gran potencial medicinal utilizada en la medicina tradicional en China y en México (Kawaree & Chowwanapoonpoh, 2009; Mukoe & Ohiri, 2000). Puede competir en el estado de levante del café (Salazar & Hincapié,

2007), pero es una planta nectarífera, fuente de alimento para abejas y parasitoides (Cadena & Baker, 2001).



Figura 3. Fotografías de las plantas seleccionadas: a) *Crotalaria micans*; b) *Lantana camara*; c) *Calendula officinalis*; d) *Stevia rebaudiana* e) *Artemisia vulgaris*; f) *Emilia sonchifolia*; g) *Nicotiana tabacum*

Tabla 1. Listado de plantas seleccionadas, incluyendo nombre científico, el nombre común como se le conoce en la región cafetera de Colombia y las características consideradas para su selección.

Nombre científico	Nombre común	Altura (m)	Características	Referencias
<i>Crotalaria micans</i> (Fabaceae)	Cascabel	0,6 a 3,0	Arvense nativa de Suramérica. Distribuida ampliamente en Colombia y asociada al cultivo de café. Fijadora de nitrógeno. Atrayente de abejas depredadoras y parásitas de la broca y el minador del café.	Devi <i>et al.</i> , 2013. Freire-Ricci <i>et al.</i> , 2005. Gómez & Rivera, 1995. Silveira <i>et al.</i> , 2007. Waller <i>et al.</i> , 2007. Wu <i>et al.</i> , 2005.
<i>Lantana camara</i> (Verbenaceae)	Mermelada	1,0 a 3,0	Distribuida alrededor del mundo, es arvense de la región cafetera de Colombia. Su extracto tiene actividad insecticida en varios insectos. Es de importancia nectárea y ornamental.	Ghisalberti <i>et al.</i> , 2000. Gómez & Rivera, 1995. Kumar & Maneemegalai 2008. Raj <i>et al.</i> , 2014. Salazar & Hincapié, 2007. Shrivastava & Jha 2016.
<i>Artemisia vulgaris</i> (Asteraceae)	Ajenjo	0,2 a 1,0	Arvense que se encuentra a lo largo del borde de los cafetales. Su extracto cuenta con actividad repelente y propiedades medicinales.	Blair & Madrigal 2005. Debboun <i>et al.</i> , 2007. Gómez & Rivera, 1995. Wang <i>et al.</i> 2006.
<i>Nicotiana tabacum</i> (Solanaceae)	Tabaco	0,5 a 3,0	Aunque no está relacionada con café, esta planta es insecticida y repelente de diferentes familias de insectos.	Delphia <i>et al.</i> , 2006. Isman, 2006. Vázquez, 2011.
<i>Calendula officinalis</i> (Asteraceae)	Caléndula	0,3 a 0,5	Arvense utilizada como reservorio de insectos entomófagos. De importancia nectárea y medicinal.	Franco, 2013. Vázquez <i>et al.</i> , 2008.
<i>Stevia rebaudiana</i> (Asteraceae)	Estevia	0,3 a 0,5	Con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Importante en la industria alimentaria. Ha sido incorporada en la región cafetera por los programas de la Corporación para la diversificación de recursos de café.	Jarma <i>et al.</i> , 2005. Ghosh <i>et al.</i> , 2008. Lemus-Mundaca <i>et al.</i> , 2012. Muanda <i>et al.</i> , 2011.
<i>Emilia sonchifolia</i> (Asteraceae)	Clavel chino	0,2 a 1,0	Arvense distribuida en las áreas cultivadas en café, plátano y banano. Hospedante de enemigos naturales de la broca del café.	Gómez & Rivera, 1995. Kawaree & Chowwanapoonpoh 2009. Muko & Ohiri 2000. Salazar & Rivera, 2002. Salazar & Hincapié, 2007.

3.2.2.2. Prueba Olfatometría

Los resultados de la prueba de olfatometría se muestran en la Figura 4. Cuando se utilizaron ambos compartimentos con frutos de café maduros como control absoluto, la preferencia de la broca en cada uno de los compartimentos fue del 50%, esto evidencia que no existe sesgo de orientación. Se confirmó la atracción de la mezcla de alcoholes, el 74% de las brocas evaluadas escogieron el control atrayente. El extracto de *Artemisa* sp. como control repelente ahuyentó el 80% de las brocas evaluadas.

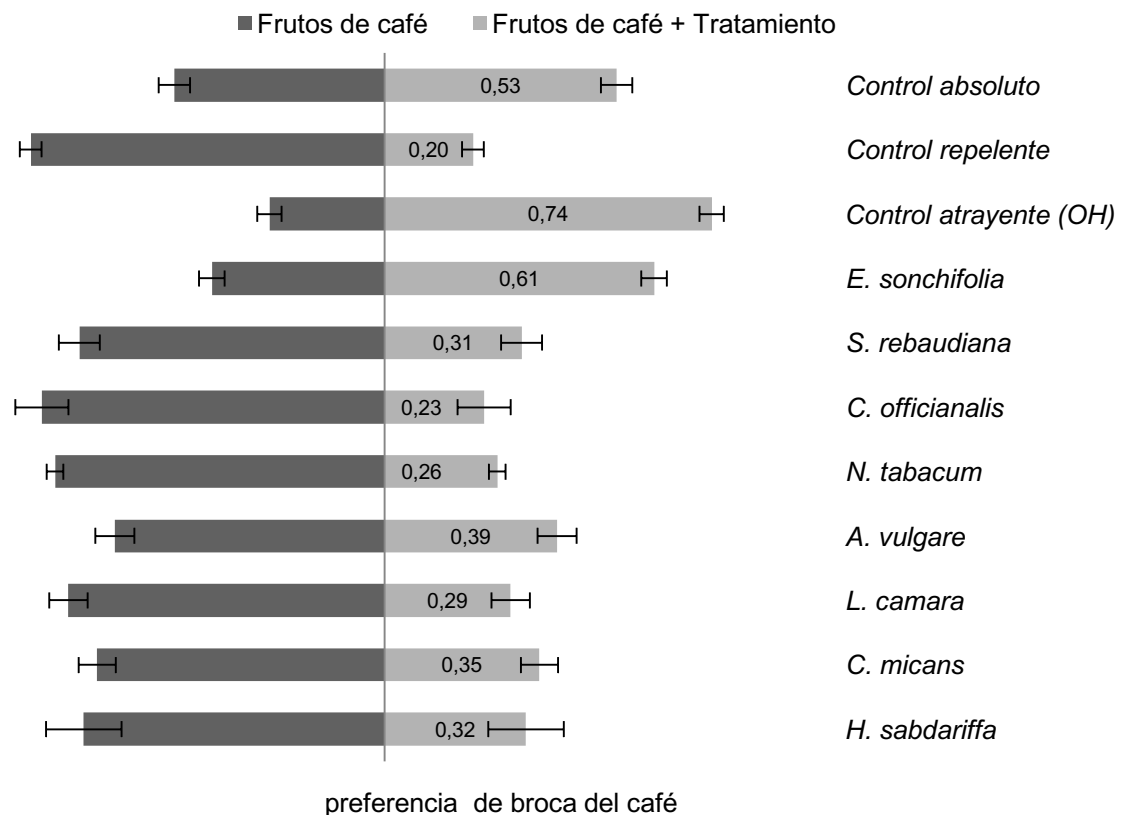


Figura 4. Preferencia de *H. hampei* a compartimentos con frutos de café y frutos de café con las plantas acompañantes en prueba de olfatometría. Intervalos de confianza de 95%.

E. sonchifolia atrajo brocas del café, con una preferencia del 61% de los insectos evaluados, difiriendo estadísticamente del control absoluto. *N. tabacum*, *L. camara*, *C. micans*, *C. officinalis*, *A. vulgare*, *H. sabdariffa* y *S. rebaudiana* mostraron ser repelentes de la broca, los frutos de café acompañados por estas plantas fueron escogidos por las brocas entre un 20 y

30% de las veces. No se encontraron diferencias significativas entre los siete tratamientos de plantas repelentes, pero todos los tratamientos se diferenciaron estadísticamente del control absoluto.

3.2.2.3. Evaluación del perfil químico

La identificación de los compuestos volátiles para cada una de las plantas acompañantes se realizó por medio de la comparación de los espectros de masas con las librerías NIST y WILEY. Para todos los compuestos la similitud con respecto a las librerías fue de >90%. La identificación de los compuestos de *N. tabacum*, *L. camara*, *C. micans* y *E. sonchifolia*, se resume en la Tabla 2, los cromatogramas se encuentran en los Anexos 1, 2, 3 y 4.

Los compuestos identificados en *N. tabacum* fueron: furan, 2-methyl (20,16%), seguido de 3-propanone (3,50%) y cis-3-hexenol (1,72%).

Los compuestos de *L. camara* fueron: mono- y sesquiterpenos, incluye (E,E)- α -farnesene (14,82%), β -caryophyllene (10,09%), α -humulene (5,63%), (E)- β -ocimene (2,47%), α -copaene (2,68%), α -curcumene (6,99%), α -muurolene (3,71%), *p*-cymene (1,84%), γ -terpinene (1,12%) y cis-3-hexenol (0,69%).

Los compuestos principales de *C. micans* fueron cis-3-hexenol (50,58%), furan, tetrahydro (15,48%), cis-3-hexenyl acetate (14,87%), acetic acid (6,62%), Propanenitrile, 2-methyl (3,84%) y 2(3H)-Furanone, dihydro (3,47%).

E. sonchifolia, planta que mostró efecto atrayente en laboratorio emitió como compuestos principales: 1-undecene (35,98 %), cis-3-hexenol (17,48%), α -pipene (13,37%), L-limonene (8,77%), (+)-Cycloisositivene (4,99%), δ -Cadinene (3,03%), (1S-cis)-Calamenene (3,02%), (Z)-3-hexenyl acetate (2,96%) y en menor proporción, α -Muurolene (1,01%).

El único compuesto que se compartió para las cuatro plantas fue cis-3-hexenol. *C. micans* y *E. sonchifolia* compartieron cis-3-hexenyl acetate.

Tabla 2. Compuestos volátiles orgánicos emitidos por *N. tabacum*, *L. camara*, *E. sonchifolia* y *C. micans*. Referenciado con las librerías NIST y WILEY. Para todos los compuestos la similitud con respecto a las librerías fue de >90%. RT: tiempo de retención.

RT	Compuestos	<i>N. tabacum</i>	<i>L. camara</i>	<i>E. sonchifolia</i>	<i>C. micans</i>
5,60	2-propanone	3,50			
6,61	furan, tetrahydro-	0,96			15,45
7,49	furan, 2-methyl	20,16			3,84
11,78	α -pinene			13,37	
12,01	α -thujene		0,48		
15,78	sabinene		0,28		
16,01	1-undecene			35,98	
17,92	γ -terpinene		1,12		
18,58	L-limonene		0,65	8,77	
19,99	gamma-terpinene		1,39		
20,07	(<i>E</i>)- β -ocimene		2,47		
20,80	<i>p</i> -cimene		1,84		
21,06	α -terpinolene		0,66		
21,95	(<i>Z</i>)-3-hexenyl-1-ol acetate			2,96	14,87
24,02	cis-3-hexenol	1,72	0,69	17,48	50,58
24,96	(<i>E,E</i>)-2,4- hexadienal				0,73
25,66	acetic acid				6,62
25,69	α -Cubebene		0,57		
26,64	(+)-Cicloisositivene			4,99	
26,82	α -copaene		2,68		
28,97	(<i>E</i>)-Farnesene		1,95		
29,75	Calarene		0,92		
29,93	β -caryophyllene		10,09		
31,14	(<i>E,E</i>)- α -farnesene		14,82		
31,50	Isolongifolene		0,81		
31,58	Alloaromadendrene		0,67		
31,69	2(3H)-furanone, dihydro				3,74
31,87	trans-.gamma.-bisabolene		1,66		
31,99	α -humulene		5,63		
32,11	gamma-curcumene		5,04		
32,88	zingiberene		2,95		
33,06	cis- α -bisabolene		0,95		
33,23	α -muurolene		3,71	1,01	
34,09	δ -cadinene		6,68	3,03	
34,42	ar-curcumene		6,99		
34,93	cadina-1,4-diene		1,96		
36,31	1S, Z-calamenene		3,81	3,02	
38,62	α -calacorene		1,25		

3.2.3. DISCUSIÓN

Este capítulo presenta la selección de plantas acompañantes dentro del estudio de la preferencia de la broca del café. Los resultados de olfatometría realizados en laboratorio permitieron identificar seis plantas repelentes: *C. micans*, *N.*

tabacum, *L. camara*, *C. officinalis*, *S. Rebaudiana*, *A. vulgaris* y a *E. sonchifolia* como planta atrayente para la broca del café.

Los volátiles identificados en las plantas evaluadas permitieron dilucidar los compuestos que se encuentran relacionados con la respuesta de preferencia del insecto. *N. tabacum* fue identificada como una planta significativamente repelente en la prueba de olfatometría, su extracto ha sido históricamente utilizado como tratamiento insecticida en muchos cultivos, por su compuesto furfural, el cual se encontró en su forma hidrogenada furan, 2-methyl, y se encuentran algunos reportes de su uso en cultivos de café (Damon 2000, Vázquez 2011). En estudios anteriores se reporta que la planta de tabaco emite varios terpenos, en particular (E)- β -ocimene, β -caryophyllene y (E)- β -farnesene (Andersen et al. 1988). Posteriormente, Delphia et al. (2007) y van den Boom et al. (2004) han mostrado que la emisión de esta planta se reduce a unos pocos compuestos sin presencia de terpenos. En los resultados de este trabajo tampoco se identificaron terpenos. Estos compuestos en *Nicotiana* se encuentran más relacionados con la inducción de volátiles de defensa en respuesta a herbivoría (Delphia et al. 2006). Cis-3-hexenol también ha sido reportado como un compuesto principal. En general, se muestra una defensa con emisión de volátiles relativamente débil para su protección, pero una muy fuerte defensa indirecta cuando hace parte de relaciones tritróficas (van den Boom et al. 2004), por lo que puede ser una buena consideración como planta acompañante.

L. camara se identificó como planta repelente en la prueba de olfatometría. Los compuestos emitidos por esta planta fueron identificados anteriormente por Ngassoum et al. (1999) y Abdel-Hady et al. (2005) y se observa alto contenido de compuestos sesquiterpenos y en menor proporción monoterpenos, que pueden ser los responsables de dicha repelencia. Tres de los compuestos emitidos por *L. camara* (E)- β -ocimene, β -caryophyllene y α -humulene, están reportados por Khan et al. (2000), como los compuestos responsables de la repelencia en el sistema de atracción y repulsión de los barrenadores en maíz, estos compuestos también son emitidos por la planta *Melinis minutiflora*, repelente para *Busseola fusca* y *Chilo partellus*. Por esta razón, *M. minutiflora* es utilizada como parte de la estrategia push-pull en maíz, con una eficacia superior al 80% en la reducción del daño causado por el insecto (Khan et al.,

2000; Khan et al. 2011). Para el cultivo de café, *L. camara* es considerada arvense noble (Gómez & Rivera, 1995; Salazar & Hincapié, 2007).

Este trabajo explora el uso de arvenses locales como atrayentes de la broca del café. Vega et al. (2012), sugieren que antes del distanciamiento evolutivo en el centro de origen de la broca, algunas plantas, fuera del género *Coffea*, podrían haber participado en el ciclo de vida de *H. hampei*. Aunque muy pocas se conocen en la zona cafetera colombiana, *Crotalaria* sp. es una de ellas. Este género presenta una distribución tropical y subtropical, con la mayor concentración de especies en el hemisferio sur, especialmente en África donde se encuentran 500 especies; 89 especies se conocen en América.

Los resultados de olfatometría para *C. micans*, mostraron repelencia. Este es el primer estudio que reporta los compuestos volátiles emitidos por esta especie, se encontraron alcoholes, furanos y acetatos. Los alcoholes y acetatos están asociados con la respuesta de atracción en *H. hampei* (Mendoza, 1991; Mathieu, et al., 1998; Cárdenas, 2000; Green, et al., 2015).

E. sonchifolia mostró atracción en la prueba de olfatometría. En la identificación de los compuestos volátiles se evidenció la presencia de α -pineno como compuesto principal. α -pineno ha sido estudiado en respuesta a la broca del café, no ejerciendo un efecto de atracción ni repelencia para la broca del café (Costa, 2002), sin embargo, los frutos que se encuentran ya infestados liberan significativamente una mayor cantidad de α -pineno comparado con los frutos sanos y estos suelen ser más atrayentes. Además, *E. sonchifolia* emite otros terpenos, también encontrados en *L. camara*: L-limonene, uno de los principales compuestos presentes en los frutos de café maduros (Mathieu, et al. 1998; Ortiz, et al. 2004). González y Dufour (2000) reportaron que trampas de campo con metanol-etanol y α -pineno más limoneno capturaron más brocas que las trampas con la mezcla de alcoholes, aunque sin éxito en la implementación en campo dentro de las trampas atrayentes (Costa, 2002; Dufour, 2013).

Respecto a Cis-3-hexenyl acetate, encontrado en *E. sonchifolia* y *C. micans*, este es un compuesto atrayente para diferentes géneros y familias de insectos (James 2003; 2005) y puede estar ligado a una respuesta atrayente para *H. hampei* además de potencial atrayente para enemigos naturales.

La emisión del alcohol cis-3-hexenol fue identificada en todas las plantas evaluadas. Este compuesto ha sido reportado anteriormente como repelente para la broca del café (Borbón-Martínez, et al. 2000; Dufour, et al. 2013) Sin embargo, las plantas repelentes *N. tabacum* y *L. camara* lo muestran en bajas proporciones.

Se identificaron y cuantificaron los compuestos volátiles orgánicos que contribuyen al olor de las plantas evaluadas, aunque no se logró una relación directa entre el compuesto y la función de las plantas. La relación entre la emisión de ciertos volátiles por las plantas y la localización por parte del insecto, tanto plagas como enemigos naturales ha querido ser estudiada en muchos agroecosistemas de una forma muy específica, tanto para las plagas como para los enemigos naturales en café (De Moraes, et al., 1998). Basados en esto, muchos compuestos han sido evaluados para su aplicación en el cultivo como extractos vegetales o compuestos individuales aplicados en campo (Benavides & Góngora, 2015; Dufour, et al., 2013; Green et al., 2015; Jaramillo, et al., 2013; Mendesil, et al., 2009; Nijhia, et al., 2014). Todos han llegado a la conclusión que no es la acción de un compuesto mayoritario sino la mezcla de compuestos que permiten la localización o repulsión del hospedante.

3.3. FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS REPELENTES Y ATRAYENTES DE LA BROCA DEL CAFÉ COMO ACOMPAÑANTES EN PRUEBAS DE CAMPO

3.3.1. MÉTODOS

Se realizaron tres pruebas de campo en lotes independientes de *Coffea arabica* var. Castillo de la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná - Caldas, Colombia, con una elevación de 1.381 m.s.n.m., temperatura promedio de 21,4 °C y humedad relativa anual de 68%.

3.3.1.1. Evaluación de plantas acompañantes del café en condiciones controladas en campo.

Para este experimento se utilizaron dos lotes de una hectárea, uno con manejo orgánico y otro con manejo convencional, ambos en el tercer año de producción. En el lote orgánico, las plantas estaban establecidas a una distancia de siembra de 1,5 x 1,5 m para un total de 4.500 árboles por ha. El sistema de producción contó con sombrío estratificado intercalado, con árboles de guamo (*Inga edulis*), guamo macheto (*Inga densiflora*), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), cámbulo (*Erythrina fusca*), carbonero (*Albizzia carbonaria*) y písamo (*Erythrina poeppigiana*), que aportaron 35% de sombrío. En el lote convencional, las plantas estaban establecidas a una distancia de 1,2 x 1,5 para un total de 5.500 árboles por ha., el sistema de producción era monocultivo a libre exposición.

Como unidad experimental se seleccionaron cuatro plantas de café con frutos continuas y equidistantes, formando un rectángulo, en medio de dos de las plantas de café se sembró la planta acompañante a evaluar, las otras dos plantas de café del arreglo no tuvieron planta acompañante y correspondieron a las plantas de referencia (Figura 5).

Para cada lote, se asignaron seis tratamientos al azar con 20 repeticiones, para un total de 120 unidades experimentales por lote (Figura 6). El diseño experimental fue completamente al azar. Cada unidad experimental se enmalló con una estructura de tul y varas de guadua de 4,0 m de ancho x 4,0 m de largo x 2,50 m de alto para el lote orgánico y de 3,0 m de ancho x 3,0 m de largo x 2,50 m de alto en el lote convencional.

El primer tratamiento, correspondió al control absoluto, en este caso solo las cuatro plantas de café estuvieron presentes (sin plantas acompañantes). El segundo tratamiento correspondió al control atrayente, en este se utilizó una bolsa de 25 ml que contenía una mezcla de etanol y metanol en proporción 3:1, la misma mezcla utilizada en la prueba de olfatometría en laboratorio, esta se ubicó a una altura de 1,3 m entre dos de las plantas de café de la unidad experimental.

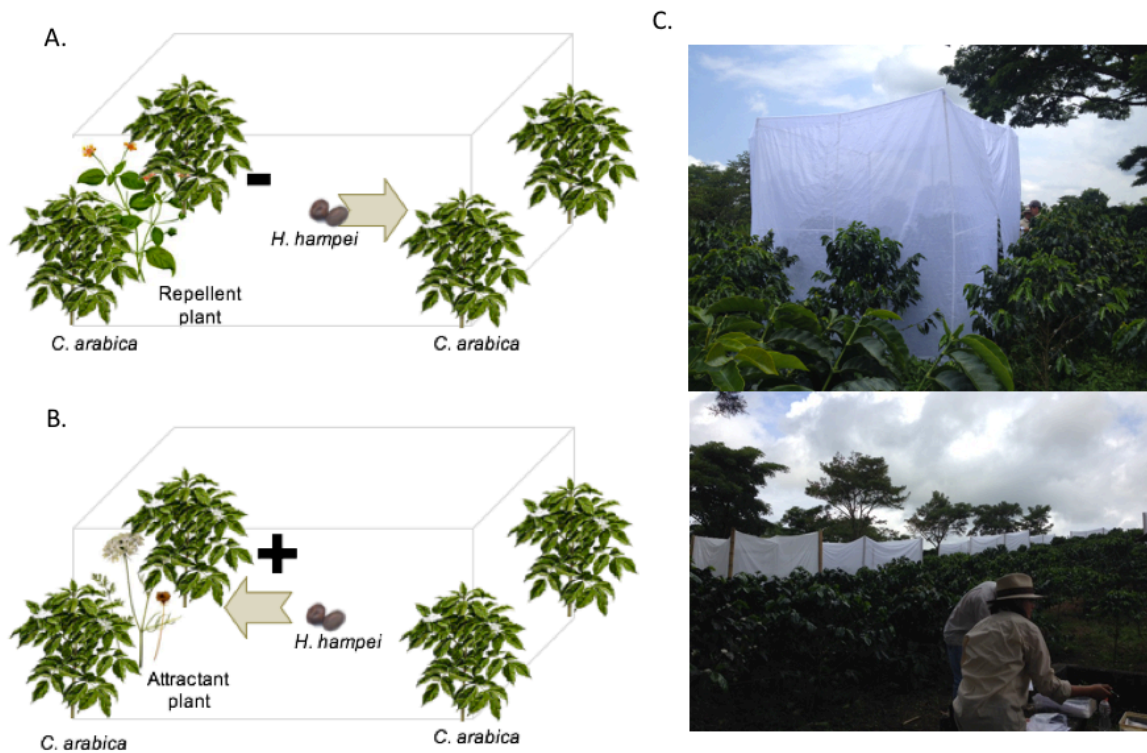


Figura 5 Esquema del diseño de las unidades experimentales, en donde se evalúa la preferencia de *H. hampei* en condiciones controladas. Para A. y B. las flechas representan la dirección esperada del insecto hacia A. Plantas repelentes y B. Plantas atrayentes. C. Fotografía del encerramiento de las unidades experimentales.

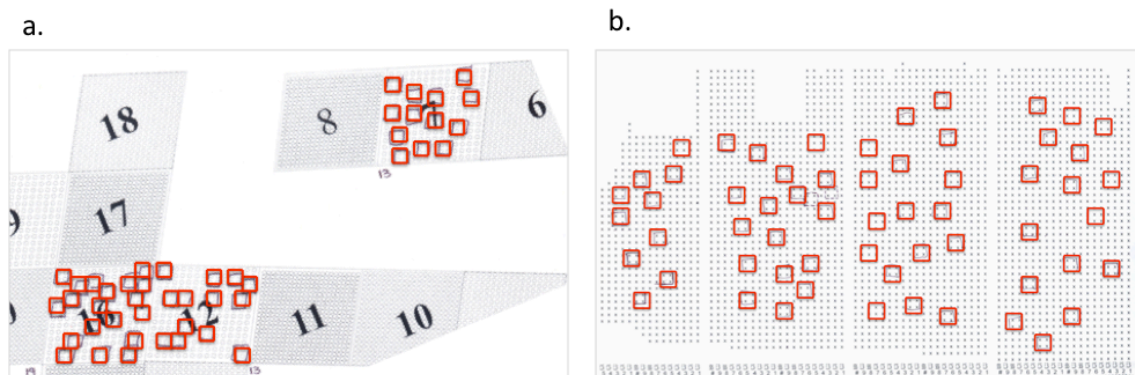


Figura 6 Disposición de las unidades experimentales para la prueba de preferencia en campo bajo un diseño completamente al azar. Mapas de los lotes experimentales de *Coffea arabica* var. Castillo. a. Con manejo orgánico. b. Con manejo convencional.

Basados en los resultados de laboratorio, seis plantas fueron seleccionadas con efecto repelente y una con efecto atrayente para llevar a campo; sin embargo, *A. vulgaris*, *C. officinalis* y *S. rebaudiana* no se establecieron en los lotes de experimentación, debido a la poca luz y a la alta humedad dentro del cafetal en la etapa de producción, que hizo que las plantas crecieran muy delgadas, no produjeran flor y posteriormente murieran. Las pruebas de campo, tanto en el lote orgánico y en el lote convencional, se realizaron con *N. tabacum*, *L. camara*, *C. micans* y *E. sonchifolia*. *L. camara* fue propagada por estaca, mientras que *N. tabacum*, *E. sonchifolia* y *C. micans* fueron propagadas por semillas. Las plantas fueron trasplantadas al lote experimental de tres a cinco meses después de germinación y establecidas en el lote un mes antes de iniciar el experimento.

La infestación con broca se realizó de la siguiente manera: previamente, se contó el número de frutos en cada planta de café que formaba la unidad experimental. En condiciones de laboratorio, se infestaron frutos de café secos con brocas hembras adultas. Después de 30 días de la infestación, se diseccionó una muestra de 100 los frutos secos infestados previamente y se contó el número de progenie (huevos, larvas y pupas) al interior de cada fruto. La cuantificación de estados dio como resultado un promedio de 14 brocas hembras adultas por cada fruto seco. Con esta información, se calculó el número de frutos secos necesarios para obtener una infestación de en promedio 17% en los cuatro árboles de café de la unidad experimental. Los frutos secos infestados se dejaron en el suelo, en la mitad de las cuatro plantas de café de la unidad experimental. Para las unidades experimentales con *E. sonchifolia* como planta acompañante, se liberaron brocas hembras adultas en la misma proporción para obtener una infestación promedio de 17%.

Pasados 30 días de dejar los frutos secos infestados, en cada unidad experimental se evaluó el número de frutos infestados en cada planta de café, tiempo suficiente para permitir el desarrollo y emergencia de todas las brocas hembras de los frutos dejados en el suelo. Se estimó el promedio del

porcentaje de infestación como variable de respuesta para cada tratamiento y el error estándar, evaluando la infestación de broca en cada par de plantas de café de referencia versus el par de plantas de café con la planta acompañante. Adicionalmente, se comparó el promedio de infestación entre el par de plantas de café con la planta acompañante entre tratamientos.

Con la variable de respuesta se realizó un análisis de varianza de una vía seguido de una prueba de diferencias significativas mínimas LSD de Fisher, ambas pruebas usando una $p < 0,05$. Adicionalmente, se realizó una comparación de deltas de los porcentajes de infestación de broca entre las plantas de café con plantas acompañantes versus las plantas de café sin plantas acompañantes, entre tratamientos usando una prueba de Duncan ($p < 0,05$).

3.3.1.2. Evaluación de plantas atrayentes y repelentes en parcelas en bloques.

Esta prueba se realizó en un lote de 1 hectárea, de tercer año de producción con una distancia de siembra de 2,0 m x 1,0 m, con manejo convencional en un sistema de monocultivo a libre exposición solar.

Como unidad experimental se seleccionó una parcela de 150 plantas de café, distribuidas en un rectángulo de 15 x 10 plantas. Esta parcela se dividió en dos partes: borde e interior. El borde de la parcela correspondió a 48 plantas de café efectivas, hacia el interior del borde se dejó un rectángulo de 13 x 8 plantas para separar entre plantas del borde y del interior del arreglo. El interior de la parcela contó con 66 plantas de café efectivas.

Se montaron tres tratamientos. El tratamiento 1 fue el control absoluto, el cual contó con 150 plantas de café, sin plantas acompañantes. En el tratamiento 2 se sembró una línea de la planta atrayente *E. sonchifolia* en la parte externa de las plantas de café del borde y acompañando a las 66 plantas de café del rectángulo interior se sembraron las plantas repelentes, 30 plantas de *L. camara* y 30 de *N. tabacum* siguiendo los surcos de siembra del café. El tratamiento 3 fue el control atrayente, consistió en colocar sobre las plantas de café del borde, en el tronco de cada dos árboles una bolsa conteniendo 25 ml de la mezcla de alcoholes etanol y metanol en proporción 3:1, a una altura de 1,3 m; en el rectángulo interior junto a las 66 plantas de café, se sembraron 30 plantas de *L. camara* y 30 plantas de *N. tabacum* siguiendo los surcos de

siembra del café. En la figura 7 se presenta un esquema del diseño de los tres tratamientos. Y la figura 8 muestra el establecimiento de las plantas en el cafetal.

L. camara se propagó por estaca y *N. tabacum* se sembró por semilla, permanecieron de 3 a 4 meses en vivero y se trasplantaron dos meses antes de iniciar las mediciones. *E. sonchifolia* se propagó por semilla directamente al lote y se sembró por voleo una sola vez, dos meses antes de iniciar la prueba, la planta proporcionó y dispersó las semillas necesarias para mantener las camas en el borde del arreglo durante todo el experimento. Las bolsas de alcohol se reemplazaron cada mes de acuerdo con la tasa de liberación de los volátiles.

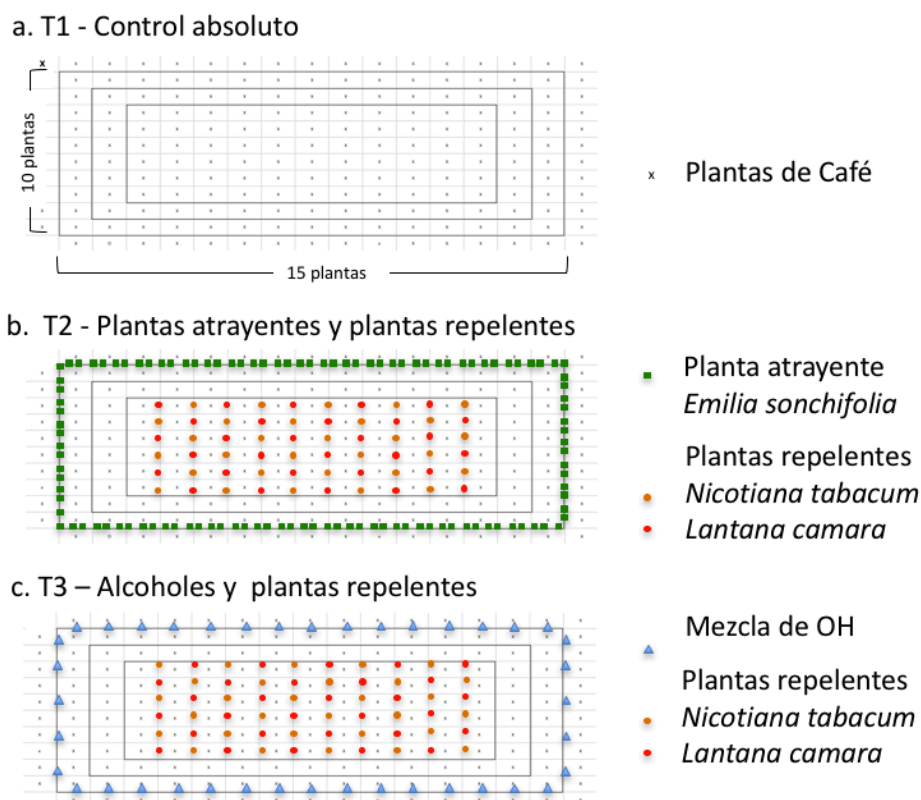


Figura 7. Diseño de la parcela, tratamientos. a. T1 control absoluto, b. T2 con plantas atrayentes y repelentes, c. T3 mezcla de alcoholes y plantas repelentes.

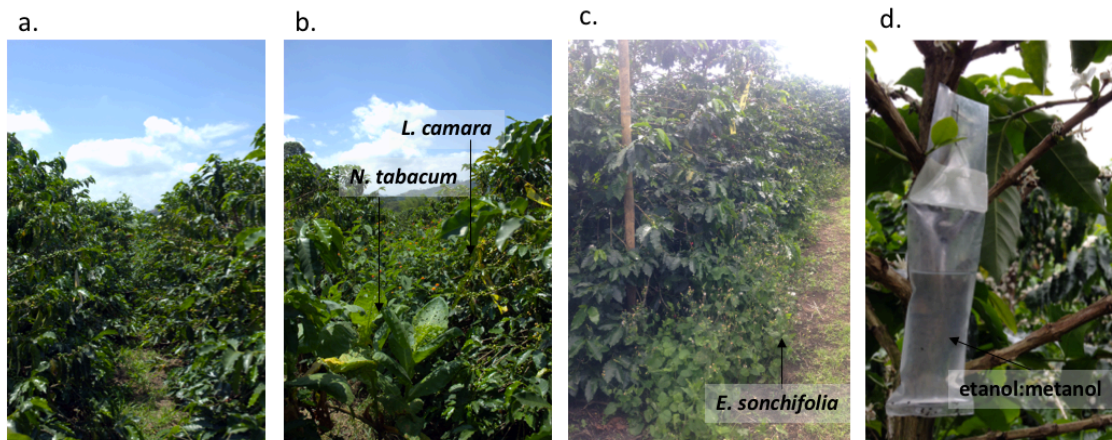


Figura 8. Fotografía del establecimiento de las plantas en, a. plantas de café como control absoluto en el tratamiento 1 b. plantas repelentes en el interior de la parcela del tratamiento 2 y al interior del tratamiento 3. c. plantas atrayentes en el borde del cafetal en el tratamiento 2. d. bolsa de alcoholes atrayentes ubicada en una planta de café en el borde del tratamiento 3.

Cada tratamiento conto con 5 repeticiones organizado en bloques, el factor de bloqueo fueron los diferentes niveles de infestación por broca, cada bloque contuvo los tres tratamientos escogidos al azar (bloques completos al azar) (Figura 9). La variable de interés fue el promedio del porcentaje de infestación de broca. Para esto se seleccionaron 40 árboles del borde y 40 árboles del interior y se marcó la rama más productiva de cada árbol, según pruebas preliminares de campo se contó con más del 75% de confiabilidad con 40 plantas de café evaluadas.

En el primer día del experimento se cosecharon de manera independiente los frutos maduros de cada unidad experimental. Una vez recogidos los frutos maduros, se evaluó sobre una rama productiva de cada árbol, el número de frutos verdes totales e infestados con broca y se determinó el porcentaje de infestación de frutos verdes del borde y del interior de cada unidad experimental. En el bloque 5 se retiraron todos los frutos brocados presentes, tanto maduros como verdes, iniciando con un nivel de infestación de 0%.

Cada 18-20 días, se realizó una recolección manual de los frutos maduros de cada unidad experimental, seguido de esta recolección, se realizó la evaluación de infestación sobre los frutos verdes de la rama productiva marcada en cada árbol. Esta lectura se realizó durante un periodo de 6 meses (de abril a septiembre de 2016) garantizando la cobertura de los frutos evaluados desde la

floración (marcada en febrero de 2016) y hasta fruto maduro (para la cosecha de septiembre 2016). Se realizaron 10 evaluaciones en total.

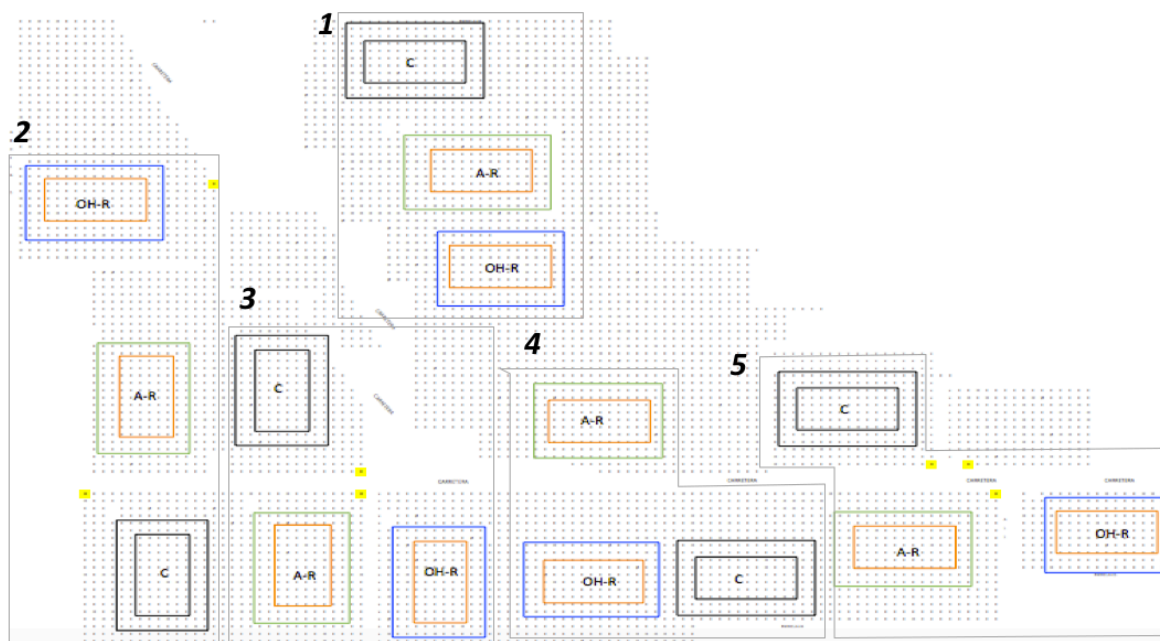


Figura 9. Distribución de los bloques y las unidades experimentales en el lote. El diseño experimental consistió en cinco bloques y tres tratamientos por bloque distribuidos al azar. La x representa los árboles de café, los rectángulos azules hacen referencia a las mezclas de alcohol del tratamiento 3, los rectángulos verdes representan las plantas atrayentes del tratamiento 2, los rectángulos rojos representan las plantas repelentes de los tratamientos 2 y 3 y los rectángulos negros representan los controles.

Al lote se le realizaron las prácticas agronómicas convencionales en cuanto a fertilización, durante el experimento no se aplicaron insecticidas ni herbicidas, el manejo de arvenses fue manual y se llevó a cabo una recolección oportuna cada 20 días. En cada fecha de evaluación se revisaron las plantas acompañantes, se realizaron seis podas a *L. camara* y *N. tabacum* manteniéndola sin sobrepasar la altura del café.

Se realizaron dos análisis para evaluar el efecto de los tratamientos: 1. Se compararon los promedios del porcentaje de infestación al interior de las parcelas entre los diferentes tratamientos y se compararon los porcentajes de infestación en el borde de la parcela entre los tratamientos, por medio de un análisis de varianza de una vía y una prueba de comparaciones múltiples HSD de Tukey con $p < 0,05$. 2. Se evaluaron las diferencias en el porcentaje de infestación entre el borde y el interior para cada tratamiento independiente, por medio de una ANOVA y la prueba de comparaciones múltiples LSD de Fischer

($p < 0,05$). Adicionalmente, se analizó por separado el bloque 5, realizando los análisis estadísticos por medio de la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

3.3.1.3. Evaluación de plantas repelentes en parcelas efectivas

Esta prueba se realizó en un lote de café de media hectárea, sembrado a una distancia de 1,5 m x 1,0 m bajo un sistema de monocultivo a libre exposición solar, en segundo año de producción. El lote de 90 surcos, cada uno con 27 plantas de café se dividió en tres parcelas, cada una con 810 plantas de café (Figura 10). En la primera parcela se sembraron 320 plantas de *L. camara*, en cada surco se sembraron 16, sembrando cada dos plantas de café una planta de *L. camara*. La segunda parcela correspondió al control, plantas de café sin plantas acompañantes y en la tercera parcela se sembraron 320 plantas de *N. tabacum*. Al principio y al final de cada parcela se dejaron 5 surcos de plantas de café sin planta acompañante.

El establecimiento y manejo de las plantas se realizó de la misma manera que en los anteriores experimentos. Se escogieron como parcela efectiva 490 plantas de café para cada tratamiento. El experimento comenzó al inicio del periodo crítico para la broca del café. Cada 18-20 días, se realizó una recolección de los frutos maduros y seguido, se realizó la evaluación del porcentaje de infestación de los frutos verdes en una rama productiva de cada árbol para cada tratamiento. Se realizaron cuatro evaluaciones y se deberán continuar hasta un ciclo de producción.

En el lote se realizaron todas las prácticas agronómicas convencionales en cuanto a fertilización y manejo de arvenses y podas del café, durante el experimento no se aplicaron insecticidas ni herbicidas. Las plantas de *L. camara* se podaron cuando pasaron la altura de las plantas de café. Adicionalmente, se cosechó y se benefició el café de cada parcela independientemente. Con el café pergamino seco se determinó el porcentaje de daño en almendra de una muestra de 200 g por parcela y se realizó un análisis cuantitativo descriptivo como prueba sensorial. Este análisis se realizó en el Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, ubicado en la ciudad de Manizales.

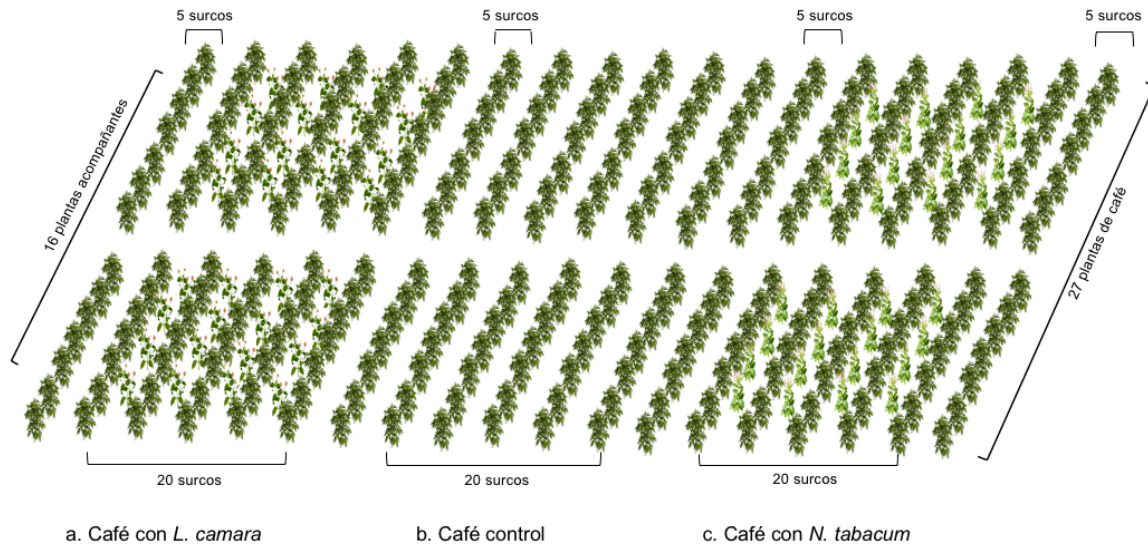


Figura 10. Esquema del montaje de la prueba de plantas repelentes en parcelas efectivas. a. Parcela de café con *L. camara*. b. Parcela de café control. c. Parcela de café con *N. tabacum*.

3.3.2. RESULTADOS

3.3.2.1. Evaluación de Plantas acompañantes de café en condiciones controladas en campo

En la tabla 3 se muestra el número total de frutos evaluados, los promedios de infestación por broca, el error estándar y las diferencias estadísticas dentro de cada tratamiento, tanto en las plantas de café adyacentes a las plantas acompañantes como en las plantas de referencia para el lote convencional.

En el lote convencional, el testigo absoluto presentó un promedio de 17 y 18,8 % de infestación, lo cual indicó que no hubo preferencia de la broca a ninguna planta de café en particular o en su ubicación, la infestación se produjo al azar en las cuatro plantas de café que forman la unidad experimental.

El control atrayente no mostró diferencias significativas, aunque el aumento de la infestación en las plantas con los atrayentes fue de más del 9%. Con respecto a los tratamientos, se observó una reducción en la infestación de las plantas de café acompañadas por *N. tabacum*, la prueba LSD mostró que la infestación de la broca en frutos de plantas de café cercanas a *N. tabacum* fue significativamente inferior (10,6% +/- 1,83%) comparado con la infestación de referencia (19+/-3,54%). El tratamiento con *E. sonchifolia* no mostró atracción o repelencia de la broca en esta prueba de campo, en contraste con los resultados obtenidos en laboratorio. Es de anotar que el porcentaje de

infestación para este tratamiento fue muy bajo (<5%), posiblemente por la utilización de otro método de infestación, aquí se liberaron directamente las brocas adultas al suelo, lo que pudo causarles desecación, lo que les impidió volar hacia los frutos de los árboles. En los otros tratamientos el porcentaje de infestación en al menos uno de los grupos (par de plantas de café) excedió 14% de infestación. Los tratamientos con *L. camara* y *C. micans* no mostraron diferencias significativas en la prueba LSD ($P < 0,05$).

Tabla 2. Promedio del porcentaje de infestación de broca y promedio del número de frutos por árbol dentro de cada tratamiento en el lote convencional con 20 repeticiones por tratamiento. La comparación entre las plantas de café con plantas acompañantes y plantas de café sin plantas acompañantes dentro de cada tratamiento con la misma letra no son diferentes estadísticamente (Prueba LSD $P < 0,05$).

Tratamientos lote convencional	Plantas de café con plantas acompañantes			Plantas de café sin plantas acompañantes		
	Promedio % Infestación de broca	EE	Promedio número frutos por árbol y (desviación estándar)	Promedio % Infestación de broca	EE	Promedio número frutos por árbol y (desviación estándar)
1. Control atrayente OH	29,4 A	5,38	630 (571)	19,7 A	4,03	665 (541)
2. <i>Nicotiana tabacum</i>	10,6 B	1,83	1957 (1345)	19,0 A	3,54	2003 (1299)
3. <i>Lantana camara</i>	13,4 A	2,16	1481 (1172)	21,2 A	3,25	1589 (1313)
4. <i>Crotalaria micans</i>	14,6 A	3,89	1972 (1411)	9,4 A	1,94	1628 (1267)
5. <i>Emilia sonchifolia</i>	4,6 A	1,07	1664 (1153)	4,4. A	1,00	1751 (1209)
6. Control absoluto	17,0 A	3,47	2054 (1418)	18,8 A	3,92	2414 (1339)

En el lote orgánico, solo se evaluó *N. tabacum* y *C. mican*, no se logró establecer *E. sonchifolia*, ni *L. camara*. En la tabla 4, se muestra los promedios de infestación por broca, el error estándar y las diferencias estadísticas dentro de cada tratamiento, tanto en las plantas de café adyacentes a las plantas acompañantes y en las plantas de referencia para el lote orgánico.

En la comparación del porcentaje de infestación dentro de cada tratamiento para el lote orgánico, no se presentaron diferencias significativas para ninguno de ellos. Si bien, no se encontraron diferencias en el control absoluto, tampoco se encontró diferencias entre las plantas con los controles atrayentes y las plantas de referencia. En la prueba de Duncan no se encontraron diferencias entre las plantas de café adyacentes a las plantas de *N. tabacum* y las plantas

de referencia, ni entre las plantas de café acompañadas de *C. micans* y sus plantas de referencia.

Tabla 3. Promedio del porcentaje de infestación de broca y promedio del número de frutos por árbol dentro de cada tratamiento en el lote orgánico con 20 repeticiones por tratamiento. La comparación entre las plantas de café con plantas acompañantes y plantas de café sin plantas acompañantes dentro de cada tratamiento con la misma letra no son diferentes estadísticamente (prueba LSD $P < 0.05$).

Tratamientos lote orgánico	Plantas de café con plantas acompañantes			Plantas de café sin plantas acompañantes		
	Promedio % Infestación	EE	Promedio número frutos por árbol y (desviación estándar)	Promedio % Infestación	EE	Promedio número frutos por árbol y (desviación estándar)
1. Control atrayente OH	16.9 A	3.05	62 (55)	18.2 A	3.06	112 (107)
2. <i>Nicotiana tabacum</i>	9.3 A	1.59	122 (113)	17.3 A	4.41	183 (139)
3. <i>Crotalaria micans</i>	13.3 A	2.42	216 (153)	12.7 A	3.25	145 (130)
4. Control absoluto	12.8 A	1.62	77 (76)	21.8 A	5.9	64 (63)

En la figura 11 se muestran las diferencias entre los tratamientos con respecto al porcentaje de infestación de broca en las plantas de café adyacentes a las plantas acompañantes. Los Deltas del porcentaje de infestación permitieron diferenciar la infestación de las plantas de café acompañadas de *N. tabacum* (con una reducción de 7,05%) y las plantas acompañadas por *L. camara* (con una reducción del 4,5%) de las plantas acompañadas por la mezcla de alcoholes y de las plantas de café sin acompañantes, evidenciando su repelencia. En este análisis se omitió el tratamiento *E. sonchifolia*, por el bajo porcentaje de infestación que se obtuvo durante el experimento. La infestación de las plantas de café acompañadas del control atrayente no se diferenció de las plantas del control absoluto o las acompañadas por *C. micans*.

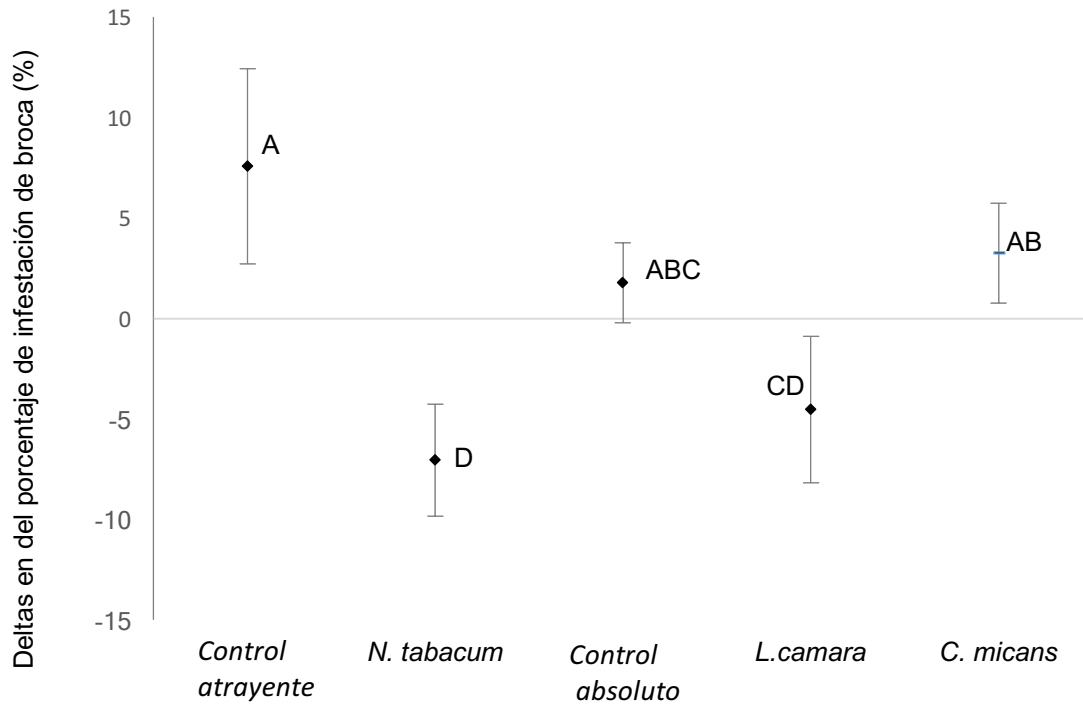


Figura 11. Deltas de diferencia en el porcentaje de infestación de broca entre plantas de café con plantas acompañantes sembradas en un lote de manejo convencional. Valores negativos muestran repelencia, valores positivos muestran atracción. Los deltas de diferencias con la misma letra no muestran diferencias significativas (prueba Duncan $p < 0,05$).

3.3.2.2. Evaluación de plantas atrayentes y repelentes en parcelas en bloques.

Los resultados de la comparación de los promedios de los porcentajes de infestación de broca en los bordes de cada tratamiento a través del tiempo se presentan en la figura 12. La infestación promedio inicial del lote fue de 54% y para todos los tratamientos fue disminuyendo con el tiempo debido a la dinámica de la broca y a recolección de los frutos maduros cada 18-20 días. La prueba HSD de Tukey mostró diferencias significativas entre el borde del tratamiento 3, el cual contenía la mezcla de alcoholes atrayentes y los otros dos tratamientos a lo largo del experimento. Para cada fecha de evaluación se realizó el análisis estadístico, en la primera fecha de evaluación, 18 días después de ubicar las bolsas de la mezcla de alcoholes sobre las plantas de café del borde del tratamiento 3, se evidenciaron diferencias ($F 7,77$ y $P 0,134$), la infestación aumentó de 54 a 70% de infestación, mientras que en los otros

dos tratamientos las infestaciones se mantuvieron entre 40 y 50%. En el transcurso del tiempo, la infestación empezó a disminuir en todos los tratamientos, pero esta disminución fue mucho menor en el borde del tratamiento 3, presentando diferencias significativas con respecto al tratamiento 1 control y al tratamiento 2, el cual contaba con *E. sonchifolia*, en la evaluación 3 (F 6,85 y P 0,0185), 4 (F 9,43 y P 0,0079), 5 (F 13,29 y P 0,0029), 6 (F 15,21 y P 0,0019), 7 (F 25,91 y P 0,0003) y 8 (F 6,59 y P 0,0204). A lo largo del experimento, no se encontraron diferencias significativas con respecto a los bordes entre el tratamiento 1 control y el tratamiento 2, el cual contaba con *E. sonchifolia*.

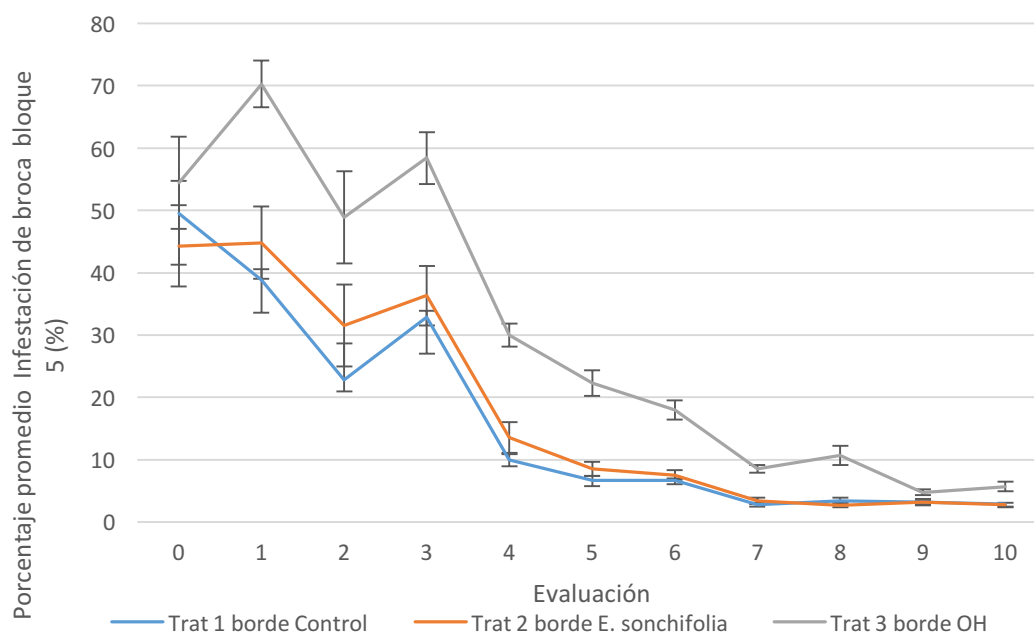


Figura 12. Porcentaje de infestación de broca en el borde de cada tratamiento a través del tiempo. Cada evaluación se realizó con 15-18 días de diferencia.

La comparación del promedio de porcentaje de infestación de broca en el interior de cada tratamiento se muestra en la figura 13, no se presentaron diferencias entre el interior del tratamiento 2 y del control. Las diferencias del interior del tratamiento 3 con respecto al interior de los tratamientos 1 y 2, se debieron al aumento significativo en la infestación del tratamiento 3 en la evaluación 1 (F 7,87 y P 0,0129) y 6 (F 7,02 y P 0,0173), el resto de las evaluaciones no presentaron diferencias significativas, aunque en todas, la infestación fue mayor en el tratamiento 3. Este aumento de la infestación en el

interior del tratamiento 3 se atribuye a la presión de la mezcla de alcoholes del borde en este tratamiento.

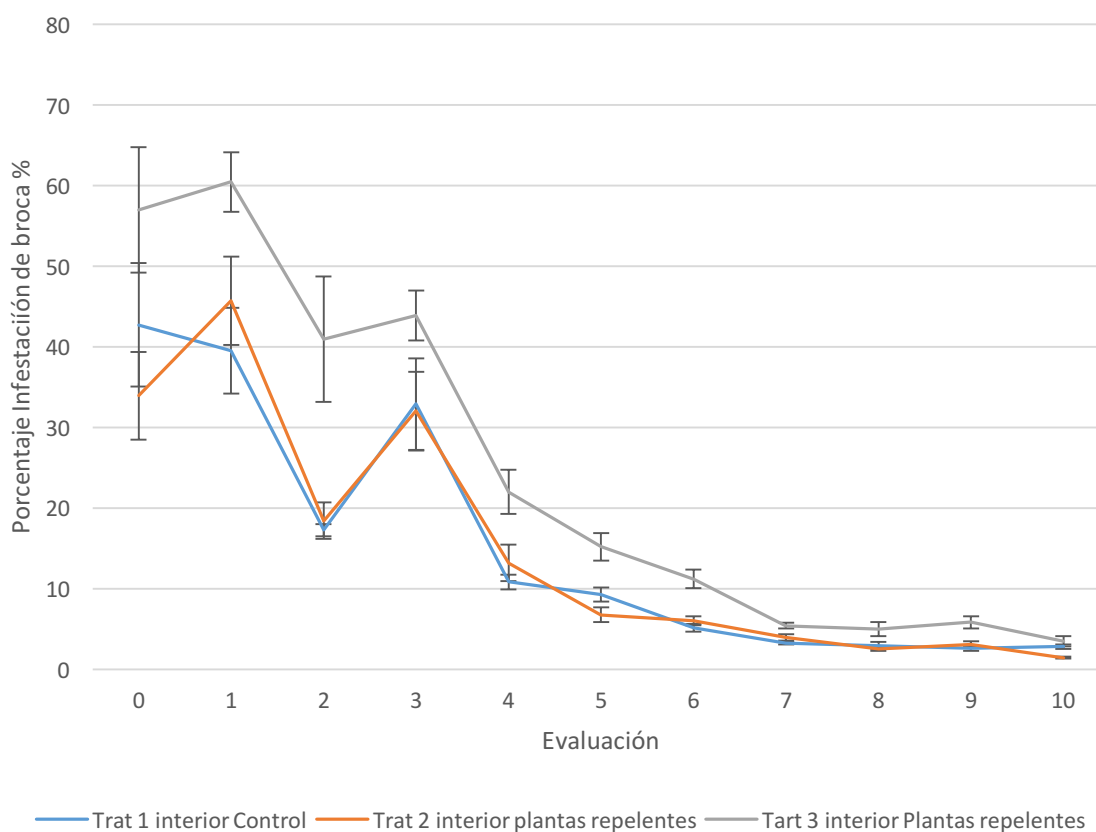


Figura 13. Porcentaje de infestación de broca en el interior de cada tratamiento a través del tiempo. Cada evaluación se realizó con 15-18 días de diferencia.

Los resultados de la comparación dentro de cada tratamiento, comparando el borde vs. el interior, se presenta en la figura 14. En esta comparación también se presentó efecto de bloque (F 74,16 y P 0.0005), difiriendo los bloques 5, 3, 1 y agrupando los bloques 4 y 2, de acuerdo a su promedio del porcentaje de infestación.

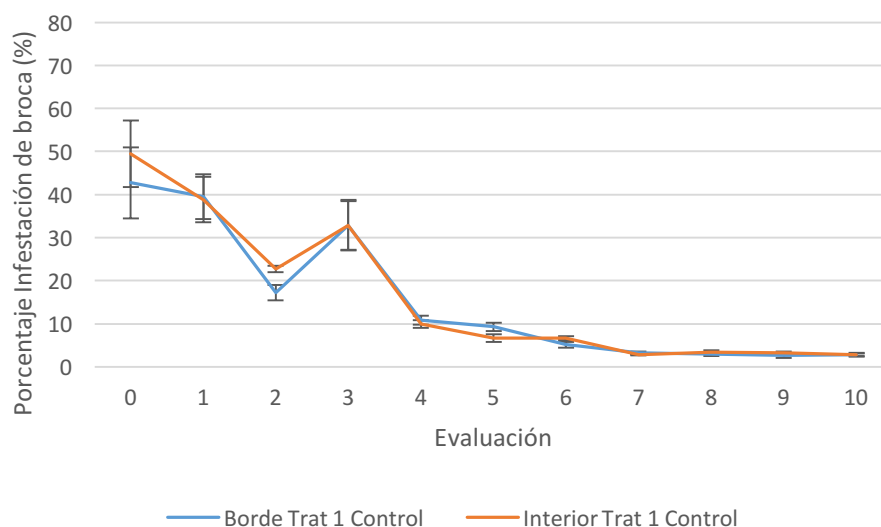
No se presentaron diferencias significativas entre el borde y el interior del tratamiento 1 control, excepto para la evaluación 5 (F 16,89 y P 0,009), donde el interior de la parcela presentó valores superiores en la infestación y en la evaluación 6 (F 11,82 y P 0,0263), donde el borde de la parcela presentó valores de infestación superiores con respecto al interior (Figura 14a).

Se encontraron diferencias significativas entre el borde y el interior del tratamiento 2 solo en la evaluación 2 (F 73,06 y P 0,0005) (Figura 14b).

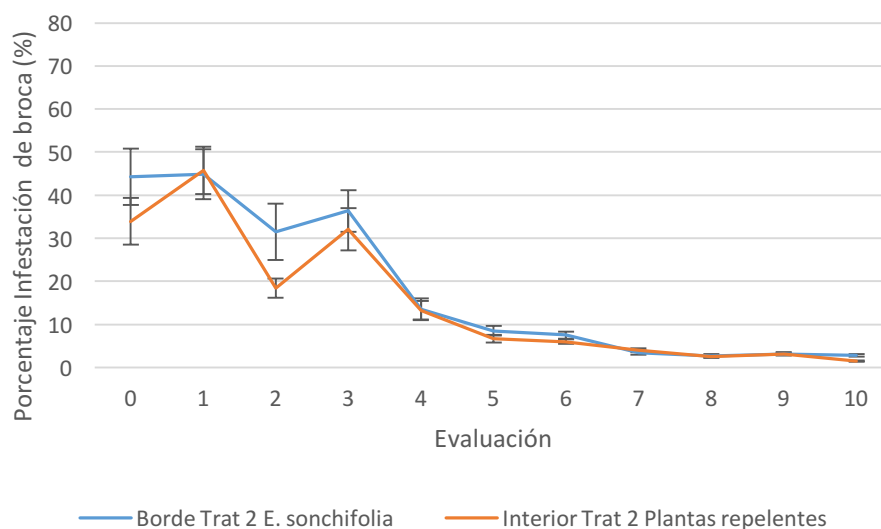
Durante el experimento, en el análisis HSD de Tukey con todos los bloques, la infestación del borde de la parcela, con las plantas *E. sonchifolia* y el interior, con las plantas *N. tabacum* y *L. camara*, fue similar.

En el tratamiento 3 se encontraron diferencias significativas entre el borde y el interior en la evaluación 3 (F 8,80 y P 0,0413), 4 (F 45,01 y P 0,0026), 5 (F 16,68 y P 0,015), 6 (F20,78 y P 0,0103), 7 (F 12,81 y P 0.0232) y 8 (F 8,07 y P 0,0468) (Figura 14c). El borde, que contó con la mezcla de alcoholes, presentó un aumento en la infestación entre la tercera y octava fecha de evaluación, a pesar que esta mezcla de alcoholes afectó la infestación del interior del tratamiento.

a.



b.



C.

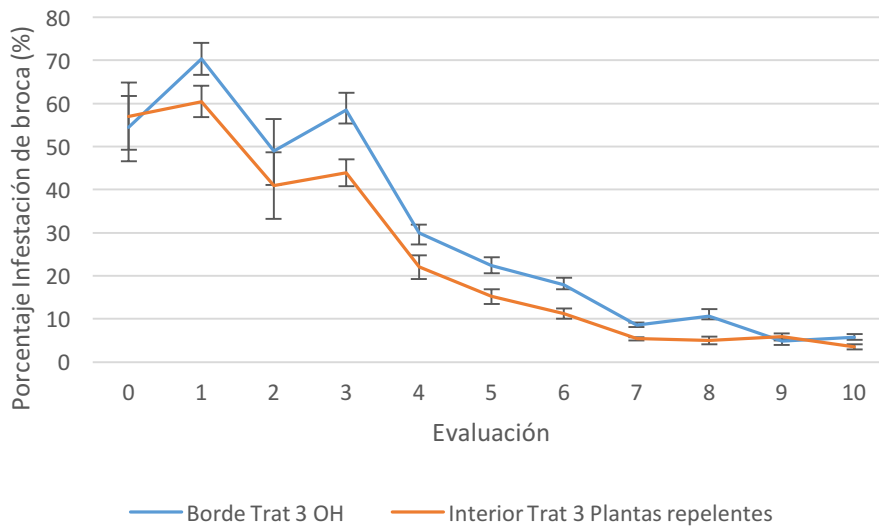


Figura 14. Porcentaje de infestación de broca (PFB) entre el borde y el interior de cada tratamiento. a. Tratamiento 1 control. b. Tratamiento 2 *E. sonchifolia* al exterior - *N. tabacum* y *L. camara* al interior. y c. Tratamiento 3 mezcla de alcoholes al exterior- *N. tabacum* y *L. camara* al interior.

En el bloque 5, al inicio del experimento, se realizó la recolección completa de los frutos de más de 90 días de desarrollo, por lo que la infestación inicial en el lote fue de 0%. El análisis de la comparación entre los tres tratamientos mostró que hubo un efecto de bloque a lo largo del experimento. En donde el bloque 5 difirió del resto de los bloques, tanto en las comparaciones entre los bordes de los tratamientos (F 8,61 y P 0,0054) como en las comparaciones entre el interior de los tratamientos (F 6,46 y P 0,0127). Por lo tanto, se realizó un análisis estadístico independiente para este bloque.

Al comparar el promedio del porcentaje de infestación entre el borde de los tres tratamientos del bloque 5, se observó diferencias significativas del tratamiento 3, el cual contenía la mezcla de alcoholes, con respecto al tratamiento control y al tratamiento 2, que contaba con las plantas de *E. sonchifolia*, en la primera evaluación (F 24,61 y P 0,0001) y hasta la evaluación 8, exceptuando la segunda evaluación: evaluación 3 (F 6,98 y P 0,0014), evaluación 4 (F 10,27 y P 0,0001), evaluación 5 (F 7,15 y P 0,0012), evaluación 6 (F 7,88 y P 0,0006), evaluación 7 (F 23,61 y P 0,0001) y evaluación 8 (F 13,94 y P 0,0001) (Figura 15). Esto corrobora el efecto atrayente del alcohol. Entre los tratamientos control y tratamiento 2 no se presentaron diferencias significativas en ninguno

de los tiempos evaluados. Por lo que no se evidencia atracción de *E. sonchifolia* al comparar con el tratamiento control.

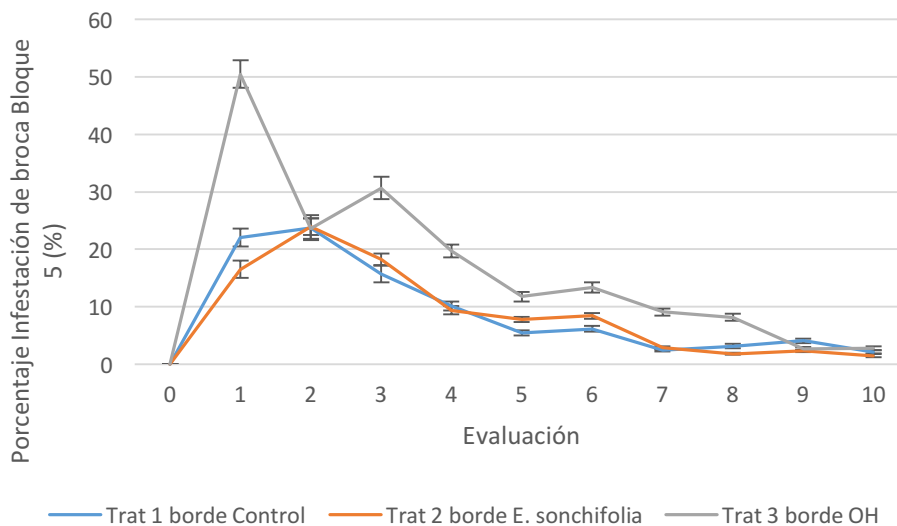


Figura 15. Porcentaje de infestación de broca en el borde de cada tratamiento a través del tiempo para el bloque 5.

En el bloque 5, al comparar los tratamientos al interior de las parcelas, se observaron diferencias significativas en el tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 control en las evaluaciones 3 (F 6,26 y P 0,0029), 5 (F 1,77 y P 0,1759), 6 (F 2,39 y P 0,0975) y 8 (F 7,16 y P 0,0013) (Figura 16), aunque desde la evaluación 1 se evidenció una disminución en la población de brocas y en los porcentajes de infestación en el tratamiento 2 al ser comparado con el control y el tratamiento 3. Las diferencias numéricas en el porcentaje de infestación del tratamiento 2 con respecto al control desde la primera hasta la evaluación 6 fueron de 4,92; 3,94; 12,33; 3,59; 4,01 y 1,09, obteniendo una reducción promedio en infestación del tratamiento 2 con las plantas acompañantes de 4,9%, con respecto al tratamiento 1 control, siendo este el tratamiento con menor infestación acumulada en el experimento.

Los tratamientos 2 y 3 presentaron valores inferiores en la infestación sin diferencias entre ellos, con respecto al tratamiento 1 control, en las evaluaciones 4 (F 2,38 y P 0,0985) y 8 (F 7,16 y P 0,0013). El tratamiento 3 mostró incrementos considerables de infestación y diferencias significativas con respecto al tratamiento 1 control y tratamiento 2, en las evaluaciones 1 (F 4,22 y P 0,0191) y 7 (F 5,94 y P 0,0038). En la evaluación 2 no se presentaron

diferencias significativas entre los tratamientos. En la evaluación 9, los tratamientos 2 y 3 presentaron infestaciones superiores con respecto al control (F 3,46 y P 0,0357).

En general, el tratamiento 3 fue el que presentó los valores superiores de infestación en todo el experimento, superando al tratamiento 2 y el control. Teniendo en cuenta que las plantas acompañantes en el interior de las parcelas de los tratamientos 2 y 3 fueron las mismas, la variación se atribuye a la emisión de la mezcla de alcoholes ubicadas en el borde del tratamiento 3.

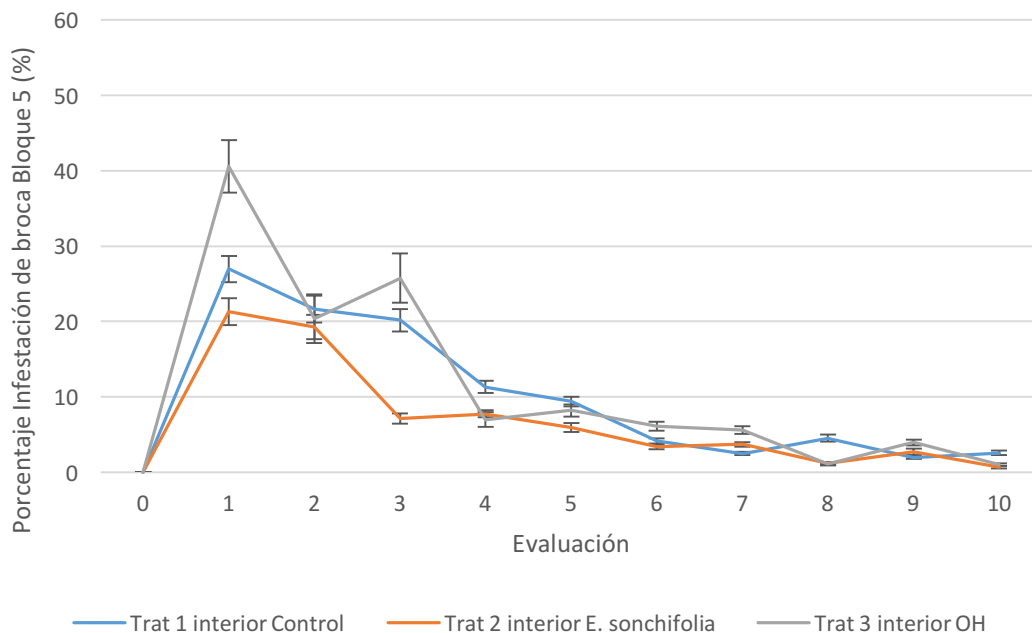


Figura 16. Porcentaje de infestación de broca en el interior de cada tratamiento a través del tiempo para el bloque 5.

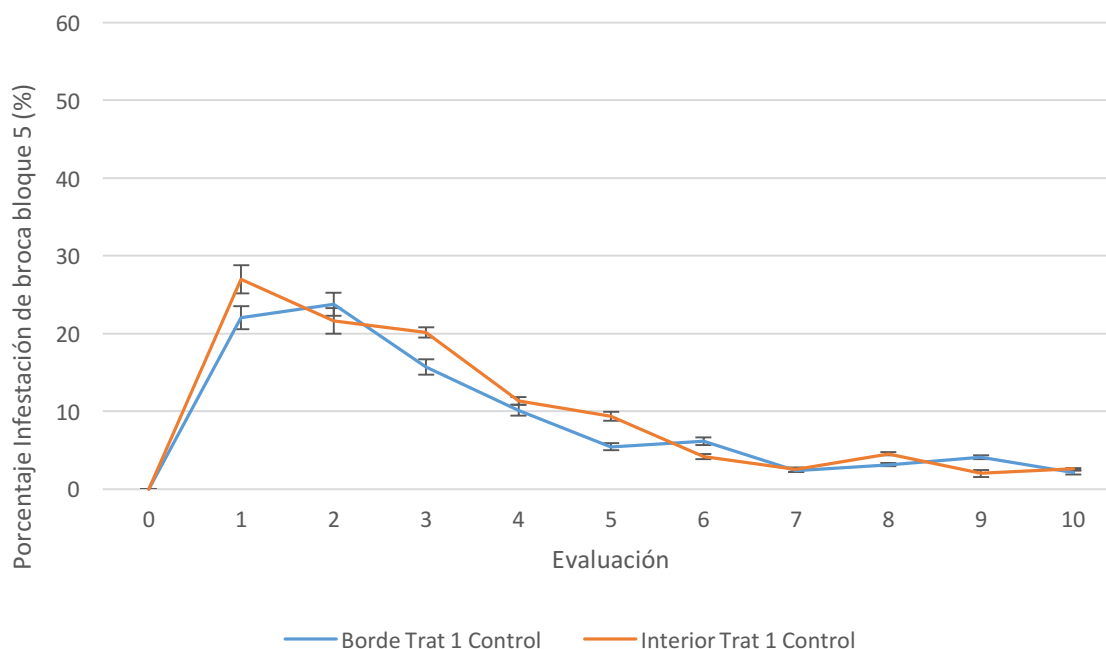
Los resultados de las comparaciones de las infestaciones por broca dentro de cada tratamiento, el borde vs. el interior de las parcelas se muestra en la figura 17. Para el tratamiento 1-control no se presentaron diferencias significativas entre borde y el interior, excepto en la evaluación 5 (F 6,01 y P 0,0164), donde el interior presentó mayor infestación que el borde y la evaluación 9 (F 6,59 y P 0,0121), donde el borde presentó mayor infestación. En general, la infestación fue similar en toda la parcela (Figura 17a).

Para el tratamiento 2, la prueba LSD mostró diferencias significativas en la evaluación 3 (F 17,15 y P 0,0001), 6 (F 15,61 y P 0,0002), con reducciones en el interior de la parcela con respecto al borde. Los valores numéricos mostraron reducción en las evaluaciones 2, 3, 4, 5 y 6 con diferencias de 6,22; 10,4; 1,64;

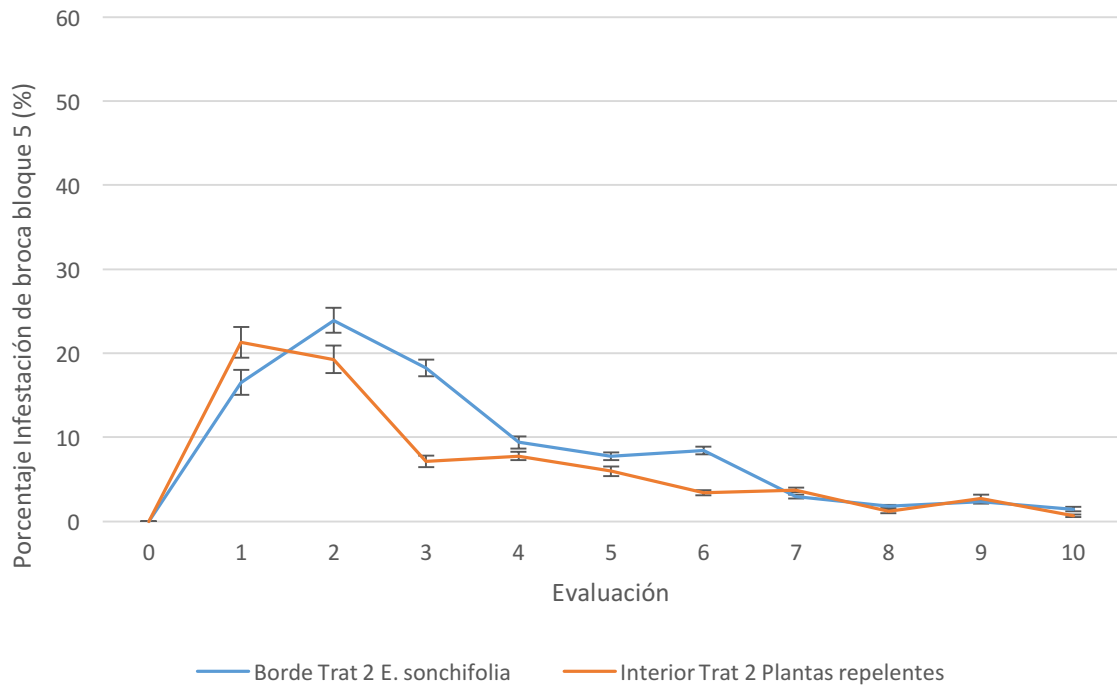
2,36 y 5,34% en la infestación, en promedio se observó una reducción de la infestación al interior de la parcela de 5,20% con respecto al borde (Figura 17b).

En el tratamiento 3, se evidenciaron diferencias significativas desde la evaluación 4 hasta la 8: evaluación 4 (F 14,89 y P 0,0003), 6 (F 8,35 y P 0,0053), 7 (F 3,89 y P 0,0533) y 8 (F 17,01 y P 0,0001), exceptuando la evaluación 5. Los valores numéricos mostraron una reducción en la infestación al interior de la parcela con respecto al borde desde la evaluación 4 hasta la 8, con valores de 5,7; 10,7; 12,0; 3,5; 6,5; 3,6; 6,2%. (Figura 17c). Aunque las reducciones en la infestación fueron superiores para este tratamiento, tanto el borde como el interior presentaron infestaciones más altas con respecto a los otros tratamientos.

a.



b.



C.

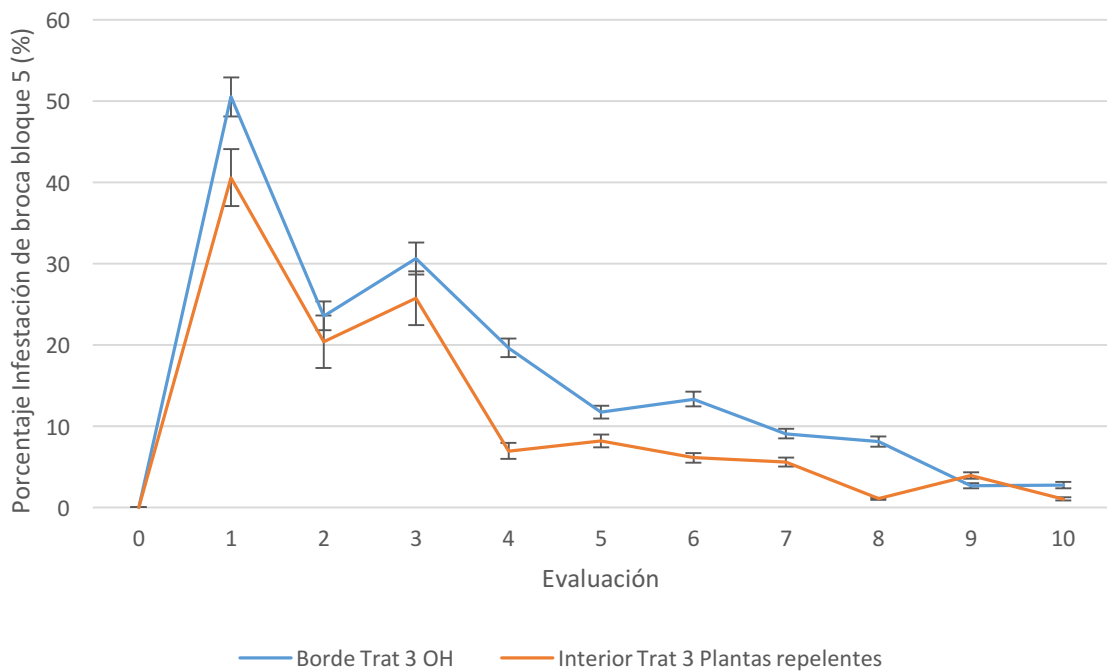


Figura 17. Porcentaje de infestación de broca entre el borde y el interior de cada tratamiento a través del tiempo para el bloque 5. a. Tratamiento 1 control. b. Tratamiento 2 *E. sonchifolia* al exterior - *N. tabacum* y *L. camara* al interior. y c. tratamiento 3 mezcla de alcoholes al exterior- *N. tabacum* y *L. camara* al interior.

3.3.2.3. Evaluación de plantas repelentes en parcelas efectivas

En campo se encuentran establecidas las plantas de *L. camara* y *N. tabacum*, según el diseño del experimento. Hasta el momento, se han realizado 4 evaluaciones cada 18-20 días sobre las 490 plantas de café acompañadas de *L. camara* y 490 plantas sin acompañantes, que sirven como control. En la tabla 5 se presentan los datos preliminares. Ningún tratamiento presentó valores de infestación que superaron el umbral de daño económico, hasta este momento, con los resultados, no se puede emitir conclusiones sobre el efecto de repelencia por parte de la planta *L. camara*.

Tabla 4. Promedio del porcentaje de infestación de broca en plantas de café acompañadas de la planta *L. camara*. (ANOVA $p < 0,05$)

Evaluación	Infestación con <i>L. camara</i> (%)	ds	Infestación Control (%)	ds
0	0,492	1,691	0,246	1,105
1	0,640	1,876	0,182	0,824
2	0,489	1,489	0,534	1,329
3	0,493	1,353	0,383	1,355
4	0,476	1,545	0,515	1,633

3.3.3. DISCUSION

3.3.3.1. Evaluación de Plantas acompañantes de café en condiciones controladas en campo

El montaje con el encerramiento de plantas en el lote convencional permitió evidenciar la función repelente de *N. tabacum*, al comparar el promedio del porcentaje de infestación entre las plantas de café acompañadas por *N. tabacum* con las plantas sin acompañantes (plantas referentes). Al comparar los diferentes tratamientos entre sí, aunque no se diferenció *L. camara* del control absoluto, su efecto tampoco se diferenció de la planta repelente *N. tabacum* y su reducción en la infestación fue de 4,5%, al compararla con las plantas de referencia dentro de las mismas unidades experimentales. *C. micans* no mostró diferencias significativas con respecto a los controles absolutos. Con las plantas de *E. sonchifolia* no se obtuvo resultados debido al

bajo porcentaje de infestación de broca en este tratamiento, por debajo de lo esperado.

En el lote orgánico se presentaron plantas de café muy variables en cuanto al número de frutos por planta. Para el lote convencional el experimento contó con un promedio de 1693 frutos por árbol con una desviación estándar de 1311, aunque la desviación es alta, el árbol con menos frutos tuvo 382, por lo que la evaluación de infestación en los árboles es confiable. Los árboles del lote orgánico contaron con un promedio de 118 frutos por árbol y una desviación estándar de 117, es decir que se presentaron árboles con un solo fruto. Esta baja producción se debió a las condiciones de manejo del lote; si bien este lote cumple con las normas para agricultura sostenible (RAS, 2010), por lo que es reconocido con el sello Rainforest Alliance Certified, presenta altos requerimientos de insumos externos, el lote se maneja como un monocultivo, además presentó excesiva sombra (>25%) considerando los requerimientos para la variedad de café y la zona. La variabilidad en la producción caracterizada en este caso por el bajo número de frutos no permitió ver diferencias estadísticas en los resultados en el lote orgánico debería aumentar el tamaño de muestra para esta evaluación, pero bajo estas circunstancias sería inmanejable, ya que aumentaría los costos del experimento y el área de trabajo.

3.3.3.2. Evaluación de plantas atrayentes y repelentes en parcelas en bloques.

En el momento de la instalación de este experimento, las condiciones climáticas en la Estación de Naranjal a enero de 2016 fueron un promedio de temperatura de 23,4°C con un mínimo de 16,2°C y máximo de 31,0°C; humedad relativa promedio de 74,0%, con un mínimo de 39,9% y máximo de 100% (Plataforma agroclimática cafetera, 2016), estas condiciones coinciden con el fenómeno de El Niño, que inició desde mediados de 2014 hasta el primer trimestre de 2016 y son las condiciones que propiciar altas poblaciones de broca y altos porcentaje de infestación de broca del café. A nivel de toda la parcela, en el experimento, la infestación promedio inicial fue de 54% y fue disminuyendo con el tiempo debido a la dinámica de la broca y a la recolección de los frutos maduros cada 18-20 días, sin embargo, no se presentaron diferencias entre los tratamientos. En el bloque 5, la infestación inicial fue de

0% y bajo las características de este bloque fue evidente la función repelente de las plantas *N. tabacum* y *L. camara*. Parece ser que para que este tipo de diseños con plantas repelentes sean efectivos en café es indispensable tener un cafetal limpio de broca al momento de colocar las plantas repelentes. Por lo que es importante establecer las plantas acompañantes, antes de la segunda cosecha de tal manera que se pueda repeler la llegada de la broca al cafetal, en vez de presionar la salida de la plaga de un lote en el que ya se encuentre establecida, reiterando, que el enfoque del manejo de la broca del café debe hacerse de manera preventiva.

El uso de las plantas repelentes permitió disminuir la infestación de la broca durante el periodo crítico en la plantación de café. Este comportamiento se atribuye a los compuestos volátiles emitidos por las plantas, los cuales evitaron la llegada de la broca que vuela de los cafetales vecinos como única fuente de inóculo, ya que con las recolecciones periódicas oportunas se evitaron los frutos brocados en el suelo.

A las plantas evaluadas se les marcó floración a finales de enero de 2016, de tal manera que se conocía el tiempo de desarrollo de los frutos, la primera evaluación de infestación de broca se realizó en abril de 2016, cuando los frutos tenían en promedio 80 días de desarrollo, a partir de la segunda evaluación, 120 días después de la floración, los frutos entraron en el periodo crítico para ser atacados por la broca del café.

Al comparar los promedios de porcentaje de infestación de broca en el interior de los tratamientos 2 y 3, ambos con *N. tabacum* y *L. camara*, se esperaba que presentaran valores similares e inferiores al control, sin embargo, en el tratamiento 3, el efecto de la mezcla de alcoholes fue tan efectiva para aumentar la infestación en el borde del lote, que también atrajo la broca al interior del lote, independientemente de que en este interior estuvieran presentes las plantas repelentes y las infestaciones superaron tanto en el borde como en el interior de los lotes al tratamiento control y al tratamiento 2.

Debido a esto, aunque el uso de la mezcla de alcoholes dentro de un programa de manejo puede ser promisorio para aumentar la atracción en una zona del cafetal donde se quiera concentrar la broca, es importante conocer el nivel de atracción de las bolsas de alcohol. Es pertinente realizar estudios para determinar la cantidad y distancia necesaria para que los alcoholes atraigan a

la broca, pero no afecte el interior del cafetal. Estudios de este tipo se han planteado para el manejo de plagas del orden Coleoptera, Werle (2016) evaluó trampas para capturas masales con alcoholes en el cultivo de árboles ornamentales en etapa de vivero que estaban siendo afectados por especies exóticas de escarabajos *Ambrosia* sp. (Coleoptera: Scolytinae), como parte atrayente de una estrategia push-pull, sin embargo, aun no presentan resultados de implementación.

Siguiendo los resultados del olfatometría y la información de la composición química de *E. sonchifolia* obtenida en el capítulo anterior, se esperaba que para el borde del tratamiento 2 se presentara un aumento en la infestación. Sin embargo, no se encontró efecto atrayente de *E. sonchifolia* en campo. Esto pudo deberse a la relación entre la cantidad de plantas de *E. sonchifolia* y las de café, la concentración de volátiles de una hilera de *E. sonchifolia* no fue suficiente para aumentar la atracción de la broca al café y así direccionarla.

N. tabacum y *L. camara*, son repelentes para la broca del café en las pruebas de olfatometría y aunque estadísticamente las pruebas de condiciones controladas campo solo mostraron efecto de *N. tabacum*, la utilización de ambas plantas, puede ser importante por el aumento de la diversidad funcional complementaria o redundante, puesto que la combinación de los compuestos volátiles que estas dos plantas emiten, mitigan contra la resistencia al sistema general de control de plagas debido a su naturaleza multigénica y evita una presión de selección por la presencia de un componente independiente en el caso de utilizar solo una planta (Pickett et al. 2014). En efecto, las condiciones climáticas durante el experimento afectaron la supervivencia de *N. tabacum*, durante la sequía esta fue atacado por lepidópteros y durante las lluvias sufrió pudrimiento del tallo. *L. camara* presentó un desarrollo sano y vigoroso durante todo el experimento, con abundante producción de flores y con porte similar de cuando se le encuentra en los potreros o lugares de barbecho.

Al inicio del experimento, la proporción entre *L. camara* y *N. tabacum* fue del 50% esta relación no se mantuvo a lo largo del experimento y al final una alta proporción de *N. tabacum* fueron reemplazadas por *L. camara*. Para los análisis, en los espacios vacíos en los que faltaron plantas acompañantes al interior de los tratamientos 2 y 3, no se tuvieron en cuenta los datos de las plantas de café que no contaban con plantas acompañantes.

Al no ceder espacio de árboles de café para la incorporación de las plantas repelentes, y que estas no proporcionen sombra por medio del manejo de podas a la altura del cafetal, la producción de café con plantas acompañantes fue similar a los cafetales vecinos en monocultivo. La duración del montaje de un año de producción (de cosecha a cosecha) no alcanza a evidenciar características agronómicas diferenciales en café por efecto de la implementación de las plantas acompañantes. Deberá evaluarse las posibles sinergias presentes en el sistema luego de un ciclo de producción del cafetal (5 años) a causa del aumento de la diversidad, que posiblemente aumentará la producción y calidad de café, debido al aumento de la materia orgánica en el suelo y al aumento en la polinización de sus flores.

Esta exploración nos permite avanzar en una estrategia de manejo agroecológica de la broca del café por medio de la utilización de plantas repelentes acompañantes en el cultivo.

3.3.3.3. Evaluación de plantas atrayentes y repelentes en parcelas en bloques

Para dilucidar el aporte individual de las plantas repelentes *N. tabacum* y *L. camara* al cafetal, esta prueba se realizó en un lote de café con manejo convencional de segundo año de producción. El montaje se realizó entre diciembre de 2016 y enero de 2017, para esta época las condiciones climáticas fueron de un año neutro, con temperaturas promedio de 19,7°C, mínima de 16,9°C y máxima de 25,7°C y una humedad relativa de 90,7%, con una mínima de 57,8% y una máxima de 100% (Plataforma agroclimática cafetera, 2016), razón por la cual el lote no ha presentado alta presión de broca, se muestra un buen crecimiento de las plantas acompañantes sembradas antes de la formación de los frutos, de tal manera que se entrega el sistema establecido.

3.4. PROPUESTA DE DISEÑO AGROECOLÓGICO FUNDAMENTADO EN LAS INTERACCIONES FUNCIONALES DEL SISTEMA PARA REDUCIR LA INCIDENCIA DE LA BROCA DEL CAFÉ

3.4.1. METODO

Con el fin de reestablecer los servicios ecológicos del agroecosistema de café para obtener una producción sana y sostenible para el caficultor, se planteó una propuesta de diseño agroecológico enfocado en el manejo de la broca del café, fundamentado en el aprovechamiento de la biodiversidad funcional. Para su desarrollo se partió de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, los cuales concluyeron que *L. camara* y *N. tabacum* ejercen una función repelente para la broca del café, que se encuentran adaptados a la zona cafetera colombiana y se pueden establecer exitosamente dentro de un cafetal en producción.

3.4.1.1. Esquema de la propuesta de diseño

Esta propuesta provee las bases a seguir para la implementación de un diseño con bases agroecológicas para el manejo de la broca del café. Se dividió en tres partes. Comienza con una caracterización del agroecosistema, donde se describe a nivel de paisaje hasta enfatizar en los subsistemas suelo, cultivo de café, plagas y enfermedades, reciclaje, el entorno, entradas y salidas, dándole importancia a entender cómo funciona el sistema y cómo la broca participa y se organiza en éste para interactuar con los demás elementos que lo conforman. Para realizar la caracterización del sistema se recopiló información de estudios anteriores realizados por Cenicafé, donde han caracterizado la zona y a los caficultores que trabajan en ella. Con esta información se definieron los indicadores locales para la zona cafetera colombiana y se diagnostica el riesgo del caficultor de presentar pérdidas a causa de la broca. Esto como punto de partida para orientar a los responsables de los programas operativos y a los productores en la toma de decisiones para el manejo de la broca del café bajo el enfoque holístico que busca la agroecología. La metodología utilizada fue el

diagnóstico de riesgo-vulnerabilidad desarrollada por Barrera et al. (2007, 2011) para sistemas de café en México, esta metodología se encuentra actualizada, es de fácil adopción y seguimiento, ha sido validada y se viene utilizando en diferentes escenarios como herramienta diáctica para la planeación de fincas resilientes a eventos de cambio climático en Colombia y otros países de América (Henaó et al. 2007), desde las cuales se proponen diseños y manejos (Nicholls et al. 2015).

La broca del café constituye la amenaza y cada caficultor presenta un grado de vulnerabilidad hacia sus daños y una capacidad de respuesta para evitarlos (ecuación 1.)

$$Riesgo = \frac{Amenaza + Vulnerabilidad}{Capacidad de respuesta y recuperación} \quad \text{Ecuación 1}$$

Cuando el valor del riesgo es bajo, se recomienda mantener las prácticas que se vienen realizando en la finca. Cuando se presenta desde un riesgo medio hasta uno muy alto, se propone realizar un rediseño del sistema. El rediseño es la segunda parte de la propuesta y define la composición, función y estructura espacio-temporal para establecer la diversidad funcional. Como componentes principales se propuso la utilización de *Lantana camara* y *Nicotiana tabacum*, arbustos que repelen la broca del café, como se comprobó en los capítulos anteriores, además de cumplir otras funciones ecológicas. Como tercera parte se estableció un plan de manejo, que pretende pautar prácticas culturales, de manejo del suelo y mantenimiento de la diversidad para un manejo agroecológico de la broca del café. En la figura 18 se muestra la ruta de la propuesta.

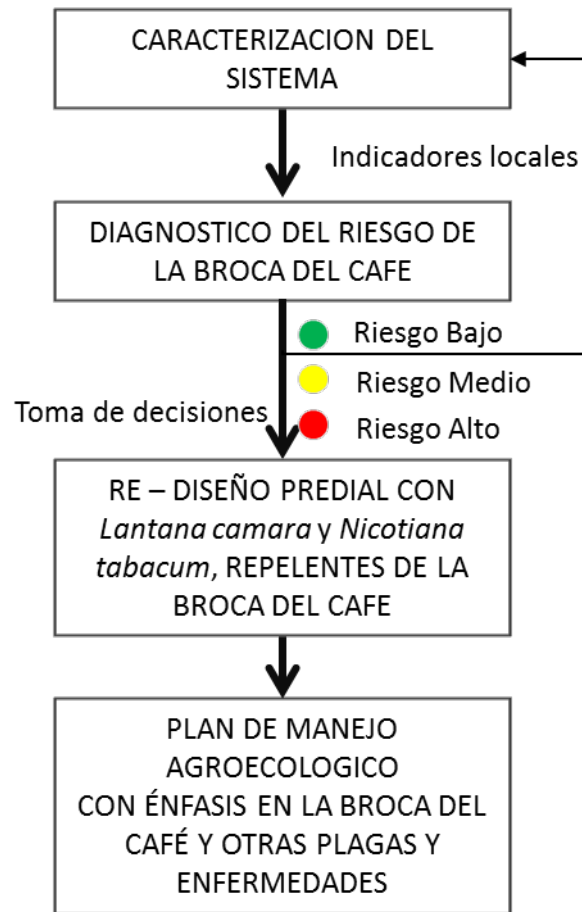


Figura 18. Ruta crítica para seguir un manejo agroecológico para la broca del café.

3.4.1.2. Caracterización del sistema

Zona de estudio

El Departamento de Caldas, situado en el centro occidente de la región andina de Colombia, se localiza entre las latitudes 05°46'51"N y 04°48'20"N y las longitudes 74°38'01"W y 75°55'45"W. Por su amplia tradición de producción de café es uno de los departamentos incluidos en la lista del Patrimonio mundial de la UNESCO como Paisaje Cultural Cafetero. El cultivo del café en este departamento representa el 49% de la actividad productiva, e involucra a 25 de los 27 municipios, cuentan con 80.701 hectáreas sembradas en café, 42.648 fincas cafeteras y 33.667 familias que derivan su sustento de este producto (Figura 19). Además del café, se produce plátano, que representa el 16.87% de

la actividad productiva y caña panelera, con un aporte del 7.72% (Plan Departamental de Desarrollo, 2016).

La economía cafetera de esta zona se caracteriza por tener un alto grado de heterogeneidad que, está determinado principalmente por diferencias en el tamaño y propiedad de la tierra, el grado de dependencia del productor del ingreso cafetero, la forma de explotación de la mano de obra, los sistemas de producción utilizados, la oferta ambiental y la adopción de tecnología. Basados en estos parámetros se han caracterizado los caficultores en tres tipos: minifundistas, campesinos y empresariales (Comité de Cafeteros de Caldas, 2017).

La mayor parte de los caficultores en Caldas se encuentran dentro de la categoría de minifundistas. En total son 20.718, que corresponde al 61.5%, viven en la finca y su nivel educativo es inferior a los 4 años de escolaridad. Dichos caficultores poseen 15.670 hectáreas en café y participan con el 19% de la producción de café pergamino seco de Caldas. El área promedio de sus fincas es de 0,75 hectáreas en café, por lo cual sus ingresos por concepto de café son en promedio inferiores a 1 salario mínimo legal mensual. Aunque son caficultores y dado el bajo tamaño de su predio, su principal fuente de ingresos proviene de otras actividades, principalmente la venta de mano de obra en fincas cafeteras vecinas de mayor tamaño y en empleo rural no agrícola. Para estos caficultores el objetivo es generar un ingreso de subsistencia para la familia. El nivel de adopción de tecnología de los minifundistas es limitado, determinado principalmente por los escasos recursos económicos con que cuenta. En cuanto a la fertilización de los cafetales, este tipo de caficultores utiliza principalmente fuentes de materia orgánica como pulpa y otros residuos de cosechas, el uso de fertilizantes químicos es bajo, el manejo de plagas y enfermedades se realiza a través de prácticas culturales como la recolección permanente de los frutos, especialmente en el manejo de la broca del café; con una utilización mínima de insumos químicos. En términos generales, son sistemas de producción con bajos niveles de tecnificación, con uso intensivo de mano de obra familiar. En la medida que se obtiene café pergamino seco, las ventas se realizan al precio que rija en el momento, pues no existe capacidad para almacenar, ni capacidad financiera para esperar y fijar precios más altos.

El proceso de beneficio de café se realiza de forma tradicional, fermentación natural del mucílago y predominio de secado al sol.

El segundo grupo lo conforman los caficultores de economía campesina, en el departamento de Caldas son 12.179 (es decir un 36.2%) y poseen 36.822 hectáreas en café. El tamaño promedio de los predios es de 3 ha por caficultor y alcanzan una participación del 48% en la producción de café del departamento. En su mayoría, dichos productores se caracterizan porque viven en la finca y ejercen directamente la administración de la misma; su nivel educativo es de 3,7 años. Sus ingresos por concepto de café son iguales o levemente superiores en promedio a 1 salario mínimo mensual legal. La mano de obra necesaria para el desarrollo de la actividad productiva cafetera la aporta el caficultor y su familia, únicamente requieren contratación de mano de obra en épocas de cosecha y ocasionalmente venden su mano de obra o la de miembros de su familia en fincas de economía empresarial. El esfuerzo para la producción de café de excelente calidad y la implementación de prácticas sostenibles (económico, social, ambiental) en el proceso, facilitan su participación en la producción de cafés especiales como: Cafés de origen (Estate, regional, exótico) y cafés sostenibles (Utz certified, Rainforest Alliance, Nespresso, Orgánico, Comercio Justo, C.A.F.E. Practices y 4C). Además, realizan un manejo integrado para la broca del café, a través de un manejo cultural con uso limitado de insumos químicos. Dichos caficultores han avanzado en la implementación de prácticas para el beneficio ecológico de café, con consumos de agua inferiores o iguales 5 litros por kilogramo de café pergamino seco beneficiado. En el proceso de secado del café, prima el uso de energía solar combinado en algunos casos con secado mecánico empleando combustibles como carbón, cisco de café, diesel y ACPM.

Los caficultores empresariales son 770 en Caldas, representan el 2.3%, se caracterizan porque no viven en la finca y, por lo tanto, su administración es comúnmente delegada en un mayordomo o administrador y en ocasiones un asistente técnico particular. En total poseen 19.875 hectáreas en café, el tamaño promedio de los predios es de 25.8 hectáreas por caficultor y participan en total con un 33% de la producción del departamento. Su nivel de escolaridad promedio es de 11 años y en muchos casos, tienen formación profesional. Son generadores de empleo rural con gran demanda de mano de obra externa. Sus

fincas son intensivas en capital y con un uso importante de insumos agrícolas. La finca es considerada una inversión y cuentan con una visión empresarial cuyo objetivo principal es la maximización de las utilidades. Este segmento de la caficultura se caracteriza por el uso intensivo de los factores de producción: Acceso a capitales de trabajo y altos niveles de tecnificación en los cultivos, densidades de siembra de 6.700 árboles por hectárea; uso de variedades mejoradas, de porte bajo, ciclos de renovación por quintas partes que garantizan estabilización de la producción y una edad de los cafetales inferior a 4 años; realizan el manejo integrado de arvenses, plagas y enfermedades. En la medida que el cultivo lo permite, algunas labores son abordadas con uso de equipos mecánicos, como: equipos de aspersión motorizados, guadañas para el manejo de arvenses combinados con aplicaciones de herbicidas, secado mecánico del café con empleo de combustibles como diesel, carbón y especialmente cisco de café. Utilizan registros, análisis de información financiera y de riesgos, la planeación a mediano y largo plazo y el uso de diferentes mecanismos de coberturas de precios y fijaciones futuras de algunos volúmenes de producción en la comercialización del café. Estos caficultores estructuran sus sistemas de producción, buscando mayor productividad a través de la adopción de buena parte de la tecnología disponible y mayor competitividad.

En el departamento, el 78% del área total sembrada en café es tecnificada con variedades resistentes a roya. La densidad promedio de árboles por hectárea es de 5.623 y la edad promedio de la caficultura es de 5.4 años (Comité de Cafeteros de Caldas, 2017).

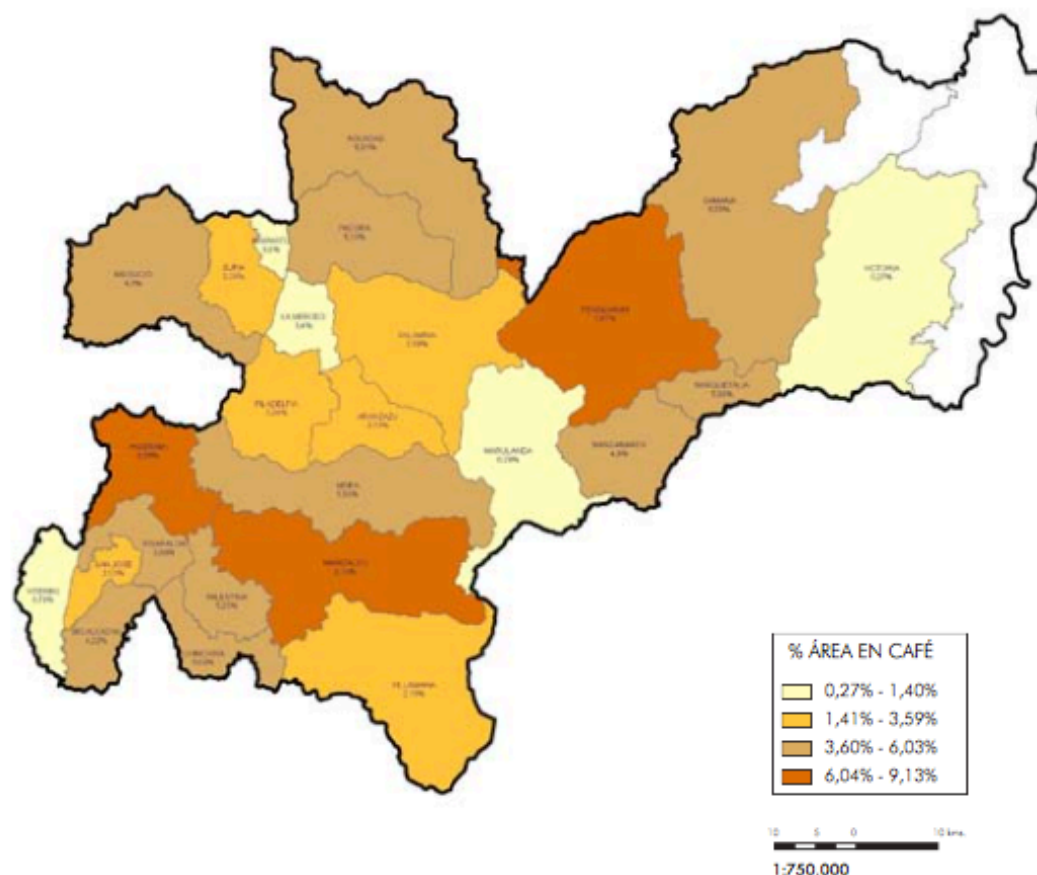
El municipio de Chinchiná, ubicado al sur del departamento de Caldas, limita por el norte con Manizales y Palestina; al sur con Santa Rosa de Cabal, al oriente con Villamaría y al occidente con Marsella y Risaralda. Tiene una extensión territorial de 112,5 kilómetros (11.128.5457 de hectáreas), queda a 21 kilómetros de la capital del departamento Manizales. Cuenta con cerca de 54.000 habitantes y una población temporal flotante aproximada de 15.000 personas más que, durante un cuarto de cada año, se ocupan en la recolección de la cosecha cafetera. Comprende altitudes desde los 900 hasta los 2.000 msnm, la precipitación varía entre 2.000 y 4.000 mm al año., excediendo la

lluvia a la evapotranspiración por lo que cuenta con una alta humedad. El remanente de agua es importante para el caudal de quebradas y ríos en la zona, siendo notorio el incremento de las lluvias en las zonas más altas. La temperatura promedio se encuentra entre 19 y 23°C (Guzmán, 2010) y el brillo solar medio es de 1.700 a 2.000 horas de brillos solar al año (Anexo 5).

El municipio de Chinchiná aporta el 6% de la producción de café del departamento, es el cuarto productor con 4.854 hectáreas, después de Pensilvania, Anserma y Manizales. El área promedio de la unidad de producción agropecuaria es de 8.8 hectáreas. De las cuales el 73% se encuentran sembradas en café, las demás, en productos de diversificación como frutales, pastos, cítricos, plátano, aguacate, hortalizas y otros (Plan de Desarrollo del Municipio de Chinchiná - 2012 – 2015). El tipo de suelo está denominado como unidad Chinchiná, cuyo material parental son Cenizas volcánicas. La ceniza es de características ácidas y de grano medio. Los suelos se caracterizan por presentar un horizonte A de profundidad variable, generalmente con un espesor que supera los 100 cm y su coloración varía desde pardo oscuro a negro, la textura es franco limosa o franco arenosa estructura tipo migajosa. El segundo horizonte es el transicional tipo AB con textura y estructura similar al superficial y por debajo de este se manifiesta un horizonte B pardo amarillento bien estructurado, poroso y muy profundo (usualmente >100 cm) en el cual se presentan Krotovinas, que constituyen un indicador de buenas condiciones físicas. Los suelos de la unidad Chinchiná se caracterizan por presentar una elevada capacidad para almacenar agua, lo cual permite que los cultivos dispongan de un abastecimiento suficiente aun en periodos marcados de verano. Su condición química es la de un andisol típico, dado que la materia orgánica y la retención de fosfatos es bastante elevada. El nivel de potasio puede encontrarse en un tenor de mediano a bajo, mientras que el de calcio y magnesio tiende a disminuir conforme aumenta la pluviosidad de la zona. Desde el punto de vista físico, son suelos livianos, de baja densidad aparente (<0,8 g.cm-3) y alta porosidad (González & Salamanca 2014).

Se escogió esta zona de estudio por que es la zona donde se han realizado los experimentos referentes a la repelencia y atracción de broca del café en este trabajo y abarca una gran variedad de climas y pisos térmicos; si bien luego de

un estudio de validación, esta propuesta se podrá implementar en lugares cafeteros del mundo con condiciones similares.



Fuente: Cartografía I.G.A.C. Escala 1:100.000 | Sistema de Información Cafetero SIC@ WEB a diciembre 31 de 2011
Elaborado por: GERENCIA TÉCNICA | Oficina de Estudios y Proyectos Básicos Cafeteros/miás

© Copyright FNC 2012

Figura 19. Mapa del departamento de Caldas. Se describe el porcentaje de área sembrada en café de los 25 municipios cafeteros. (Tomado de Informe de gestión Comités Departamentales 2011).

3.4.2. RESULTADOS

Para el lugar de estudio escogido para la validación, se definen las variables según las condiciones del sistema y se priorizan, a las influyentes se le dan valores cualitativos o cuantitativos, de acuerdo a su efecto sobre la broca del café y se aplica la ecuación del riesgo, anteriormente descrita (Barrera et al., 2007; Altieri et al., 2012, 2015, Henao 2013).

3.4.2.1. Definición de indicadores que afectan la broca del café en Colombia

A partir de la caracterización se pueden definir los indicadores correspondientes a factores o procesos sociales, culturales, ambientales y técnicos, que por separado o en conjunto pueden tener un efecto sobre la broca del café. Se determinaron los indicadores influyentes para las variables de amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta, a partir de la lista propuesta por Barrera et al. (2007), definidos a partir de los problemas más comunes asociados a los productores de café en México. Cada uno de los indicadores se definió dentro del contexto colombiano y se escogieron los de mayor influencia, guiados por los soportes técnicos relacionados directa e indirectamente con la incidencia y manejo de la broca del café para la zona cafetera colombiana. Se determinó cuáles de ellos son pertinente y cuáles no, para realizar el diagnóstico de riesgo.

Amenaza

La amenaza está dada por dos indicadores:

- a. **Infestación por broca del café:** El nivel de abundancia de la población de brocas se encuentra regida principalmente por el ambiente, para los factores de: **clima**, particularmente la frecuencia de presentarse un fenómeno de El Niño y la disponibilidad de **alimento**, que hace referencia a la concentración de frutos de café maduros, que como se indicó al inicio de este capítulo, están presentes durante todo el año.

- b. **Infestación del cafetal vecino:** Tener en cuenta este aspecto, evidencia el efecto de la matriz paisajística en la que se encuentra inmerso el cafetal (Barrera et al. 2007), dando valor a paisajes complejos y cercanías a bosques o cultivos diversificados y bordes con cercas vivas que ayuden a aislar el cafetal, evidenciando mayor vulnerabilidad a paisajes simples donde el vecino cultiva café en monocultivo y realiza prácticas inadecuadas.

Vulnerabilidad

Los indicadores de vulnerabilidad en las que se encuentra el caficultor son:

a. **Altitud y temperatura promedio a la que se encuentra el cafetal:**

Este indicador es el más influyente en la vulnerabilidad a la broca del café, tiene un efecto directo en el cultivo, en cultivos adyacentes y en el manejo de la finca (Bustillo, 2006) principalmente afecta el tiempo de desarrollo y distribución de los insectos, con riesgo de volverse plagas. Como se enfatizó en el capítulo introductorio, en cafetales ubicados en zonas bajas (1200 a 1300 m.s.n.m.), con temperaturas medias superiores a 21°C, la broca aumenta la tasa de reproducción más que en cafetales por encima de 1600 m.s.n.m., con temperaturas medias por debajo de 20°C. De igual manera influye la humedad relativa, que por debajo del 60%, a 25°C causa la salida de un gran número de adultos de los frutos de café. Sin embargo, la emergencia de la broca es mínima cuando la humedad relativa se encuentra por encima del 90%. Además, año a año varía la dinámica de infestación de la broca por los efectos de El Niño, o La Niña. La diferencia de temperatura es de 1,5–2°C, medida suficiente para incrementar el porcentaje de infestación en los árboles de café, de un 5% de infestación durante un periodo La Niña, hasta un 30%-40% de infestación durante un periodo El Niño, en una localidad a 1.218 m de altitud, mientras que, en una zona de 1.700 m, el nivel de infestación permanece por debajo del 5% (Constantino 2010).

b. **El precio del café:** La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia ofrece a todos los cafeteros la garantía de compra, mediante la publicación de un precio base de mercado que se calcula de acuerdo con la cotización de cierre en la Bolsa de Nueva York del día, la tasa de cambio del día y el diferencial o prima de referencia para el café colombiano. El precio externo es impredecible. De lo que va corrido del 2017 se encuentra en promedio a 1,37 dólar por libra. En 1977 alcanzó la cifra de 2,37 dólares la libra; más adelante, en 1993 bajó a 50 centavos de dólar y para el 2011 volvió a subir 2,38. En los últimos tres años ha variado de 1,74 para el 2014, a 1,19 en el 2015 y 1,39 para el 2016 (ICO 2017). El precio interno, que es la base de compra del Fondo Nacional del Café en Colombia, ha variado de igual manera, por una carga de 125 Kg. de café pergamino seco durante lo que va del 2017 se

paga en promedio \$755.814 pesos, la del 2016 estuvo a \$829.665 pesos ya con el nuevo sistema de compra por factor de rendimiento, como se explicó en el capítulo introductorio. En el 2015 se pagaba un incentivo por calidad, entre lo que se incluía daño por broca, para ese año se pagó la carga a \$716.254 pesos y un incentivo de \$42 pesos por Kg; en el 2013 bajó a \$466.408 y el incentivo subió a \$53 pesos, pero en el 2011 llegó a \$975.711 pesos, con el mismo incentivo de \$53 pesos por calidad (FNC 2016). La volatilidad del precio del café es un indicador de vulnerabilidad para el sistema de café en general. Parece estar muy alejado de la broca del café, pero un buen precio del café, permitirá poder tomar decisiones a la hora de invertir en el manejo, o de cómo responder por medio de diferentes canales de comercialización que mejoran o fijan el precio.

c. **La estrategia que dispongan para manejar la broca del café:**

Actualmente, el manejo de la broca del café se basa en las recomendaciones del programa MIP, en particular en las recolecciones oportunas de frutos maduros cada 15-18 días, en recolecciones sanitarias de frutos secos hacia el final de las cosechas (traviesa y principal) y en la aplicación de insumos. Cumpliendo con las recolecciones, las infestaciones por broca permanecen bajas durante la mayor parte del tiempo, con valores inferiores a 4% en campo y 1,8% en el café pergamino seco vendido. Si no se realiza esta práctica las infestaciones aumentan considerablemente. En general, la infestación por broca es significativamente menor en lotes que realizan controles por medio de estas prácticas culturales, que en lotes que no siguen esta recomendación a partir del segundo año de producción del cafetal (Benavides & Arévalo 2002). Una buena recolección permite un máximo de cinco frutos maduros por árbol después de un pase de cosecha (Díaz y Marín 1999). Esto se ha comprobado satisfactoriamente en estudios de investigación participativa con caficultores (Aristizábal *et al.* 2004). Sin embargo, la adopción se ve limitada por factores económicos y de obtención de mano de obra. Por tanto, este es un indicador importante con respecto a la posibilidad de realizar oportunamente esta práctica.

d. **Prácticas e incidencia de broca de los cafetales vecinos:** Las

prácticas que realiza el vecino, en cuanto a la periodicidad de las recolecciones oportunas y recolección sanitaria antes del zoqueo (Castaño et al. 2005), mantenimiento de cafetales envejecidos y aplicaciones de insecticidas afectarán los bordes del cafetal en cuestión.

Los siguientes cuatro indicadores propuestos por Barrera et al. (2007) se definieron dentro del contexto colombiano, sin embargo, estos evalúan criterios que ya se tuvieron en cuenta en los indicadores escogidos o no influyen en la incidencia de broca en el cafetal; se describen en este documento para justificar el criterio de selección.

- **La cantidad del grano de café que producen:** La productividad promedio de la caficultura de Caldas es de 17, 7 sacos de 60 Kg por hectárea. Para 2015 las expectativas de compra de café por parte de las Cooperativas de Caficultores de Caldas fueron establecidas en 48,2 millones de Kg de c.p.s., de los cuales se compraron 60,1 millones de kg, equivalente a un cumplimiento del 165,16%. Hay que tener en cuenta que la productividad es variable año tras año, debido al momento de renovación, las condiciones climáticas, entre otras. Sin embargo, al revisar el histórico de 50 años del volumen producido en Colombia (FNC 2016), se encuentra que este valor ha sido promedio de productividad en años anteriores y se sigue la tendencia que, en los años que se produce más café, el precio es bajo y en los años que se produce menos el precio es más alto, el diferencial está entonces, en el precio del café que se produce.
- **La calidad del grano de café que se vende:** Entre mejor calidad de café se produzca, el ingreso para el caficultor será mayor. Cuando el caficultor tiene la capacidad de producir un alto porcentaje de su cosecha de café Excelso, tipo exportación, que cumple con los requerimientos estándar de calidad (Resolución No. 5 del 2002 del Comité de cafeteros de Colombia), que hacen referencia al tamaño de los granos, contenido de humedad y análisis de taza que garantiza la ausencia de defectos, entre ellos, daño por broca del café, contará con la denominación “100% café colombiano suave arábico lavado”, este es el café que se comercializa en la Federación de Cafeteros. Sin embargo,

para lograr una alta calidad del café, también aporta el origen, los procesos de producción, cosecha y post cosecha; estos cafés obtienen un precio superior, dependiendo del canal de comercialización que se utilice. Cuando se producen un alto porcentaje de café de baja calidad, con más del 50% de granos defectuosos, entre ellos, un alto porcentaje de brocados, se comercializan como cafés industrializados, para producir cafés liofilizados, extractos de café para encapsular, instantáneos y cafés tostados de marcas propias que, cuentan con pequeños nichos en el exterior y son mezclados con cafés robustas o se utilizan para consumo nacional, estos son los conocido como café pasilla o segundas, por lo que se recibe alrededor de la mitad de precio, en comparación con el de café Excelso, que oscila entre \$6.900 y \$6.200 kg/c.p.s., para factores de rendimiento de 90 y 98, respectivamente y las pasillas \$3.200 kg /c.p.s., con un factor de rendimiento superior a 120⁴. (FNC 2017). Esta variable refleja la vulnerabilidad de la producción del caficultor, en la medida que el caficultor recibe algún valor económico por su calidad, pero también algo por su pérdida. Esta variable está contemplada en el indicador de vulnerabilidad de precio.

- **Tipo de sistema productivo:** En general, los sistemas productivos de café en Colombia se encuentran simplificado en dos formas, siembra bajo sombra o a libre exposición solar. De las 931 mil hectáreas sembradas en café en el país, 509 mil se encuentran a libre exposición bajo un sistema tecnificado⁵, con variedades mejoras como Castillo y Colombia resistentes a roya, y en menor proporción var. Caturra, mientras que las 422 mil hectáreas restantes aprovechan la sombra en: sistemas tradicionales⁶ (55 mil ha.) con variedades Típica, Borbón, Tabi y Caturra, sistemas envejecidos⁷ (171 mil ha.) con la var. Caturra, y sistemas tecnificados con sombra (196 mil ha.) generalmente con var. Caturra (FNC 2012, ICO 2013). Sin embargo, para cada uno de estos

⁴ El factor de rendimiento es la cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café Excelso, una vez se llena el saco, el sobrante se vende como pasilla (FNC 2017).

⁵ Sistema que realiza renovaciones del cafetal a los 4-9 años de sembrados, utiliza variedades resistentes a roya sembradas a densidades superiores de 7.500 árboles por ha.

⁶ Siembra de variedades típica sin trazo y en densidades menores a 2.500 árboles por ha.

⁷ Cafetales de más de 9-12 años de edad, sembrados en densidades de 3.500 a 4.500 árboles por ha.

sistemas no se ha comparado la incidencia de broca. Perfecto et al. (2010) describen que tanto los sistemas de producción de monocultivo de café convencional como monocultivo de café orgánico presentan una gran susceptibilidad a la broca del café y una fuerte amenaza de aparición de otras plagas. Por su parte, en las comparaciones entre cafetales tecnificados con sombra y a libre exposición solar, los resultados parecen encontrarse ligados a la zona geográfica en la que esté ubicado el cafetal y al microclima que se genere en el interior, aunque los resultados son contradictorios, se presume que la broca sea un insecto adaptado a las condiciones de sombra, lo cual se ha comprobado en cafetales en América (Baker 1984), sin embargo, en cafetales a libre exposición, plantados en altas densidades de las variedades Caturra y Castillo, se produce un autosombra que favorece el ataque de la broca, (Bustillo et al. 2006). Al no contar con una descripción sistematizada de los diferentes sistemas cafeteros con respecto a la broca, no hay suficiente información para concluir que la diferencia en la infestación de broca se relaciona con diferencias en los sistemas de producción, por tanto, no puede contar como indicador.

- **Costos del manejo de broca:** En la estructura de costos para la zona central cafetera de Colombia, se estipula que el manejo de la broca corresponde entre el 9% y 10,45% del costo de producción (Duque et al. 2002, Benavides y Arévalo 2002). El 90% correspondió a mano de obra, el 10% restante a los insumos químicos u orgánicos utilizados para su control. En el estudio, incrementaron el costo de la mano de obra destinada al manejo de broca en 5, 10 y 20% y no aumentó el margen bruto por hectárea, costo variable unitario por producción y punto de equilibrio por hectárea. Demostrando que aunque el manejo implica una inversión importante, debido a la baja participación de los costos de manejo de broca en la estructura general de la finca, estos aumentos no son significativos en el desempeño económico de la misma. Pero no hacerlo, si genera menores ingresos por pérdidas en calidad. Por el contrario, para las labores de recolección de la cosecha, si se invierte en promedio 45% del costo total de producción en mano de obra y en labores culturales como fertilización y limpias hasta 16%. Entonces, el

indicador sería realizar el manejo de broca, el cual ya se encuentra abarcado en los indicadores escogidos.

- **Acceso a mano de obra:** El costo de la mano de obra para la recolección de café depende de varios factores, entre ellos la oferta de frutos maduros, la edad del cafetal, la cercanía de la finca a la cabecera municipal, el trato en la finca (alimentación, alojamiento, entre otros) y la disponibilidad de la mano de obra, que representa del 35 al 40% de los costos totales de producción (Duque & Chaves, 2002). El tipo de contratación al que se pueda acceder para obtener mano de obra influye en la calidad de las recolecciones, particularmente en las oportunas, donde no se presentan picos de cosecha. Quien logra pagar y conseguir recolecciones cada 15-18 días, se verá beneficiado respecto a la infestación de broca, de quien lo realice en un tiempo más espaciado de 25-28 días, lo cual representa la oportunidad de contar con estrategias de manejo de la broca, este indicador ya se describió y se tiene en cuenta en el listado anterior.

Capacidad de respuesta

Los indicadores que permiten evidenciar si el caficultor cuenta con la capacidad de responder y de recuperarse frente a altas infestaciones de broca del café, están dadas por:

- a. **Los canales de comercialización que utiliza:** Dentro de las posibilidades de comercialización, algunos caficultores decidieron unirse a los programas de comercialización de cafés especiales que apoya la Federación de Cafeteros. En Caldas hay 19.827 fincas, en 48.357 hectáreas de cafés especiales, dentro de las que se encuentran cafés de origen exótico y los cafés sostenibles, de Comercio Justo, Nespresso AAA, Orgánico, Utz, Rainforest Alliance, C.A.F.E. Practices y 4C. Estos cafés cuentan con un valor agregado y ayudan en la comercialización del café certificado. Es importante la remuneración diferencial competitiva vía sobreprecio o bonificación en el precio que se espera recibir al momento de vender su producto (Serna et al., 2010). Participando de estas y otras iniciativas se puede acceder a distintos

canales de comercialización, escoger el precio de su café y escoger el mejor comprador (Comité de Caldas, 2017). Este indicador refleja una de las alternativas económicas para hacer más rentable el cafetal.

- b. **La capacidad para organizarse:** La formación de grupos, asociaciones, cooperativas, entre otros, funciona para el agricultor en la adopción de prácticas agrarias, pagos colectivos de certificaciones, préstamo de maquinarias, ayuda en la comercialización y mantenimiento de la conectividad de los cafeteros que comparten un territorio o un mismo sistema de producción (FNC, 2017). Lo anterior, permite la difusión de las tecnologías apropiadas, construye capital humano, moviliza recursos y fomenta el acceso al poder a través de la participación en el desarrollo comunitario local y en la toma de decisiones sobre el territorio (Altieri *et al.* 2011, Nicholls *et al.* 2015). En Colombia, las cooperativas que hacen parte de la Federación de Cafeteros son las encargadas de incentivar las primas sociales, con las cuales realizan inversiones de impacto social y ambiental, contribuyendo al bienestar integral de los caficultores miembros y de sus familias. Adicionalmente, fomentan el aprendizaje horizontal de las experiencias de cada uno de sus miembros y contribuye a la formación de una visión integral de la actividad cafetera. Además, apoyan la diversificación de ingresos, gracia a la ampliación de actividades agropecuarias (Serna *et al.*, 2010). Los caficultores que cuentan con la capacidad para organizarse y participar activamente cuentan con más herramientas para prevenir, afrontar y recuperarse de los problemas que se presenten en la finca, incluidos los que causa la broca del café.
- c. **El apoyo en capacitación y asistencia técnica:** Toda acción de manejo debe estar relacionada con la situación de la broca en el cafetal, en gran parte, el éxito dependerá del grado de conocimiento que se tenga de su desarrollo y comportamiento en el campo. Prácticas como registrar las floraciones, estimar el porcentaje de broca en campo y análisis de la posición del insecto en el fruto en el momento de la penetración, permitirán conocer las épocas críticas de ataque de broca y el momento adecuado para realizar las recolecciones de café (Benavides *et al.*, 2003). Además, conocer la necesidad de una

fertilización adecuada según la condición del suelo de la finca y los requerimientos de la planta y entender las necesidades de luminosidad para evitar el surgimiento de plagas serán clave para la sanidad del cafetal. Por tanto, los caficultores que tienen acceso a los cursos y asesorías y aprovechan el servicio de extensión, contarán con más herramientas para la toma de decisiones y estarán atentos a las alertas tempranas de infestación por broca. Chinchiná es un municipio privilegiado en este aspecto, por su cercanía a la cabecera municipal y al Centro de investigaciones en café, donde se realiza continuamente estas convocatorias (Cenicafe, 2017).

- d. **La diversificación con la que cuente al interior del cafetal y como parte del paisaje:** Conservar la biodiversidad permite promover los procesos naturales de regulación, pero también, no depender solo del café. La diversificación y complejidad de los sistemas se produce en muchas formas: desde la diversidad intraespecífica, como en mezclas de variedades, en policultivos, en diferentes escalas dentro del campo y del paisaje, como pueden ser los sistemas agroforestales, la integración entre cultivos y ganado, corredores, entre otros. Los agricultores cuentan con una amplia gama de opciones y combinaciones para la implementación de esta estrategia según las condiciones climáticas, económicas, sociales y productivas de cada finca. Las propiedades ecológicas emergentes se desarrollan en agroecosistemas diversificados que permiten que el sistema funcione de manera que mantiene un microclima constante, fertilidad del suelo, producción de cultivos y regulación de plagas (Altieri et al., 2015). Cafetales con diversidad funcional, que produzcan alimentos o un recurso económico secundario, estarán mejor preparados cuando la producción de café sea escasa, o presenten alta infestación de broca por cambios extremos del clima.
- e. **El manejo del suelo que realice en el cafetal:** Cubrir el suelo es una práctica para la conservación de suelos y aguas dentro de los sistemas productivos de café en Colombia, porque disminuyen la escorrentía, la percolación, disipan la energía de las gotas de lluvia y reducen la erosión del suelo (Gómez & Rivera, 1993). En los suelos desnudos, las pérdidas de suelo por erosión alcanzan niveles de 7,6 t/ha/año. Cuando

las desyerbas se realizan con azadón las pérdidas son mayores a 2,7 t/ha/año, pues se remueve y desintegra el suelo superficial; cuando se utiliza adecuadamente el machete sin desnudar el suelo, las pérdidas por erosión son de 0,043 t/ha/año, las cuales son consideradas muy bajas (Gómez, 1990). Por otra parte, mantener la cobertura vegetal reduce el desarrollo de la broca en los frutos caídos, por la alta humedad que se produce en el suelo cubierto (Vázquez 2012). Los cafetales que cuentan con una cubierta densa y permanente de plantas que tienen sistemas radicales superficiales y de poca competencia con el cultivo, serán menos vulnerables a los brotes de broca en los frutos del suelo, que los que mantengan el suelo desnudo.

3.4.2.2. Diagnóstico del riesgo de presentar pérdidas a causa de la broca del café

Con la definición de los indicadores que conforman la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta, la ecuación del riesgo para esta propuesta es (Tabla 6):

Tabla 5. Indicadores que participan en la definición del riesgo que representa la broca del café para los caficultores (Modificado de Barrera et al. 2007).

Riesgo =	Amenaza, broca del café	+	Vulnerabilidad
	<ul style="list-style-type: none"> a. Infestación del predio b. Infestación del predio vecino 		<ul style="list-style-type: none"> a. Altitud y temperatura del predio b. Precio de venta c. Disponibilidad de estrategias de manejo d. Prácticas de los cafetales vecinos
Capacidad de respuesta y recuperación del caficultor			
	<ul style="list-style-type: none"> a. Canales de comercialización b. Capacidad de organización c. Participación en capacitación y asistencia técnica d. Diversidad funcional en el cultivo e. Manejo del suelo en el cafetal 		

Para darle valores cualitativos a los indicadores del estado actual de la finca con respecto al riesgo de presentar pérdidas a causa de la broca, se desarrolló una tabla guía (Tabla 7), utilizando un sistema de semáforos en el que los agricultores pueden clasificar cada indicador como rojo (alto riesgo), amarillo (riesgo medio,) o verde (riesgo bajo,) de acuerdo a la situación particular observada (Henao 2013). Lo relevante del sistema de semáforo es que la tabla

guía referente a la capacidad de respuesta, permite reconocer en qué estado (color) se encuentra cada indicador y que acciones tomar para pasar del color rojo al amarillo y del amarillo al verde, así, se identifican las medidas o prácticas para incrementar la resiliencia del sistema simplificado a uno más complejo contra posibles ataques de la broca del café.

Tabla 6. Guía de valoración del estado de la vulnerabilidad al ataque de la broca del café y la capacidad de respuesta del caficultor. Sistema semáforo donde, rojo = alta vulnerabilidad, amarillo = vulnerabilidad media y verde = baja vulnerabilidad o alta resiliencia

INDICADOR	ESTADO		
AMENAZA	Verde (0-20)	Amarillo (40-60)	Rojo (80-100)
Infestación de broca en el predio	<2%	2-10%	>11%
Infestación del predio vecino	<2%	2-10%	>11%
VULNERABILIDAD	Verde (0-20)	Amarillo (40-60)	Rojo (80-100)
a. Altitud y temperatura del predio	>1.600	1.300-1.600	1.200-1.300
b. Precio del café	Precio estable ¹	Precio alto ¹	Precio bajo ¹
c. Disponibilidad de estrategias de manejo	Recolección oportuna cada 15-18 días	Recolección oportuna cada 18-25 días	Recolección más de cada 25 días
d. Prácticas de los cafetales vecinos	No hay vecindad con cafetales	Cumple con las prácticas MIB	Café abandonado o zoqueado
CAPACIDAD DE RESPUESTA	Verde (100-80)	Amarillo (60-40)	Rojo (20-0)
a. Canales de comercialización	Café Especial con alto valor agregado	Escoge el momento y a quien vende	Venta al día
b. Capacidad de organización	Participa activamente y obtiene beneficios	No participa activamente	No hace parte de la organización
c. Participación en capacitación y asesoría técnica	Interioriza y pone en práctica	Participa de algunos cursos	No participa o practica
d. Diversidad funcional en el cultivo	Policultivo / S. agroforestales	Cultivos intercalados	Monocultivo
e. Manejo de suelos en el cafetal	Cobertura	Selección arvenses	Suelo limpio

¹Precio del día respecto al precio histórico

Estos valores pueden representarse de manera detallada por medio de un triángulo de riesgo, descrito por Barrera et al. (2011). Cada lado del triángulo representa el eje para cada una de las variables: amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta. Para la representación, los valores cualitativos de los

indicadores que conforman las tres variables se deben convertir en valores numéricos en una escala de 1 a 100, seguido de un análisis factorial independiente para obtener los pesos o influencias de cada indicador. Se obtiene el valor numérico por su peso y se suma el resultado de los indicadores que conforman la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta para obtener un valor por variable, para obtener la participación de cada variable, estos resultados se convierten en porcentaje y se ubican en el triángulo del riesgo. El punto de convergencia entre los tres ejes indica el valor riesgo. El triángulo se encuentra dividido en zonas por colores con diferentes intensidades, que permiten identificar el nivel de riesgo, los más fuertes representan mayor riesgo de presentar broca, los pálidos representan sistemas más resilientes. En esta gráfica se pueden representar uno o varios sistemas para comparar las situaciones actuales o durante un tiempo determinado.

Partiendo del nivel de riesgo que se encuentre la finca se pueden tomar decisiones en cuanto al manejo de la broca del café. Si el riesgo es medio, alto o muy alto se recomienda la implementación de esta propuesta, que permitirá aumentar la capacidad de respuesta del caficultor para disminuir el riesgo de presentar pérdidas a causa de la broca del café. A largo plazo, este diseño debe contribuir al aumento de la resiliencia de la finca.

3.4.2.3. Rediseño del sistema predial cafetero

El rediseño del predio debe ir acorde con las necesidades y posibilidades del caficultor y siguiendo las etapas de la conversión agroecológicas. Se inició con la definición de los elementos que componen el diseño, su participación o multifuncionalidad dentro del sistema y la estructura, que nos indica la distribución en el tiempo y el espacio.

Composición del diseño

Buscando reducir la vulnerabilidad de la broca del café, se propone la utilización de las plantas repelentes para este insecto.

– Lantana camara

Orden: Lamiales; Familia: Verbenaceae; Género: *Lantana*; Especie: *L. camara*. *Lantana camara* es un arbusto bajo, erguido y vigoroso, que crece entre 1,2 – 2,4m; su sistema radicular es fuerte, poco desarrollado en profundidad y sus ramificaciones laterales alcanzan un diámetro de 50 cm. Sus hojas son opuestas, con pecíolos de 3 a 12 mm de longitud, con o sin pelos, láminas

ovadas a oblongo-ovadas, de 2 a 12 cm de longitud y de 0.5 a 6 cm de ancho, cordada u obtusa, margen crenado, con dientes redondeados-aserrado, con pelos en ambas superficies, el envés en ocasiones sin pelos. Su inflorescencia es en forma de cabezuela de 0.5 a 3 cm de diámetro, pedúnculos de 2 a 14 cm de longitud, brácteas lineares u oblongo-lanceoladas, de 3 a 7 mm de longitud, con pelos rectos de base redondeada; con flores pequeñas, generalmente naranja, a veces variando de blanco a rojo en varios tonos y con garganta amarilla, en cabezas axilares, casi todo el año y da una nueva descarga de brotes incluso después de repetidos cortes. La coloración amarilla es conocida por ser una señal visual para insectos polinizadores y el acto de polinización puede estimular el cambio de color (Day et al., 2003). Su fruto es pequeño, azul verdoso negro, drupáceo, brillante, con dos nueces, casi todo el año, de aproximadamente 3 mm de diámetro, jugoso y carnosos. Es dispersado por pájaros y sus semillas germinan muy fácilmente (Rzedowski & Rzedowski, 2001).

Lantana es originaria de Centroamérica, su diversa y amplia distribución geográfica es un reflejo de sus amplias tolerancias ecológicas. Ocurre en diversos hábitats y en una variedad de tipos de suelos. Por lo general, crece mejor en ambientes abiertos y sin sombra, como las tierras baldías, los bordes de la selva tropical, los bosques en sucesión, que se recuperan de incendios o de talas y áreas perturbadas, como carreteras y vías férreas (Global Invasive Species, 2017). Crece sobre ricos suelos volcánicos, en altitudes desde el nivel del mar hasta los 2000 m. Puede tolerar cierta sombra, creciendo en plantaciones y bosques abiertos (Day et al., 2003). *Lantana* crece bajo una amplia gama de condiciones climáticas. No parece tener un límite superior de temperatura o de lluvia y se encuentra a menudo en áreas tropicales que reciben 3000 mm de lluvia por año, siempre y cuando los suelos estén suficientemente drenados. Algunas variedades pueden soportar heladas menores, siempre y cuando no sean frecuentes (Day et al., 2003). Estas condiciones la hacen una especie ideal para combinar con las plantas de café.

Lantana florece en la mayoría de los lugares durante todo el año, si se dispone de suficiente humedad y luz, con un pico de floración durante los meses húmedos de verano (Day et al., 2003), condición también deseable para el vuelo de la broca del café.

Inicialmente, se pensaba que las especies de lepidópteros eran los polinizadores primarios de *Lantana*. Algunas especies de mariposas visitan ciertos taxones de *Lantana* con más frecuencia que otros, debido a diferencias en la longitud de la corola, el diámetro de la inflorescencia y el número de flores por inflorescencia. *Lantana* cuenta con diferentes especies de polinizadores (Figura 20). Más recientemente, se ha sugerido que los trips desempeñan un papel más importante en la polinización de *Lantana* que los lepidópteros; A diferencia de las mariposas, los trips están presentes durante todo el año y son polinizadores más eficaces (Day et al., 2003). Además de las mariposas y los trips, los colibríes juegan un papel en la polinización, para un total de polinización del 85% (Hilje 1985) y el restante es por autopolinización.

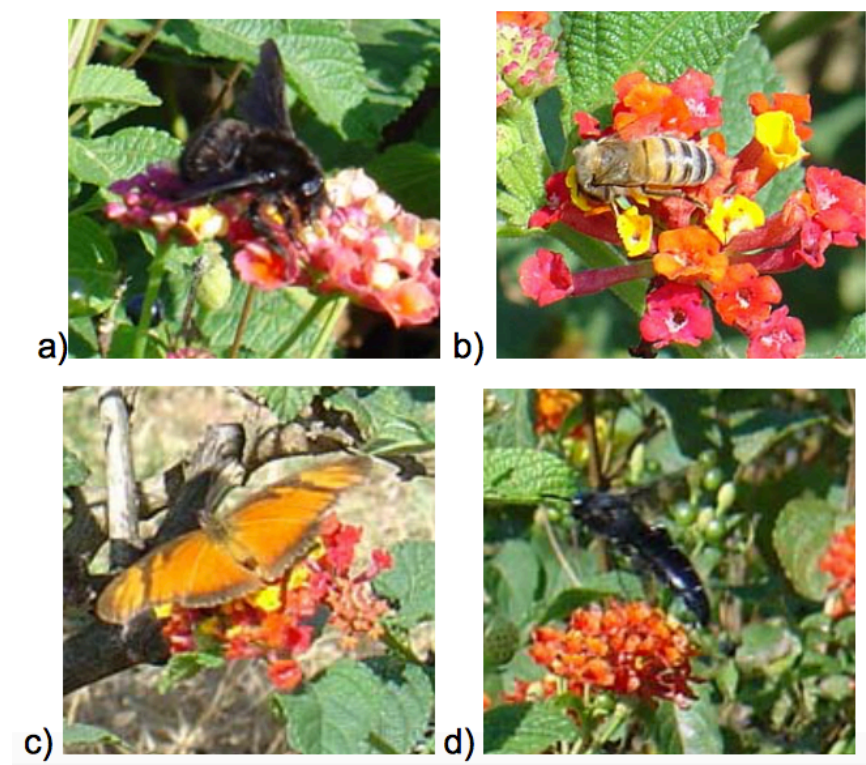


Figura 20. Algunos visitantes florales de *L. camara*. a) Abejorros; b) Abejas; c) Lepidópteros; d) Avispas (Tomado de Zenimori & Pasin 2006).

Las semillas necesitan condiciones de luz altas para la germinación y el crecimiento temprano y es poco probable que las plántulas sobrevivan debajo de los arbustos parentales. La tasa de germinación es baja en condiciones de laboratorio y de campo, con estimaciones de 4-20% y 44,5% (Day et al., 2003), aunque puede aumentar un 10% a 46% cuando la pulpa carnosa es removida manualmente de la semilla. Esta mayor tasa de germinación es comparable a

la obtenida a partir de semillas recogidas de las heces de aves silvestres. La reproducción por estaca es más eficiente y se demoran en brotar de 20 a 25 días (Day et al., 2003).

– *Nicotiana tabacum* var. Burley

Orden: Solanales; Familia: Solanaceae. Subfamilia: Nicotianoideaea, Género: *Nicotiana*; Especie: *N. tabacum*.

El tabaco *Nicotiana tabacum* es originario de la zona andina, entre Perú y Ecuador. A la llegada de los colonizadores a América, su consumo se encontraba extendido por los nativos de todo el continente, donde se consideraba medicina milagrosa por su efecto estimulante y alucinógeno.

Como se adapta a un amplio rango de condiciones ambientales, es posible producirla en varios pisos térmicos con diferentes calidades de suelo y clima, que van desde los cercanos al nivel del mar hasta alturas de 1.600 m con un rango de temperatura de 18 a 28°C. Es una planta perenne aunque, para su cosecha en los sistemas productivos de tabaco, se maneja como cultivo anual mediante el uso de ciertas prácticas culturales. Bajo las condiciones de cultivo, la altura de la planta fluctúa entre 1 y 2 m y un promedio de entre 15 y 25 hojas ubicadas en un solo tallo. Es sensible a la humedad, en general es preferible un déficit de agua y una adecuada exposición a la luz solar. El tipo Burley necesita suelos orgánicos y fértiles y se adapta a clima cafeteros marginales bajos, de las zonas de Caldas, Quindío, Valle, Cauca y Nariño, donde suele cultivarse como planta anual (Gonzales & Gurdián 1998). Este tabaco presenta hojas ovolanceadas y grandes, raíz fibrosa, tallo erecto y semileñoso. Presenta inflorescencia terminal, las cuales son polinizadas principalmente por himenópteros y lepidópteros, que posean aparatos bucales en forma de probóscide (succionadores) y en menor proporción, son polinizadas por colibríes. El tabaco cuenta con mecanismos de inducción que, luego de la polinización emite compuestos volátiles que atraen a insectos herbívoros, particularmente himenópteros, evidenciando interacciones tripartitas, entre otros mecanismos de defensa (Kessler, et al. 2015).

Según la descripción y la experiencia en los experimentos de campo (Castro et al. 2017), ambas plantas pueden establecerse dentro de un cafetal que se encuentra a libre exposición solar. *L. camara* es la planta que se encuentra mejor adaptada a las condiciones del eje cafetero y es resistente a fuertes

cambios climáticos y es más resistente a ataques de plagas y enfermedades. Por su parte, *N. tabacum*, es recomendada para lugares cafeteros que presenten condiciones de sequía en algunas épocas del año, puesto que se encuentra mejor adaptada a esas condiciones.

La variedad de café en la que se realizaron los experimentos y la que se recomienda utilizar en la zona es *Coffea arabica* var. Castillo, esta variedad se desarrolló en Cenicafé como estrategia para el control de la roya. Se obtuvo a partir del cruzamiento de la variedad Caturra x Híbrido de Timor. Es una variedad compuesta, es decir, que cuenta con la mezcla de varias líneas, para lo cual se utilizó el método de selección en línea en las generaciones separadas y subsecuentes de la progenie F3, F4 y F5. Las líneas que la componen difieren en los genes de resistencia a la roya del cafeto, poseen al menos 5 factores de resistencia específica a la roya y un fondo poligénico de resistencia incompleta, lo cual, les da estabilidad y duración frente a nuevas razas del patógeno. Esta variedad es de porte bajo, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa y de grano grande (Alvarado et al., 2005).

El proceso de formación de las flores del cafeto dura en promedio 4 a 5 meses, desde el inicio de la diferenciación hasta la apertura de las yemas florales y desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren 220 a 240 días, dependiendo de la región (Arcila, 2007). De los 120 a los 180 días, la semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso, este es el momento en que hay que proteger los frutos del ataque de la broca del café. Pasados los 224 días, el fruto comienza a sobremadurarse y se torna de color violeta oscuro y finalmente se seca. Esta información es importante tenerla en cuenta para la estructura del arreglo.

Como diversidad secundaria se propone mantener árboles frutales y árboles de sombra distribuidos esporádicamente en el cafetal, para no aumentar el porcentaje de sombrero a más del 25% y mantener una cobertura viva de arvenses nobles mientras las condiciones del cultivo lo permitan, es decir en las etapas iniciales del cultivo de café. Cenicafé cuenta con un listado de más de 502 plantas de la zona cafetera con potencial para ser usados en un programa de conservación de suelos, agua y fauna benéfica. Entre estas se encuentran la tripa de pollo (*Euphorbia hirta*) y el maní forrajero (*Arachis pintoi*)

(Anexo 6), estas especies son muy comunes en las calles del cafetal en esta zona cafetera y se encuentran asociadas al cultivo de café en Colombia, con muy baja interferencia en los cafetales (Salazar et al. 2002), ayudan a proteger del suelo contra la erosión, mejoran la fertilidad, aportan materia orgánica, ayudan al control de malezas por competencia, aceleran la degradación de hojarasca y la de los frutos de café caídos al suelo. Además, se encuentran reportadas como fuente de néctar de *C. stephanoderis*, *P. nasuta* y otros enemigos naturales de la broca del café (Damon et al. 1999, Wäckers, 2005, Salazar, 1998, Staver 1995).

Multifuncionalidad del arreglo predial

En los capítulos anteriores, se evidenció que *L. camara* y *N. tabacum* son repelentes de la broca del café, seguramente porque los volátiles que emite dispersa la concentración del recurso, reducen la preferencia o limitan la localización por parte de la broca del café, cuando son ubicadas al interior del cafetal y este aún no presenta infestación por broca. Estas introducciones funcionales en el cafetal, también ejercen un efecto sobre la producción, la nutrición y la sanidad general, entre otros beneficios en los cultivos. Además, cumplen la función de cubrir el suelo, aportando a la protección del microclima, evitando la erosión y aumentando la actividad biológica. En particular, *L. camara* presenta abundantes flores amarillas que proporcionan adecuados recursos alternativos de alimento como néctar, otras presas, refugio, lugares de reproducción y puesta para un rendimiento efectivo de enemigos naturales (Altieri & Nicholls 2010).

Con la introducción de *L. camara* y *N. tabacum* en el cafetal, el aumento de la sombra puede aumentar favoreciendo el establecimiento de *Beauveria bassiana* de tal manera que pueda ejercer un control natural más eficiente contra la broca del café, pudiendo causar mortalidades sobre el insecto mayores al 10%, que es lo reportado en condiciones naturales (Góngora et al., 2009), además, puede favorecer el establecimiento de las hormigas depredadoras por el aumento de la hojarasca en el suelo (Armbrecht et al. 2005). Esta condición beneficiaría a otros enemigos naturales reportados para la broca del café en Colombia.

En el suelo, Vera et al. (2007) registraron los hongos *B. bassiana* e *Hirsutella eleutheratorum* atacando adultos de broca en el entorno natural. Además, *B. bassiana* logró infectar las larvas de la broca al interior de los frutos de café (Vera et al. 2007). Las hormigas por su parte, han mostrado ser efectivas como agente de control biológico en el suelo, en los frutos de los árboles de los cafetales y durante las labores de post cosecha (Armbrecht & Perfect, 2003, Vélez et al. 2006). Para Colombia, se ha estudiado el comportamiento y efecto que tienen varias especies de hormigas sobre poblaciones de la broca. Las hormigas del género *Crematogaster* sp., presentan porcentajes de depredación de broca por encima del 60% en cafetales colombianos (Vera et al, 2007). Otras hormigas depredadoras de la broca son: *Solenopsis geminata*, *Dorymyrmex* sp., *Pheidole* sp., *Mycocepurus smithii*, *Tetramorium simillimum*, *Wasmannia auropunctata*, *Brachymyrmex* sp. y *Paratrechina* sp. (Vélez, 2002, Armbrecht y Gallego, 2007, Vera et al, 2007, Bustillo et al., 2002). Además, se han encontrado en el suelo del ecosistema cafetero dos especies de entomonemátodos (*Steinernema colombiense* López y *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar) que, bajo condiciones de campo han mostrado ser capaces de llegar a los frutos brocados y reducir poblaciones de broca (Lara et al., 2004; López et al., 2008).

En un recorrido por fincas cafeteras de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, con el objetivo de reconocer parasitoides, depredadores y entomopatógenos naturales de la broca, Vera et al. (2007) encontraron el parasitoide *P. nasuta* en el 66,6% de las fincas cafeteras muestreadas. *P. nasuta* atacan todos los estados de la broca cuando colonizan los frutos infestados, primero matan el adulto de la broca y se alimentan de su hemolinfa, luego consumen los huevos y las larvas de primer instar y posteriormente paralizan las larvas de segundo instar, las prepupas y pupas sobre las cuales ovipositan y se desarrollan (Bustillo et al. 1996). Debido a este comportamiento estas especies están dirigidas a los frutos maduros, sobremaduros y secos que no fueron recolectados y se quedaron en el árbol.

De igual manera, en Colombia se encuentran parasitoides y depredadores nativos. Vera et al. 2007 destacaron la presencia del coleóptero *Monanus* sp. (Coleoptera: Silvanidae) con porcentajes de depredación de broca por encima del 60% y Bustillo et al. (2002) y Vera et al. (2007) reportaron a *Cathartus*

quadricollis (Coleoptera: Silvanidae) dentro de las galerías y túneles en granos infestados por broca. Constantino (2013) reportó otras dos especies de la familia Silvanidae depredando los estados biológicos de broca *Ahasverus advena* y *Europs* sp. *Xylocoris* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) y otro depredador perteneciente al orden Dermaptera (Vera et al., 2007) se encuentran reportados en el país. Como parasitoides nativos, se ha reportado a *Cryptoxilos* sp. (Hymenoptera: Braconidae) (Damon 2000, Bustillo et al., 2002) y especies no descritas del género *Cephalonomia* parasitando broca en los cafetales colombianos (Damon, 2000).

Estos estudios demuestran la biodiversidad del ecosistema cafetero colombiano y especialmente tratándose de una plaga recientemente introducida a este hábitat (Bustillo 1995), sin embargo, aún no logran regular las poblaciones de broca. El beneficio de los agroecosistemas complejos es que mejoran las condiciones que aumentan el establecimiento de poblaciones de insectos benéficos reduciendo el riesgo de que otros se conviertan en plaga, apoyados por la complementariedad y redundancia funcional de las especies para mantener la plena utilización de los recursos y una protección contra plagas (Nicholls 2010).

Como enemigos naturales potenciales, una revisión realizada por Barrera et al., (2008) indica que al menos 50 especies de enemigos naturales para la broca del café se encuentran reportadas en el mundo. Entre estas, el trips *Karnyothrips flavipes* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), el cual fue reportado en Kenya en el año 2009 como depredador de huevos y larvas de la broca del café (Jaramillo et al., 2010). Este trips, de 1 a 2 mm de largo, ingresa por el orificio de penetración de la broca en el fruto del café, deposita sus huevos y los adultos se alimentan de los estados inmaduros de la broca. No se reporta en Colombia como enemigo natural de la broca, pero se ha reportado en Perú, Guatemala y México, como enemigo de plagas de cultivos de plátano y banano (Valladolid 2015).

En un ejercicio por recrear las posibles interacciones que se pueden establecer en un cafetal para ayudar a regular de la broca del café mediante la introducción de *L. camara* y mejorar las condiciones de suelo, no aplicando insecticidas, funguicidas o herbicidas y realizando una fertilización orgánica, en la figura 21 se presenta un esquema con las especies enemigas de la broca del

café reportadas en Colombia, en este esquema se representa la relación de *L. cámara*, que por ser una planta nectífera facilita la supervivencia de la fauna benéfica, en particular de los himenópteros (Salazar y Baker 2002, Damon et al. 1999, Wäckers, 2005).

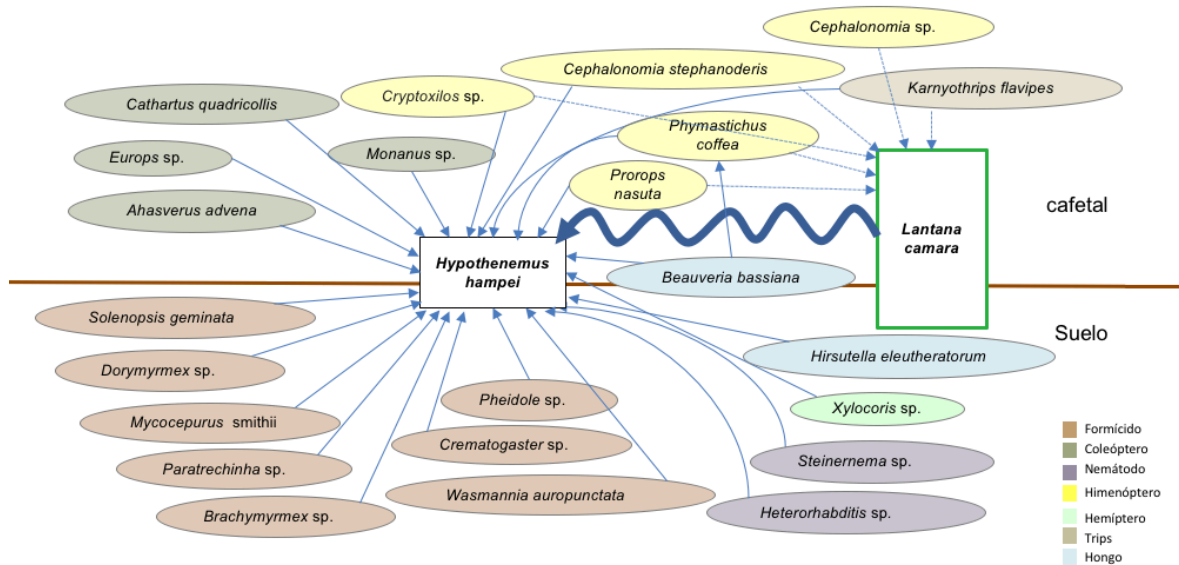


Figura 21. Esquema teórico de la diversidad de fauna relacionada con la broca del café y *Lantana camara*. Las flechas punteadas representan la atracción de los insectos hacia la planta.

Hay que tener en cuenta los potenciales aspectos negativos asociados a la adición de nuevas especies en el agroecosistema. *B. bassiana* es entomopatógeno para una gran variedad de insectos y también puede atacar algunos enemigos naturales de la broca, como es el caso del parasitoide *P. coffea*, incompatible cuando se aplica *B. bassiana* (Cantor et al., 2006). Por su parte, para algunos cultivos *L. camara* es considerada una planta invasiva. Sin embargo, en el mundo existen más de 20 agentes biológicos reguladores para esta planta (Márquez 1992), entre ellas se destacan por su éxito el díptero *Ophiomyia lantanea*, cuya larva se alimenta de la semilla, la oruga del lepidóptero *Hypena strigata* y el hemíptero *Teleonemia scrupulosa*, quien se alimenta de las hojas (Matienzo et al. 2003), que sumado a las prácticas de podas se puede regular exitosamente a la planta.

Estructura del arreglo

Dentro de la estructura del arreglo predial se consideró la arquitectura del componente vegetal que se quiere establecer al interior del cultivo. Las plantas

repelentes, se ubicaron en el mismo estrato de las plantas de café. Para las condiciones de producción de la zona, se proponen tres estratos (Figura 22). El primer estrato es la cobertura vegetal, la cual estará presente durante las primeras etapas del café y aunque varias especies crecen en sombra, desaparecerá en los lugares que se cierran las calles por el crecimiento del café y las plantas repelentes reduciendo hasta un 100% el paso de luz y aumentando la humedad relativa impidiendo su sobrevivencia. Luego, cuando esta planta encuentra las condiciones óptimas, vuelve a germinar (Tirabanti, 2011).

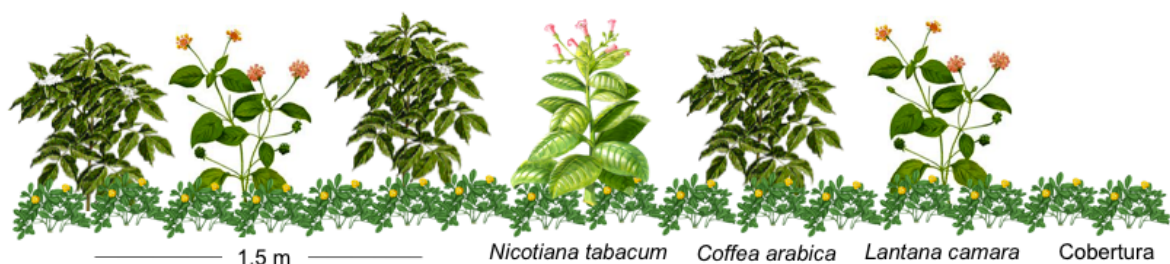


Figura 22. Esquema del cafetal propuesto para el manejo de la broca del café.

En el segundo estrato se encuentra el cultivo de café y las plantas de *L. camara* y *N. tabacum*. Los dos arbustos introducidos se deben mantener durante la etapa de producción a la misma altura del cafetal. Las plantas de café se deberán sembrar primero, puesto que estas presentan una tasa de crecimiento más rápido. Además, se deben sembrar en campo después de 4-5 meses después de su germinación en vivero, por medio de estaca para *L. camara* y semilla para *N. tabacum*, según lo observado en los experimentos del capítulo anterior.

Se deben transplantar al cafetal 4 meses antes de que los frutos de café se encuentren en el periodo crítico para ser atacado por la broca del café, es decir 3 meses después de la primera floración del cafetal, a los 24 meses de establecido el cultivo de café en campo. Como son los primeros frutos del ciclo productivo, no se encuentran frutos sobremaduros en la planta ni en el suelo, por tanto, la infestación por broca va a ser baja, pero protegerán los frutos para la primera cosecha y las siguientes. Se espera mayor infestación durante los 36

a 60 meses de establecido el cultivo, por tanto las plantas se deben mantener hasta el final del ciclo productivo. Junto con la zoqueada del café, se puede zoquear las plantas de *L. camara* y *N. tabacum* puesto que son perennes.

Para cafetales ya establecidos, antes de la implementación de este diseño, se debe realizar una recolección de todos los frutos brocados y limpieza del suelo para iniciar con la menor población de broca posible, por lo que es conveniente realizarlo en periodos de clima neutro o durante un fenómeno de La Niña moderado.

El estrato tres, se refiere a la diversidad secundaria, árboles de sombra y frutales presentes como parte del sistema. Evidentemente, las condiciones óptimas que brinda la sombra para la supresión de plagas, difiere con el clima, la altitud, el suelo y la luminosidad de cada zona productora de café (Staver et al. 2001). Para que las condiciones de producción se mantengan, en la zona central cafetera de Colombia, no se requiere más del 20 % de sombra al interior del cafetal ya que la nubosidad es muy alta, se presenta un brillo solar de 1.500 horas al año (Farfán 2014) bajo más sombra, la producción se reduce en un 35-40%, por lo tanto, se propone ubicar los árboles en los bordes de los lotes de café, o al través de la pendiente, si esta lo amerita, particularmente especies frutales o árboles de tronco alto y dosel pequeño.

El estado nutricional de las plantas de café puede determinar su respuesta ante la presencia de plagas, por tanto, el establecimiento del cultivo de café se debe realizar siguiendo las recomendaciones de Cenicafé, donde se enfatiza en la nutrición de la planta mediante el uso de fertilización orgánica y micorrizas, teniendo en cuenta el análisis de suelos (Arcila y Farfán, 2011, Farfán et al. 2015).

La distancia de siembra recomendada en esta propuesta para las plantas de café de un solo tallo es de 1,5 m entre surcos x 1,0 m entre plantas, esta distancia permite al recolector de café entrar al cafetal y realizar una eficiente labor de recolección, dándole espacio para recoger ambas caras de la planta y evitar al máximo dejar frutos sobremaduros en la planta o frutos caídos al suelo, además, permite evaluar de infestación y realizar las aspersiones de entomopatógenos de ser necesario. Con esta distancia se obtiene una densidad de 6.667 plantas de café por hectárea. La distancia de siembra de *L. camara* es de 1,5 x 2,5 m intercalados en el surco con las plantas de café, para

una densidad de 2.667 plantas por hectárea. Para la cobertura se necesita 1 kg de semilla por hectárea y se siembra a una distancia de 2,0 x 2,0 en los espacios que deja libre *L. camara*. Estas condiciones se representan gráficamente en la figura 23 y se resumen en la tabla 8.

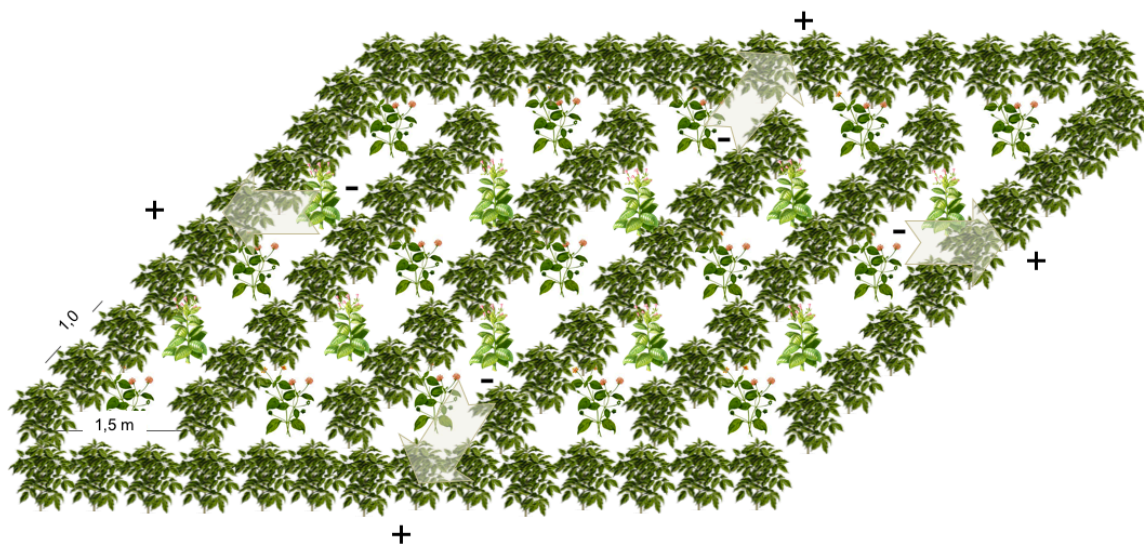


Figura 23. Esquema del diseño. Al interior, las plantas acompañantes *L. camara* y *N. tabacum* repelen la broca del café, dirigiéndola hacia los bordes del cafetal, donde se presentará mayores niveles de infestación.

Tabla 7. Resumen de las condiciones de establecimiento del re diseño predial para el manejo agroecológico de la broca del café.

Estrato	Planta	Distancia de siembra	Densidad p/ha	Profundidad de raíces
1er estrato	Cobertura (ej. <i>Arachis pintoi</i> o <i>Euphorbia hirta</i>)	0,5 x 0,5 m al centro entre las filas de café, en los lugares que no se encuentra <i>L. camara</i> .	-	Superficial
2do estrato	<i>Coffea arabica</i>	1,5 x 1,0 m	6.667	1,0 m
	<i>Lantana camara</i> y <i>Nicotiana tabacum</i>	1,5 x 2,5 m	2.667	0,5 m
-	Frutales y árboles	Ya establecidos o como cercas divisorias del lote.	<60 (sombrio max. 20-25%)	>2,0 m

3.4.2.4. Plan de manejo

El manejo de la finca cafetera es esencial para que el rediseño funcione, reduciendo el riesgo de presentar pérdidas a causa de la broca del café, lo que implica, no solo bajar la densidad poblacional de la plaga, representada en la amenaza, sino también mejorar la capacidad de respuesta del caficultor, de tal forma que se incremente la resiliencia del sistema.

Para el plan de manejo se adoptaron prácticas basadas en los principios agroecológicos que promueven la fundación de enemigos naturales, como incremento de la materia orgánica, protección del suelo, manejo de cultivos intercalados, manejo del agua, coberturas, fertilización orgánica y provisión de refugio y alimento dentro del cultivo perenne. Además, se tuvo en cuenta las prácticas denominadas de control cultural propuestas en el manejo integrado de la broca que adelanta Cenicafé, el cual se centra en recolecciones oportunas, recolección sanitaria después de la cosecha y manejos en post cosecha, para evita que la broca regrese al cafetal. Estas prácticas minimizan la disponibilidad de alimento y refugio de la plaga, modificando las condiciones favorables para su reproducción (Benavides et al., 2012).

En relación con los insecticidas usados para el control de la broca, todos los productos causan mortalidades a los parasitoides introducidos en los cafetales (Bustillo et al. 1998; Guzmán 1996). Por tanto, no se deben realizar prácticas de control químico, pues no es compatible con la idea de establecer enemigos naturales al interior del cafetal, además, de los detrimentos ambientales y aumento en los costos de producción. Cuando las condiciones climáticas sean desfavorables, por ejemplo, al presentarse un año El Niño, se necesitará realizar aplicaciones de *B. bassiana* en estos cafetales, siguiendo las recomendaciones descritas por Cenicafé (Góngora, 2011).

Otro aspecto importante del plan de manejo es la comunicación con el vecino ya que las medidas que él adopte para el manejo de la broca en su cafetal afectarán el cultivo. Utilizar cercas vivas y árboles de café con frutos como trampas reducen la migración de broca al cafetal. Sin embargo, deben tomarse precauciones en las épocas de renovación por zoqueo ya que luego de realizarse esta práctica, se dejan en el lote una gran cantidad de frutos con broca que, en su emergencia se dispersarán a través del lindero (Castaño et al. 2005). En este momento también se recomienda asperjar *B. bassiana* al suelo,

en los linderos con el cafetal vecino (Jaramillo et al. 2015). En la tabla 9 se resumen las prácticas que se recomiendan dentro del plan de manejo agroecológico.

Tabla 8. Resumen de las prácticas dentro del plan de manejo agroecológico para el cafetal.

Práctica	Descripción
Establecimiento de barreras vivas y cultivo trampa.	Contar con barreras vivas de árboles que delimiten y separen el lote vecino. También, puede realizarse con plantas de café que cuente con frutos maduros y sirvan como cultivo trampa, si bien el café es mejor atrayente que conocemos para la broca del café.
Recolecciones sanitarias	Recolectar los frutos maduros, sobremaduros y secos, que quedan después de la cosecha principal, manteniendo el cafetal solo con frutos verdes (Salazar et al., 1993).
Recolecciones oportunas	Recoger los frutos maduros de manera oportuna, no dejando pasar más de 18 días sin entrar al cafetal (Benavides y Arévalo, 2002).
Manejo post cosecha	Cerrar y llevar al beneficiadero los costales que se van llenando de la recolección en el lote e Impregnar con grasa la tapa de la tolva de recibo para evitar el regreso de la broca al cafetal. (Moreno <i>et al.</i> 2001)
Cuidados en los zoqueos de café propios y de los lotes vecinos	Realizar antes del zoqueo, una recolección de todos los frutos presentes en el árbol y dejar surcos con árboles trampa durante dos meses, los cuales se deben cosechar con frecuencia y se pueden asperjar con <i>B. bassiana</i> , cuando la broca se encuentra en vuelo o en posiciones de penetración en el fruto.
Zoqueo de plantas acompañantes	Luego de la zoqueada del café, se puede zoquear las plantas de <i>L. camara</i> y <i>N. tabacum</i> puesto que son perennes, teniendo en cuenta que la tasa de crecimiento es mas rápida se pueden dejar mas tiempo en el lote para aprovechar su materia organica.
Podas de las plantas acompañantes	Realizar podas a las plantas repelentes, una vez lleguen a la altura del cafetal, estas serán cada dos meses aproximadamente y mantener libre la superficie debajo de la copa, para evitar competencia.
Mantenimiento del suelo cubierto	Proteger el suelo por medio de coberturas vivas. Las nectíferas puede aumentar la fauna benéfica que ataca a la broca del café y aceleran la degradación de los frutos caídos al suelo (Marín-Nieto et al., 1996). También se puede adicionar cobertura muerta de hojarasca y ramas provenientes del zoqueo (Gómez y Rivera, 1993).
Control de arvenses	Las coberturas necesitan control de arvenses en los primeros meses de instalación, posteriormente, se debe controlar su crecimiento mediante cortes periódicos que eviten competencia con el café.
Conservación del suelo	Sembrar directamente, en contorno a través de la pendiente y cero labranza, sembrar barreras vivas a lo largo de la ladera (Gómez y Rivera, 1993).

Cultivos intercalados	Sembrar en la etapa de levante del café cultivos de frijol, maíz, etc, que aumentarán la materia orgánica y aporte de nutrientes en el suelo.
Capacitación técnica, comercial y administrativa.	Apropiar el conocimiento sobre el comportamiento de la broca en campo, las condiciones ambientales que la afectan y las situaciones de vulnerabilidad en las que se encuentra la finca para tomar decisiones respecto al manejo del cafetal y la forma de comercializar la producción. Esto puede realizarse por medio de cursos de capacitación, intercambio de experiencias con caficultores de la zona, con el servicio de extensión, etc.
Monitoreo de la broca	Registrar las fechas de floración, la estimación del porcentaje de infestación de broca en campo, con una muestra de 30 árboles y el análisis de la posición del insecto, en el fruto en el momento de la penetración (Benavides et al., 2003).

Fertilización

La fertilización es un factor determinante para la producción de café. Aunque para *L. camara* y *N. tabacum* no se han realizado los análisis nutricionales de la materia orgánica, en el caso de café, a través de la fertilización orgánica, bajo un sistema diversificado, se puede mantener una producción igual a la obtenida con fertilización química (Ospina et al, 2003), evitando las serias consecuencias que ésta causa y, por el contrario, mejorando la calidad del suelo y la de las plantas de café (Dwomoh et al. 2008).

Lo recomendado a usar en la zona central cafetera para un lote de café convencional, para obtener una producción óptima de 158-200 arrobas/hectárea, es de 1.200 Kg/ha/año de fertilizante químico. Partiendo de un análisis de suelos, esta cuota de fertilización puede cubrirse de manera orgánica. Para esto, se requiere aplicar 2 kg/planta/año del compost, distribuido en 2 o 4 dosis al año, siguiendo las épocas de lluvia (Arcila y Farfán, 2011). Dependiendo de la disponibilidad de la finca, ya sea producido al interior o adquirido externamente, el compost puede enriquecerse con derivados animales como ruminaza, leche, ganillaza o estiércol, para alcanzar los requerimientos (Farfán, 2014).

En los datos comparativos con una producción tecnificada convencional, según lo reportado por FNC 2001, teniendo en cuenta la duración de dos ciclos de 12 años en la producción ecológica y dos ciclos de 7 años en la producción convencional, la producción total del sistema agroecológico es de 49.012 kg. y la de un sistema tecnificado es de 39.172 kg. En cuanto a costos de fertilización, en el sistema ecológico el costo es de 4.310 US\$ y en la

producción tecnificada es de 6.376 US\$, incluida la mano de obra. Se ve entonces, que la fertilización orgánica es viable y que en el tiempo, pueden producir cantidades similares a los de sistemas de producción convencionales, por lo que su implementación traería las ventajas ya discutidas al sistema.

3.4.2.5. Socialización para la implementación de la propuesta

Con la conversión agroecológica se pretende promover el desarrollo colectivo de los arreglos diversificados y encontrar soluciones tecnológicas específicas de cada lugar (Gliessman 1998), por tanto, es indispensable el apersonamiento del proyecto por parte de la población local.

Los modelos participativos son una herramienta indispensable para la adopción de programas agroecológicos, ya que permiten la participación del agricultor en la planeación, realización y evaluación del proceso de aprendizaje. Además, el registro de los datos de las investigaciones participativas es información valiosa para técnicos e investigadores, a la hora de diseñar una metodología de implementación. Normalmente, estos procesos de valoración y adopción son procesos que toman tiempo, pueden demorar más de tres años (Vázquez, et al. 2010).

Para la socialización de esta iniciativa se recomienda seguir la metodología de investigación acción participativa en agroecología propuesta por Guzmán et al 2013, la cual divide el proceso de la conversión agroecológica en cinco fases. En la fase I del proyecto, se debe discutir en un primer encuentro, entre los investigadores de la propuesta, investigadores de otras áreas, extensionistas y caficultores, el potencial agroecológico, es decir, los recursos sociales, ecológicos, económicos y culturales con los que cuenta el agricultor que pueden ser utilizados para una eventual conversión a un sistema agroecológico. También se identifican los problemas del entorno y la percepción frente a ellos. Las técnicas de investigación empleadas son la entrevista y la observación, utilizando el marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (López-Ridaura et al., 2002) el cual permite indagar de forma participativa sobre los problemas de sustentabilidad.

En la fase II, se realiza un diagnóstico participativo de la situación inicial de la finca y de la comunidad local para definir las problemáticas y la situación real

del riesgo en el que se encuentra la finca, como se describió anteriormente. Si la propuesta es pertinente, se perfila según las necesidades y posibilidades del agricultor y se planifica la adecuación de la propuesta final para la finca en particular, por medio de grupos de discusión, se identifican los problemas y se diagnóstica el riesgo en que se encuentra la finca, para lo cual se debe poder responder ¿Qué tipo de daño se podría predecir en cuanto a la infestación por broca? y si ¿las prácticas y manejos de la propuesta lograrían pasar de una vulnerabilidad alta a una media, o de una vulnerabilidad media a una baja? (Altieri et al. 2012). Esto ayudará al caficultor a definir si participa del rediseño y cambio del manejo de su finca. En general, los caficultores de esta zona del país se encuentran al tanto de las innovaciones y se muestran interesados en experimentar en su propia finca ya que muchos cuentan con la capacidad e intención de invertir y los resultados de las investigaciones han funcionado para generar, desarrollar y adaptar nuevas técnicas de manejo a sus fincas (Aristizabal 2005).

La fase III y IV corresponden a la implementación y desarrollo de la propuesta, se conoce como el plan de acción, donde se precisa lo que se había postulado como posible, se realiza la toma de datos de las infestaciones, comparando con un lote de referencia de la misma finca o de una finca vecina, se monitorea el desarrollo de plan de manejo y de las percepciones de los agricultores frente a su propio experimento, los investigadores y extensionistas son dinamizadores y el agricultor es el ejecutor, lo cual se realiza desde los inicios de la Investigación Participativa con Agricultores (Farrington y Martín 1987). En esta etapa se cumplen objetivos intermedios que cuando generan información útil, se pueden comenzar a compartir entre agricultores y plantear soluciones alternativas a los problemas no previstos.

Al finalizar la implementación de la propuesta en un ciclo productivo de café, se inicia la fase V de evaluación y reajuste, se realiza un taller de intercambio de experiencias, donde se discuten los resultados alcanzados, con el fin de acordar una valoración general y planificar siguientes experimentos a mayor escala. A este encuentro son invitados agricultores vecinos y técnicos de la zona que no participaron del proyecto para que, aprovechando que los productores tienen gran influencia en la región, poder de convocatoria y son referentes en la zona, se divulgue las experiencias adelantadas. Esta reunión la

debe liderar el caficultor que ensayó la propuesta en su finca, acompañado de los investigadores y extensionistas que lo apoyaron.

3.4.2.6. Aproximación de costos

Realizar una transformación de la finca requiere una inversión inicial, el costo asociado en términos de labores, recursos y dinero para establecer un sistema agroecológico en la etapa de re diseño tiende a ser alto en los primeros 3-5 años, luego se estabiliza y comienza a evidenciar sus beneficios (Altieri y Nicholls, 2017).

Para realizar una aproximación del costo de implementación de este re diseño hay que tener en cuenta que la densidad de siembra recomendada por Cenicafé es de 7.500 plantas/hectárea, equivalente a una distancia de siembra de 1,25 x 1,0 m, para ser rentables en la actividad cafetera. Sin embargo, en el departamento de Caldas el promedio se encuentra en 5.623 plantas/hectárea, con un promedio de los sistemas empresariales de 6.700 plantas/hectárea y una producción promedio de 153 arrobas/hectárea/año (Comité de Caldas, 2017). Este valor está por encima de la media nacional, la cual se encuentra cercana a 80-90 arrobas para esta densidad, aunque en la zona se encuentran caficultores empresariales que bajo condiciones óptimas logran producir 200 arrobas/hectárea. En esta propuesta se recomienda una distancia de 1,5 x 1,0 m, lo que corresponde a 6.667 plantas/hectárea.

En la estructura de costos la Federación Nacional de Cafeteros (2015), estima que los costos de producción no varían significativamente entre diferentes niveles de tecnificación o sistemas de producción y el 70-75% de los costos de producción se centran en la recolección, fertilización y gastos administrativos. La recolección y beneficio corresponden del 47 al 60%. Los insumos corresponden a un 20-25% de los costos. Los fertilizantes participan con el 10-16%, con un aumento del 15% en su costo para el 2015, por lo que este valor es superior en los cultivos convencionales. Por su parte, los cultivos de café orgánicos incurren en un gasto fijo por hectárea mayor en un 15,5-19,2%, atribuido a los costos de certificación (Ospina et al. 2003).

Sin embargo, el control fitosanitario de plagas y enfermedades corresponde tan solo a un 4-5% (Ospina et al. 2003), esto incluye mano de obra, monitoreo e insumos (insecticidas, fungicidas, acaricidas, coadyuvantes y productos

biológicos), por lo que incrementos o reducciones en este rublo no afectara la estrucutra general.

Sin embargo, el costo de la implementación de las plantas esta en un 10% en la implementacion por hectárea.

3.4.2.7. Estudio de caso: Establecimiento del diseño en campo: Motivaciones y problemas en la implementación

Una vez planteada la propuesta, se debe realizar una primera validación que garantice el funcionamiento del rediseño y manejo para la protección contra la broca del café. Sin embargo, por términos de tiempo, conociendo que los resultados de los sistemas agroecológicos se evidencian a mediano y largo plazo, se inició la validación de las dos primeras partes de la propuesta: La caracterización, el diagnóstico del riesgo y la implementación del re diseño, con el establecimiento de las plantas repelentes siguiendo los lineamientos fijados. Esta validación se realizó por medio de un estudio de caso. Los propietarios de la finca mostraron interés en participar del proyecto porque tenían la percepción que la broca del café era el mayor problema en su cafetal. Además, la finca presentaba las condiciones climáticas y físicas adecuadas para el crecimiento de ambas plantas repelentes *L. camara* y *N. tabacum*.

Caracterización de la finca

La finca Canaguaro ubicada en la vereda Azafranal del Municipio de Sylvania - Cundinamarca, a 1.550 m.s.n.m, con temperatura promedio de 22°C y humedad relativa de 68% cuenta con un área de tres hectáreas y con una densidad de 5.000 árboles por hectárea de *Coffea arabica* var. Castillo, sembradas a una distancia de 1.5 m x 1.5 m, en el año 2013, bajo un sistema de producción orgánico con 25-30% de sombra dada por algunas plantas de cítricos, plátanos y árboles nativos. La finca cuenta con una huerta casera. Los abonos y biopesticidas son preparados en la finca, según el análisis de suelo se presenta una alta acidez (pH 4,75) y bajo contenido de nitrógeno (0,20%) y baja materia orgánica (4,06%). El cafetal se encuentra protegido por barreras vivas para evitar la contaminación de las fincas vecinas, las cuales cuentan con pastos, árboles y un cafetal abandonado. La Finca está certificada por Rainforest Alliance y se encuentra en proceso de certificación orgánica. El encargado de las recolecciones periódicas de los frutos de café maduros, es el mayordomo, quien, debido a la disposición de tiempo, realiza la labor cada 20-30 días y asperja *B. bassiana* cada 15-20 días, como medida de prevención. El cafetal presentó una infestación de broca promedio de 26%, en el 2015 (año El

Niño) y 11% en el 2016 (año neutro), esta evaluación se realizó siguiendo la recomendación de Benavides y Arévalo (2002). El beneficio del café se lleva a cabo en la finca, el café excelso producido se comercializa por medio de una asociación a la que pertenecen y es exportado a Corea. La pasilla resultante se entierra en la finca.

Diagnóstico del riesgo de presentar broca en el cafetal

Con la información obtenida por entrevistas con los propietarios de la finca, el mayordomo y varias visitas realizadas al cafetal, se realizó una matriz para el diagnóstico del riesgo, la cual incluye para los indicadores escogidos, una evaluación descriptiva, la cual cuenta con la representación de aletas por medio de los colores del semáforo, la conversión de los datos cualitativos a cuantitativos por medio de la asignación de un valor en escala de 0 al 100, una ponderación de la influencia o peso independiente para cada indicador, al tratarse del análisis de una sola finca, este peso se asignó por el criterio de expertos, en este caso, se definió por el consenso de la valoración del caficultor, el extensionista y el investigador, seguido la relación del valor por el peso de cada indicador y por último, la sumatoria de este resultado de los indicadores que conforma la variable amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta (Tabla 10). El resultado de la sumatoria de la amenaza es 152, la vulnerabilidad 196 y capacidad de respuesta 154. La asignación de los colores del semáforo en la evaluación descriptiva indica una alta amenaza, una vulnerabilidad media y buena capacidad de respuesta del caficultor, sin embargo, alerta sobre la capacitación y asesoría técnica y en amarillo, la baja diversidad al interior del cafetal que hace que el sistema continúe siendo dependiente de insumos externos.

Tabla 9. Matriz para el diagnóstico del riesgo. Evaluación descriptiva, peso de los indicadores y el porcentaje de los componentes de la ecuación de riesgo de broca del café.

Indicador	Evaluación descriptiva	Valor (1-100)	Peso	Peso x Valor	\sum Peso x Valor
Amenaza					152
Infestación en el cafetal	11%	80	1,00	80	
Infestación del cafetal vecino	~13%	80	0,90	72	
Vulnerabilidad					196
Altitud y temperatura a la que se encuentra el cafetal	1.550 m.s.n.m / 22°C	40	0,90	36	
Estrategias que dispongan para manejar la broca del café	Recolección oportuna cada 20 – 30 días	80	1,00	80	
Prácticas del cafetal vecino	Cafetal abandonado	40	0,80	32	
Precio del café	Por debajo del histórico	60	0,80	48	
Capacidad de respuesta					154
Canales de comercialización	Especial con alto valor agregado	100	0,50	50	
Capacidad de organizarse	Participa activamente y obtiene beneficios	80	0,40	32	
Capacitación y asesoría técnica (Administración)	Se toman cursos pero no se aplica en campo	20	1,00	20	
Diversidad funcional al interior del cafetal	Algunos frutales	40	0,90	36	
Manejo del suelo	Uso de cobertura e insumos orgánicos	80	0,20	16	

Para aplicar la ecuación de riesgo, se debe pasar a porcentaje los resultados de la sumatoria del peso por el valor de la amenaza, la vulnerabilidad y la

capacidad de respuesta, la suma de los tres componentes (152+196+154) conforma el 100%, la amenaza corresponde al 30,3%, la vulnerabilidad al 39,1% y la capacidad de respuesta al 30,6%.

$R = \frac{30,3\% + 39,1\%}{30,6\%}$, el riesgo de presentar pérdidas por broca para la Finca Canaguaro fue de 2,27, al ubicar este valor sobre el triángulo del riesgo (Figura 24), nos muestra que la Finca cuenta con un riesgo medio de presentar infestación por broca, dado más por la vulnerabilidad del sistema, al lindar con un cafetal envejecido y abandonado y no realizar una recolección oportuna de los frutos maduros.

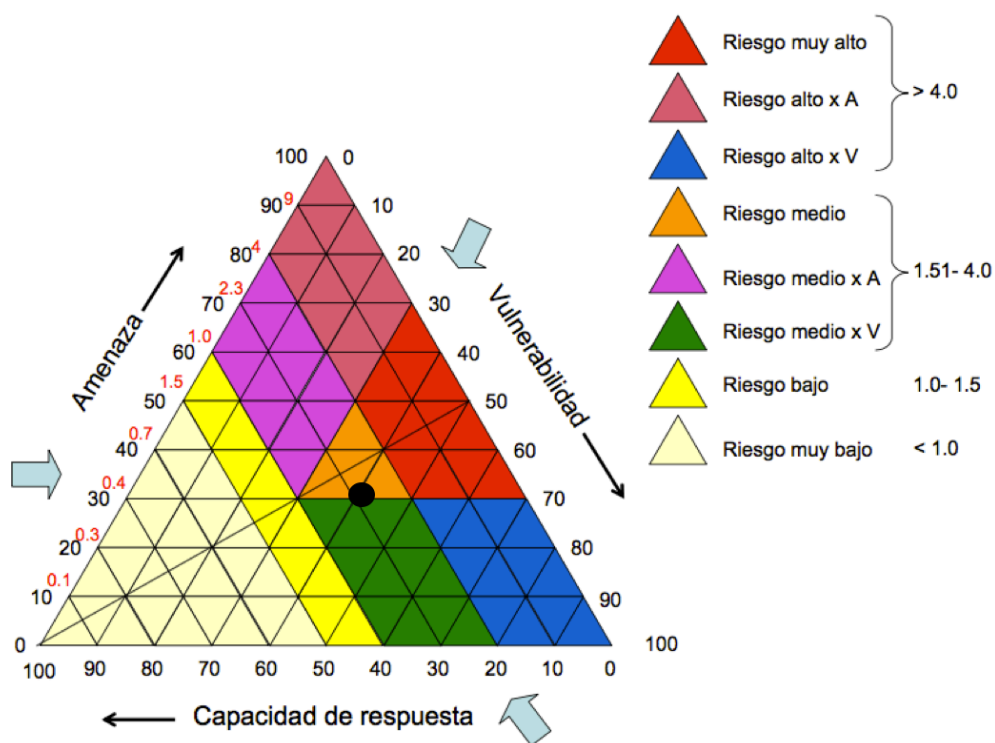


Figura 24. Triángulo del riesgo de presentar pérdidas por broca del café para la Finca orgánica Canaguaro, ubicada en Silvania -Cundinamarca.

Con este nivel de riesgo “medio” para esta finca se recomienda incluir en el diseño del cafetal, diversidad funcional repelente para la broca del café: plantas de *L. camara* y *N. tabacum* y afianzar los conocimientos del comportamiento de la broca en el cafetal para guiarse del registro de floración en la toma de decisiones en cuanto a la aplicación de *B. bassiana*, evitando la aplicación indiscriminada de este entomopatógeno y reduciendo costos innecesarios en el manejo, que puede ayudar a cubrir los gastos de implementación del rediseño.

Establecimiento del rediseño predial

Con el resultado del diagnóstico, se decidió iniciar el rediseño, para lo cual se levantó un mapa de la distribución de las plantas del café de la finca. El área se dividió en dos lotes, uno de referencia y el otro el lote del experimento. Además, en el mapa se ubicó el lugar donde se sembraron las plantas acompañantes, esta labor se realizó en tres jornadas, en el mapa se hace referencia a ello en la utilización de tres colores diferentes (Figura 25). En los surcos al interior del lote se establecieron 300 plantas de *N. tabacum* y 300 plantas de *L. camara*. *N. tabacum* se sembró por semilla, *L. camara* se sembró por estaca y se pasaron al interior del lote a los 4 meses después de su germinación, intercalando las plantas en cada surco. (Figura 26a, 26b).

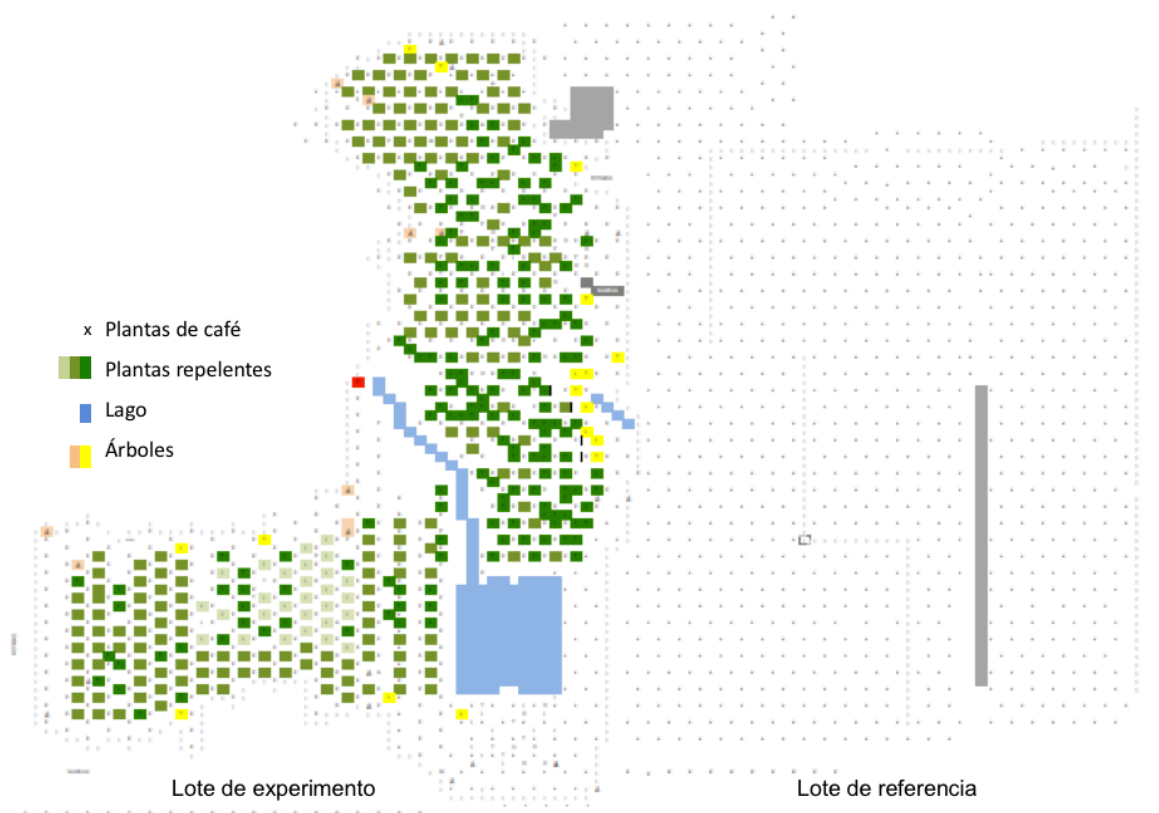


Figura 25. Mapa del lote de experimento y lote de referencia de la finca Canaguaro. Distribución de plantas acompañantes (*L. camara* y *N. Tabacum*) dentro del cafetal en el lote de experimento. Los diferentes tonos de verde representan tres diferentes fechas de siembra.



Figura 26. Establecimiento de las plantas repelentes al interior del cafetal en la Finca Canaguaro. a. *L. camara* en etapa vegetativa. b. *L. camara* produciendo flor al lado de los frutos de café. c. Calidad de la cosecha de café. d. *N. tabacum*, daño en las hojas causado por lepidópteros. e. Lepidópteros alimentándose de hojas de tabaco en campo. f. Crecimiento de la planta de *N. tabacum* luego de la aplicación con *Bacillus thuringiensis*.

Durante el establecimiento, se observó la presencia de un lepidóptero alimentándose de las plantas de *N. tabacum* (Figura 26b.) que causó la pérdida de muchas plantas ya establecidas en la finca, para su manejo se aplicó *Bacillus thuringiensis*, obteniendo resultados positivos en cuanto a la sanidad y crecimiento de las plantas (Figura 26f.). En la literatura se reporta que esta planta emite más compuestos volátiles como mecanismo de defensa cuando los insectos le generan una herida, y estos compuestos median interacciones

tritróficas entre la planta, el insecto y controladores biológicos (De Moraes et al., 1998, 2001; Delphia et al., 2006). Sería interesante evidenciar, si esta interacción entre la planta de tabaco y el insecto que hospeda, que ya se encontraba en el agroecosistema, aumenta la función de repeler a *H. hampei*, y si estos volátiles atraen enemigos naturales para la broca del café.

En esta primera aproximación a una finca, la metodología utilizada en el estudio de caso permitió diagnosticar el riesgo de presentar pérdidas a causa de la broca del café. Al tratarse del análisis de un solo predio, el peso asignado a los indicadores se fijó según el criterio de expertos, a medida que se realice la validación en varias fincas y se comparen los estados iniciales, el peso de las variables se debe obtener por medio de un análisis factorial multivariado. Con el resultado del diagnóstico se logró tomar la decisión de implementar esta propuesta en la finca Canaguaro.

Además, se realizaron las recomendaciones pertenecientes al plan de manejo: con la incorporación de las plantas acompañantes se espera aumentar la materia orgánica en el suelo, sin embargo, se recomienda sembrar cultivos transitorios que aporten mayor materia orgánica al cultivo. También, se enfatizó en la eficiencia de la aplicación de *B. bassiana*, solo cuando el insecto se encuentre en vuelo, por la biología del insecto, esta práctica no funciona como medida de prevención, al igual que restringir el uso de otros controladores biológicos de manera generalista como *B. thuringiensis*, ya que fue efectivo para las larvas del lepidóptero, pero no funciona para la broca del café debido al comportamiento críptico de sus larvas. Estas son prácticas, que no generan un impacto directo en la broca, pero sí un gasto económico innecesario y un daño ambiental, debido al desequilibrio a nivel del agroecosistema, ya que pueden estar bajando la población de insectos benéficos.

3.4.3. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante el trabajo doctoral provienen en su totalidad de parcelas experimentales. No se logró evaluar el funcionamiento de las plantas en una finca comercial, por esta razón se diseña una propuesta, como acercamiento en la ayuda a los caficultores interesados en la búsqueda de alternativas para el funcionamiento y manejo de sus cafetales.

Esta propuesta de conversión agroecológica va dirigida a todos los productores de café, ya sean minifundistas, con economías campesinas y empresariales, dependiendo del resultado del diagnóstico del riesgo de presentar pérdidas por la broca del café. En los tres sistemas se encuentran monocultivos y dependen, aunque en proporciones diferentes, de insumos externos. Se pretende hacer un acercamiento de la situación real de la caficultura colombiana distinguiendo entre los diferentes tipos de caficultores y planteando la ruta a seguir para la identificación del riesgo de presentar pérdidas por broca y tener herramientas para la toma de decisiones de un diseño de diversificación para el manejo de la broca del café.

Con este diseño se pretende aumentar la capacidad de respuesta del caficultor detectadas en el diagnóstico, mejorando las variables de 1. Diversificación del cafetal, pues se rompería la continuidad del monocultivo con la adición de dos o más especies vegetales. 2. Calidad del suelo, a medida que se implementen las prácticas de manejo, se protegerá el suelo y aumentará su fertilidad. 3. Posibilidad de encontrar diferentes canales de comercialización ya que la forma particular de producir y manejar el cafetal puede darle al café un valor agregado dentro del mercado de cafés especiales. 4. Apoyo en capacitación, porque formar parte de este proyecto participativo requiere como base entender el comportamiento de la plaga y la interacción con la planta hospedante y la planta repelente, pero también permitirá descubrir las sinergias del nuevo sistema, por lo que será el caficultor el que las evidencie y pasará a tener un papel importante en la capacitación de otros agricultores, al compartir sus logros y experiencias. Además, se espera que con la introducción de las plantas repelentes y las prácticas del plan de manejo se pueda alargar el periodo de recolecciones con intensidad de cada 15-18 a 20-30 días, sin que esto incremente los daños causados por la broca del café, reduciendo de esta manera la vulnerabilidad del sistema, ya que las recolecciones oportunas cada 15-18 días es un limitante del manejo.

Por otro lado, los enemigos naturales de la broca del café se encuentran presentes en el agroecosistema actual de la zona central cafetera, sin embargo, no ejercen la presión necesaria para regular las poblaciones de broca. Una vez se evidencie el incremento en la eficiencia de enemigos naturales al interior del cafetal, por la introducción de plantas acompañantes en

el cafetal, esta variable entraría a formar parte de la ecuación de riesgo como indicador que suma en la capacidad de respuesta del caficultor.

El departamento de Caldas cuenta con ventajas respecto a otras zonas cafeteras del país, en cuanto a condiciones de vida, institucionalidad cafetera, recursos naturales, calidad de suelos y acceso a las tecnologías de manejo (Córdoba y León-Sicard, 2013). Además, cuenta con una detallada información sobre su sistema productivo y un perfil del cafetero particularmente interesado en las innovaciones, por lo que se espera el interés de la propuesta por parte de los cafeteros de la zona. Es importante enfatizar el hecho de que los diseños agroecológicos son específicos del sitio y lo que se podrá duplicar en otra parte no son las técnicas sino las interacciones ecológicas y sinergias que generan sostenibilidad. No tiene sentido transferir tecnologías o prácticas de un lado a otro, si estas no son capaces de replicar las interacciones ecológicas asociadas con esas prácticas (Nicholls, 2010). Bajo las condiciones de la zona central cafetera, *L. camara* presentó buena adaptación al clima, a plagas y enfermedades, lugares con mayor luminosidad y menor humedad relativa puede favorecer aún más al conjunto de *L. camara* y *N. tabacum* como plantas repelentes de broca dentro del cafetal, por esta razón, se decidió escoger la finca para el estudio de caso fuera del departamento de Caldas, las condiciones climáticas y de densidad de siembra son mejores para el desarrollo de ambas plantas repelentes *L. camara* y *N. tabacum*. En otras zonas cafetaleras del mundo, también deben existir plantas con potenciales repelentes para la broca del café, este trabajo sirve como ruta para identificarlas teniendo en cuenta las condiciones y disponibilidades locales.

El establecimiento de diversidad en sistemas simples, como es el caso del diseño de atracción y repulsión establecido en los cultivos de maíz para el manejo de los barrenadores de la hoja funcionan exitosamente (Khan et al. 2015), pero a medida que se adiciona complejidad al sistema, el efecto puede dispersarse entre los nuevos compuestos volátiles, se pierde la concentración y por tanto, la función dentro del sistema (M. Altieri, comunicación personal, octubre 2015). Por esta razón, esta estrategia se plantea para cafetales simplificados, habría que evaluar el comportamiento de la broca del café en sistemas de mayor complejidad acompañados de *L. camara* y *N. tabacum* y

conocer la concentración de sus volátiles bajo las nuevas condiciones para determinar su función y pertinencia.

Con el desarrollo de esta propuesta, se hace evidente, una vez más, que el manejo de agroecosistemas ricos en especies son más difíciles de manejar que los sistemas simplificados (Nicholls, 2010; Altieri & Nicholls, 2017). El manejo agroecológico no es solamente un control biológico cuya finalidad es tomar decisiones de manejo para mantener a la población de la broca por debajo del nivel de daño económico. Las decisiones de manejo van encaminadas a bajar el riesgo hacia una plaga determinada. Esto implica no solo bajar la densidad poblacional de la plaga, sino mejorar la capacidad de respuesta, de tal forma que se incremente la resiliencia del sistema.

En la primera aproximación a una finca, la metodología utilizada en el estudio de caso permitió diagnosticar el riesgo de presentar pérdidas a causa de la broca del café, conocer sus causas y tomar decisiones frente a su manejo. Estos y otros aspectos del cafetal se pueden evaluar en métodos agroecológicos para evaluación de la sostenibilidad (Altieri & Nicholls, 2002) que identifican otras prácticas que se pueden implementar para mejorar el funcionamiento de este agroecosistema de café, sin embargo, se escogieron los indicadores más relacionados con la broca del café y pertinentes para el estudio de validación.

La Federación Nacional de Cafeteros ha sido el organismo encargado, desde hace 90 años, de hacer investigaciones y extensión y de dar las recomendaciones a los caficultores dependiendo de su sistema de producción y zona del país. Han desarrollado una línea de investigación en la parte agronómica para cafés sostenibles; el área de entomología ha desarrollado estrategias para la utilización de controladores biológicos que evita el uso de insecticidas y el empleo de tecnologías que facilitan la recolección, en el área de nutrición han trabajado con alternativas en la formas de fertilización orgánica para que esta sea más eficiente; en el área de economía, han trabajado sobre los costos en los diferentes sistemas de producción, entre otra. Para el desarrollo de esta propuesta se articuló esta información con el fin de que sea útil como supuestos para el establecimiento de este sistema productivo agroecológico. Sin embargo, al implementar esta propuesta en campo, es necesario evaluar particularmente los aportes y requerimientos para el sistema,

como por ejemplo, el aporte particular de materia orgánica de las plantas acompañantes en el cafetal, la comunidad de enemigos naturales atraídos por la incorporación de las plantas y posibles mejoras en la calidad del suelo.

4. CONCLUSIONES GENERALES

Con las evaluaciones de laboratorio fue posible identificar a *C. micans*, *L. camara*, *C. officinalis*, *S. rebaudiana*, *A. vulgaris* y *N. tabacum* como plantas repelentes para la broca del café. *E. sonchifolia* como planta atrayente. Estos resultados son el primer reporte de evaluación química y olfatométrica de plantas diferentes al género *Coffea* sp. siendo una primera aproximación para proponer el uso de diversidad funcional en el cultivo de café.

Continuando con las evaluaciones de infestaciones controladas en campo fue posible corroborar a *N. tabacum* como planta repelente para la broca del café, y en la prueba del diseño de atracción y repulsión se evidenció la repelencia del conjunto de plantas acompañantes *N. tabacum* y *L. camara* en lotes que iniciaron con cero por ciento de infestación y se recogieron los frutos maduros cada 18-20 días. No se encontró efecto atrayente de *E. sonchifolia*, pero se corroboró el efecto atrayente de la mezcla de alcoholes, utilizada comúnmente en la caficultura para diagnóstico de broca. Esta la primera vez que se evalúa un sistema de atracción y repulsión en el cultivo de café en el mundo. Estos contribuyen a la planeación de una propuesta viable y sostenible para reducir el riesgo de pérdidas a causa de la broca del café, por medio de un diseño que aprovecha la diversidad funcional del cafetal y fomenta el establecimiento de enemigos naturales de la broca el café, que reduce la frecuencia de intervención que hasta ahora hay que realizar en el cafetal para mantener baja la incidencia de broca. El alcance de esta propuesta es avanzar en las etapas de transición agroecológica de un cafetal por medio del cambio en la forma de identificar, abordar y dar alternativas de manejo al problema de la broca del café en Colombia.

5. RECOMENDACIONES

Los resultados evidencian la atracción del alcohol en campo, por tal razón, es importante ajustar las distancias de efecto

Es interesante continuar con estudios de ecología funcional, de manera que se pueda analizar con mayor profundidad las interacciones entre las plantas e insectos del nuevo cafetal y evidenciar otras sinergias del rediseño.

Es pertinente, que después de la elaboración de esta propuesta, sea validada con los caficultores respecto a su viabilidad y pertinencia. Más allá que las evaluaciones realizadas en el estudio de caso, será interesante poner en marcha la propuesta en varios cafetales y comparar los resultados a lo largo de la cosecha para su validación. Esta puede realizarse como lo presenta Vázquez, et al. (2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Hady, N.M., Abdei-Halim, A.S. & Al-Ghadban, A.M. (2005). Chemical composition and insecticidal activity of the volatile oils of leaves and flowers of *Lantana camara* L. cultivated. *Journal of the Egyptian Society Parasitology* 35 (2): 687-98.
- Acosta M, González M, Araque M, Velazco M, Khourt N, Rojas L, Usubillaga A. (2003). Composición química de los aceites esenciales de *Ocimum basilicum* L. var *basilicum*, *O. basilicum* L. var *purpurenscens*, *O. gratissimum* L. y *O. tenuiflorum* L. y su efecto antimicrobiano sobre bacterias multirresistentes de origen nosocomial. *Revista de la Facultad de Farmacia. Mérida, Venezuela* 45(1):19-24.
- Altieri, M.A. (1995). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. p.433. Westview Press. Boulder, USA.
- Altieri, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74: 19–31
- Altieri, M.A., Funes, F., Henao, A., Nicholls, C.I., Sicard, T.L., Vazquez, L.L., Zuluaga, G. (2012). Hacia una metodología para la identificación, diagnóstico y sistematización de sistemas agrícolas resilientes a eventos climáticos extremos. Documento preliminar de trabajo. Red Iberoamericana de Agroecología Para el Desarrollo de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático - REDAGRES. Medellín, Colombia.
- Altieri, M.A. Funes, F., Petersen P., Tomic, T., Medina, C. (2011). Sistemas agrícolas ecológicamente eficientes para los pequeños agricultores. Sesión de grupo 2. Foro Europeo de Desarrollo Rural 2011 Palencia, España 29 de marzo a 1 de abril.
- Altieri, M.A., & Letourneau DK. (1982). Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*. 1: 405-430.
- Altieri, M.A., & Nicholls, C.I. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo integrado de plagas y agroecología (Costa Rica)* 64: 17-24.
- Altieri, M.A., & Nicholls, C.I. (2004). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*: Binghamton USA: Food Products Press.

Altieri, M.A., & Nicholls, C.I. (2009). Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Perspectivas Agroecológicas. Icara editorial s.a., Barcelona. España. ISBN: 978-84-7426-764-8.

Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. (2010). Diseños agroecológicos para incrementar la biodiversidad de entomofauna benéfica en agroecosistemas. Editorial SOCLA

Altieri, M.A., & Nicholls, C.I. (2012). Agroecology: Scaling up for food sovereignty and resiliency. En Sustainable Agriculture Reviews, Springer. Volume 11. Dordrecht, The Netherland.

Altieri, M.A., & Nicholls, C.I. (2017). Technological approaches to sustainable agriculture at a Crossroads: An agroecological perspective. Sustainability. 9 (349) 1-13.

Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. Agron. Sustain. Dev. doi 10.1007/s13593-015-0285-2.

Altieri, M.A. Nicholls C.I., Montalba, R. (2017). Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. Sustainability 9, 349. doi:10.3390/su9030349.

Altieri, M.A., & Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. J Peasant Stud 38:587–612. doi:10.1080/03066150.2011.582947 .

Alvarado, G., Posada, H. Cortina, H.E. (2005) CASTILLO: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Avance técnico 335. Cenicafé.

Amudavi, et al. (2009). Assessment of Technical Efficiency of Farmer Teachers in the Uptake and Dissemination of Push-pull Technology in Western Kenya. Crop Protection 28:987–996.

Andersen, R., Hamilton-Kemp, T., Loughrin, J., Hughes, C., Hildebrand, D., Sutton, T. (1988) Green Leaf Headspace Volatiles from *Nicotiana tabacum* Lines of Different Trichome Morphology. Journal of. Agricultural Food Chemistry.36 (2): 295-299.

Ángel, M.A. (1993). La trama de la vida. Bases ecológicas del pensamiento ambiental. Ed. Dirección General de Capacitación del Ministerio de Educación Nacional- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) Universidad Nacional de Colombia. p.77. Bogotá.

Arcila, P.J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: Arcila, P.J.; Farfán, V.F., Moreno, B.A.M., Salazar L.F., Hincapié, G.E. Sistemas de producción de café en Colombia. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.

Arcila, A. (2011a). La floración, indicador del ataque de la broca. Brocarta 44. Cenicafé.

Arcila, M.A. (2011b). El periodo crítico del ataque de la broca del café. Brocarta 43: 1.

Arcila, J., & Farfán, F. (2011). Sistemas de Producción de Café, Capítulo 9. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica. Federación Nacional de Cafeteros, Chinchiná, Colombia.

Aristizabal, L.F. (2005). Investigación participativa en el Manejo Integrado de la Broca del Café. Proyecto “Investigación Participativa con pequeños agricultores para el Manejo Integrado de la Broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari)”. Proyecto Ent 0308 Cenicafé. Convenio COLCIENCIAS – FNC - Cenicafé. Código: 2251-07-12103 Contrato No. 263-2002COLCIENCIAS. (noviembre 2002 – noviembre 2004). Investigación participativa en el Manejo Integrado de la Broca del Café. Disponible 03 de marzo de 2017: https://www.researchgate.net/publication/274639374_Investigacion_participativa_en_el_Manejo_Integrado_de_la_Broca_del_Cafe.

Aristizabal, L.F., Bustillo, A.E., Jiménez, M., Trujillo, H.I. (2004). V Encuentro de caficultores experimentadores. Manejo integrado de la broca del café a través de investigación participativa. Convenio Colciencias-FNC-Cenicafé. Fundación Manuel Mejía, Chinchiná, septiembre 21 y 22 de 2004, 70 p.

Aristizabal, L.F., Salazar, H.M., Mejía, C.G. (2002). Investigación Participativa con Agricultores En El Manejo Integrado De La Broca Del Café En Colombia Convenio ICO/CFC/CABI Bioscience – FEDERACAFÉ - Cenicafé. Parte I. Informe final Proyecto del manejo Integrado de la Broca del Café 1988-2002– Informe de actividades del proyecto en Colombia, Guatemala, Honduras, México y Jamaica. Ed. Héctor Fabio Ospina. Feriva S.A. Cali, Colombia.

Aristizabal, L.F., Vélez, J.C., León, C.A. (2006). Diagnóstico del manejo integrado de la broca, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae), con caficultores Caldenses. Revista Colombiana de Entomología 32 (2): 117-124.

Ambrecht, I. & Gallego, M.C. (2007). Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124: 261–267.

Ayarza, M.A., Vilela, L. Pizarro, E.A. (1998) Estratégias de cultivo de milho (*Zea mays*) sobre cobertura permanente de *Arachis pintoii*. *Pasturas Tropicales*, 20, 28-30.

Baeza-Aragón, C.A., Benavides-Gómez M, Leguizamón-Caicedo, J.E. (1978). Plantas de la zona cafetera colombiana hospedantes de especies de *Meloidogyne* Goldi 1887. *Cenicafé* 29 No.2 pp.35-45.

Baker, P.S. (1989) A sampling plan for a control project against the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Mexico. *Tropical Pest Management* 35 (2): 169-172.

Barrera, J.F., Gamboa, W., Gómez, J., Valle, J. (2011). Método Holístico para la toma de decisiones en manejo de plagas. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) Tapachula, Chiapas, México. Tercer Congreso Latinoamericano de Agroecología.

Barrera J.F., Gómez J, Castillo A, López E, Herrera J, González G. (2008) Broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). En: Arredondo HC, Rodríguez LA. editores. Casos del Control Biológico en México. Mundi Prensa México. p 101- 120.

Barrera, J.F., Herrera, J., Gómez, J. (2007). Riesgo-vulnerabilidad hacia la broca del café bajo un enfoque de manejo holístico. En: La Boca del Café en América Tropical: Hallazgos y Enfoques. 2007. JF Barrera, A García, V Domínguez & C Luna (eds.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. México, p. 131-141. ISBN Libro: 978-970-9712-43-8; ISBN CD-ROM: 978-970-9712-44-5.

Barrera, J.F., Herrera, J., Valle, J. (2005). Efecto de la altura de la trampa en la captura de la broca del café: Implicaciones en dispersión y muestreo. *Entomología mexicana*. 4:542-546.

Barrera, J.F., Herrera, J., Villacorta, A., García, H., Cruz, L. (2006). Trampas de metanol-etanol para detección, monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. Simposio sobre trampas y atrayentes en detección, monitoreo y control de plagas de importancia económica. JF Barrera & P

- Montoya (eds.). Sociedad mexicana de entomología y el Colegio de la Frontera sur Manzanillo, Colima, México, p. 71-83. ISBN 970-9712-28-4.
- Bartlett, B.R. (1956). Natural predators. Can selective insecticides help to preserve biotic control? *Agricultural Chemistry*. 11(2): 42-44.
- Benavides, P. (2005). Distribución global de la broca del café: la versión molecular. En: Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. p. 7-11.
- Benavides P. & Arévalo, H. (2002). Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé (Colombia)*, 53 (1): 39-48.
- Benavides, P., Bustillo, A.E., Cárdenas, R., Montoya, E.C. (2003). Análisis biológico y económico del manejo integrado de la broca del café en Colombia. *Cenicafé* 54 (1):5-23.
- Benavides, P., Gaitán, A., Montoya, S.C. & Medina, R. (2015). Diagnóstico continuado de broca y roya en la zona cafetera de Colombia. Cuarta evaluación del 2015. Gerencia técnica. Federación Nacional de Cafeteros, Colombia.
- Benavides, P., Góngora C., & Bustillo A.E. (2012). IPM Program to control coffee Berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria Bastiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. En: *Insecticides – Advances in integrated pest Management*. (Ed. F Perveen) p. 511-540.
- Benavides, P., & Góngora, C. (2015). Combination of biological pesticide. U.S. Patent No. 20, 150, 359, 229. 17 December 2015. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Benavides, P., Vega, F.E., Romero-Severson, J., Bustillo, A.E., Stuart, J. (2005). Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Annals Entomological Society of America* 98 (3): 359- 366.
- Bergamin, J. (1943). Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867). (Coleoptera: Ipidae). *Arquivos do Instituto Biológico* 14:31-72.
- Blair, A., Ritz, B., Wesseling, C., Freeman, L. (2015). Pesticides and human health. *Occup Environ Med* 72:81-82.

Blair, S., & Madrigal, B. (2005). Plantas antimaláricas de Tumaco. Costa pacífica colombiana. Ciencia y tecnología. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.

Borbón-Martínez, O., Mora-Alfaro, O., Oehlschlager, A.C., González, L.M. (2000). Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto de cafeto, *Hypothenemus hampei* L. (Coleoptera: Scolytidae). p. 331 - 348. En: Memorias del XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. San José, Costa Rica. p.514.

Borbón-Martínez, O., Mora-Alfaro, O., Oehlschlager, A.C., González, L.M. (2004). Eficiencia de las trampas de vasos para monitoreo y control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) en Costa Rica y Nicaragua. Workshop Internacional sobre o Manejo da broca-do-café. 28 de noviembre de 2004. Londrina, Brasil. 113-138.

Bruce, J.A., Wadhams, I.J., Woodcock, C.M. (2005). Insect Host location: a volatile situation. Trends plant science. 10:269–274.

Bustamante, A.M. (2007). Evaluación de 42 extractos vegetales para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari). Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

Bustillo, A.E. (1991). Perspectivas de manejo integrado de broca del café, *Hypothenemus hampei* en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Medellín, Colombia. Miscelánea 18: 106-118.

Bustillo, A.E. (1995). El uso del hongo *Beauveria bassiana* como un componente en un programa de manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*. In: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN. 22. Bogotá, Julio 26-28.

Bustillo, A.E. (2004). Un nuevo modelo de trampa para la captura de adultos de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Nota Científica. Entomólogo (Colombia) 32 (97): 2-4.

Bustillo, A.E. (2002). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. FNC - Cenicafé, Chinchiná, Colombia. Boletín Técnico No. 24. p.40.

Bustillo, A.E. (2006). Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei*, (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. Revista Colombiana de Entomología 32(2): 101-116.

- Bustillo, A.E. (2008). Aspectos sobre la broca del café *Hypothenemus hampei*, en Colombia. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. p.466. Cenicafé. Chinchiná (Colombia). Blanecolor Ltda.
- Bustillo, A.E., Cárdenas, R., Posada, F.J. (2002). Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. Neotropical Entomology 31 (4): 635 – 639.
- Bustillo, A.E., Cárdenas, R., Villalba, D.A., Benavides, P., Orozco, J., Posada, F.J. (1998). Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, Editorial Feriva. 1st ed. Chinchiná, Colombia. p. 134.
- Bustillo, A.E., & Jiménez, M. (2003). Captura de adultos de la broca del café en trampas con atrayentes. Cenicafé. Brocarta No. 36.
- Brun, L.A., Marcillaud, C., & Gaudichon, V. (1994). Cross resistance between insecticides in Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from New Caledonia. Bulletin of Entomological Research 84, 175–178.
- Callicott, B. (1988). Agroecology in context. Journal of Agricultural Ethics. 1: 3-9.
- Cantor, F., O. DeSouza, E. F. Vilela, C. A. Faria y F. G. Costa. (2000). Local deterrence of multiple attacks by the coffee berry borer. En: XXI International Congress of Entomology, Brazil, p. 164.
- Cadena, G., & Baker, P.S. (2001). Sustainable Coffee. In: Baker, PS. Ed. Coffee Futures. A Source Book of Some Critical Issues Confronting the Coffee Industry. CABI, FEDERACAFE, USDA, ICO. Chinchiná, Colombia. The Commodities Press. Manizales-Ascot. p. 56-65.
- Cárdenas, M.R. (2000). Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Memorias del XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). San José, Costa Rica. p. 369-379.
- Castaño-Castrillón, J.J., & Quintero, G.P. (2004). Calidad de extractos de café perforados por la broca obtenidos por crioconcentración. Cenicafé 55(3):183-201.
- CENICAFÉ. Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2014). Manejo integrado de la broca. Cartila No.14. Chinchiná, Colombia, p 24-44.

- Chiavenato, I. (1999). Introducción a la teoría general de la administración. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Constantino, L.M. (2010). La broca del café...un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y altitud. Brocarta 39: 1-2.
- Costa, F.G. (2002). Avaliação de semioquímicos do café para seu emprego em programas de controle e monitoramento da broca do café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Dissertation, Universidade Federal de Viçosa.
- Cook, S.M., Khan, Z.R., & Pickett, J.A. (2007). The use of 'push-pull' strategies in integrated pest management. Annual Review of Entomology. 52: 375-400.
- Córdoba-Vargas, C. & Sicard, T.E. (2013). Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca - Colombia). Agroecología 8 (1): 21-32.
- CORPOICA, (2011). Informe técnico final, proyecto: investigaciones sobre los efectos del cambio climático en la distribución altitudinal de insectos plaga del café y sus enemigos naturales en la zona cafetera de Colombia. p.78.
- Costanza, R., Norton, B., Haskell, B.J. (editores) (1992). Ecosystem Health: new goals for environmental Management. Island Press. Washington, USA.
- Damon, A. (1999). Evaluation of current techniques and new approaches in the use of *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae) as a biological control agent of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in Chiapas, México. Ph.D. thesis, Imperial College, University of London. 327 pp.
- Damon A., Segura H., Valle J., Santiesteban A. (1999). Effect of *Euphorbia hirta* nectar and its component sugars, upon the survival of bethyrid parasitoids of the coffee berry borer. Entomologist. 24(1):49-59.
- Da Silva, F.C., Ventura, M.U., Morales, I. (2006). Capture of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) in response to trap characteristics. Scientia Agricola (piracicaba) 63:567-571.
- Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D.M., Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). Botanical journal of the Linnean Society 152:465 - 512.
- Day, M. D.; Wiley, C. J.; Playford, Julia and Zalucki, Myron. P. (2003). Lantana Current Management Status and Future Prospects. Canberra - Australia. ACIAR Monograph 102.

Debbun, M., Frances, S., Strickman, D. eds. (2007). Insect repellents: principles, methods, and uses. Taylor & Francis. USA. p. 503.

Delphia, C., Mark, C., Mescher, M., Felton, G., De Moraes, C.M. (2006). The Role of Insect-Derived Cues in Eliciting Indirect Plant Defenses in Tobacco, *Nicotiana tabacum*. *Plant Signaling & Behavior* 1: 5, 243-250.

De Moraes C.M, Lewis WJ, Paré PW, Alborn HT, Tumlinson JH (1998) Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature* (393): 570-573.

De Moraes, C.M., Mescher, M. & Tumlinson, J.H. (2001). Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature* 410: 577-580.

Devi, M., Solomon, E., Chandru, D. (2013) Enhancement of soil fertility through agro inputs on response to cover crop of *Crotalaria juncea* L. Microbiological research in agroecosistema Management. 175-186.

Díaz, S. & Cabido, M. (2001). Vive la difference: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*. Vol 16; Issue 11; pp. 646-655. doi: 10.1016/S0169-5347(01)02283-2

Duarte, M.T. (1992). Determinación de la atractividad de los frutos de varios cultivares de café a la broca del fruto (*Hypothenemus hampei*, Ferr.) utilizando el método de olfatometría a nivel de laboratorio. Universidad de San Carlos. Facultad de Agronomía. San Carlos, Brasil.

Dufour, B.P. (2004). Condiciones del uso de las trampas en el control de la broca del café. Workshop International sobre o Manejo da broca-do- café. 28 de noviembre de 2004. Londrina, Brasil. p. 7

Dufour, B.P. & Frérot, B. (2008). Optimization of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Col., Scolytidae), mass trapping with an attractant mixture. *Journal of Applied Entomology*. 132 (7): 591-600.

Dufour, B.P., Etienne, L., Ribeyre, F., Avelino, J. (2013). Field study of the attractant and repellent potential of VOC for the coffee berry borer. Association for science and information on coffee. 24th International Conference on coffee science –CD-ROM edition. Coffee science International conference.

Dufour, B.P., González, M.O., Mauricio, J.J., Chavez, B.A., Ramírez, R. (2005). Validation of coffee berry borer (CBB) trapping with the brocap trap. En: XX international conference on coffee science. Bangalore. India. p. 1243-1247.

Duke, S.O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*. 217, 529-539.

- Duque, H. & Baker, P.S. (2003). Devouring profit: the socio-economics of coffee Berry borer. IPM. Chinchiná, The Commodities Press- CABI- Cenicafé.
- Duque, H. & Chaves, B. (2000). Estudio sobre la adopción del manejo integrado de la broca del café. Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. Chinchiná, Colombia.
- Duque, H., & Chaves, B. (2002). Probabilidad de retorno de la mano de obra para la recolección de café en la zona central cafetera de Caldas. Cenicafé. 53(1):162-178.
- Duque, H., Márquez, A., Hernández, M. (2002). Estudios de caso sobre costos de manejo integrado de la broca del café en el departamento de Risaralda. Cenicafé 53(2):106-118.
- Dwomoh E.A., Ofori-Frimpong K., Afrita A., Appiah M.R. (2008). Effects of fertilizer on nitrogen contents of berries of three coffee clones and berry infestation by the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera:Scolytidae). African Journal of Agricultural Research 3(2):111-114.
- Ekong, J. (2015). Putting banana-coffee intercropping research into action. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen.
- Esquinca, A.H. (1986). Búsqueda de semioquímicos en la interacción *cafeto Coffea spp.* broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) mediante bioensayos olfatométricos. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Espinosa J.A., Rios L.A., & Zapata, M.A. (2011). Los diseños agroecológicos: Una herramienta para la planeación agrícola sostenible. Proyecto Diseños agroecológicos en Tumaco, Nariño-Colombia. Programa MIDAS – USAID. Universidad de Antioquia. Medellín.
- Farfán, F. (2014). Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. FNC-Cenicafé. Manizales, Caldas (Colombia).
- Farfán, F. (2014). Agroforestería y sistemas agroforestales con café. p.342. Federación Nacional de cafeteros - Cenicafé. Manizales, Colombia.
- Farfán F., Serna, C., Sanchez, P.M (2015) Almácigos para caficultura orgánica Alternativas y costos. Avance técnico 452. Cenicafé.

Farrington, J., & Martin, A. (1987). Farmer Participatory Research: A review of concepts and practices. Agricultural Administration Network, Discussion Paper 19.

Feeny, P. (1976). Plant appearance and chemical defense. In: Wallace, J.W., Nansel, R.L. (eds) Biological interactions between plants and insects. Recent advances in phytochemistry, 10. Plenum, New York.

Fischersworing, B., Schmidt, G., Linne, K., Line, G., Pringle, P., Baker, P. (2015). Climate Change Adaptation in Coffee Production: A step-by-step guide to supporting coffee farmers in adapting to climate change. Hamburgo, Alemania, Coffee & Climate Initiative. Disponible en <http://toolbox.coffeeandclimate.org/content/wp-content/uploads/2012/10/cc-step-by-step-guide-for-climate-change-adaptation-in-coffee-production.pdf>.

FNC - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2009). LXXIII Congreso Nacional de Cafeteros. Informe del Gerente.

FNC - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – (2015). LXXXII Congreso Nacional de Cafeteros. Informe del Gerente.

FNC - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2015). LXXXII Congreso Nacional de Cafeteros. Informe del Gerente.

FNC - Federación Nacional de Cafeteros. (2016). Estadísticas históricas.

Disponible en

http://www.federaciondecafeteros.org/particulares/es/quienes_somos/119_estadisticas_historicas. Consultado 30 de septiembre de 2016.

FNC – Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2017). Tabla de precio interno de referencia para la compra de café pergamino seco por carga de 125Kg. Estadísticas diarias. Disponible abril 12 de 2017.

https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/precio_cafe.pdf

FNC – Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2015). Comportamiento de la industria cafetera colombiana. Disponible junio 5 de 2017.

https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Informe_Comportamiento_de_la_Industria_2015.pdf

FNC - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2002). Comité Nacional de Cafeteros – Resolución No.5/2002/VI/6 Disponible: abril 13 de 2017.

<http://www.cafedecolombia.com/static/files/Resolucion%205%20de%202002%20%28Calidades%20Exportacion%29.pdf>

Franco, J. (2013). Etnobotánica con enfoque agroecológico asociada al agroecosistema café en Risaralda (Colombia). Tesis de Maestría. Universidad Internacional de Andalucía, España.

Gastón, J., Vera, L., Vieli, L., Montalba, R. (2009). Capítulo 1: Conceptos unificadores para la sustentabilidad de la agricultura: (Altieri M.A. ed) Elementos teóricos para el desarrollo de la agroecología. Vertientes del pensamiento agroecológico. p. 11-44. Medellín, Colombia.

Ghosh, S., Subudhi, E., Nayak, S. (2008). In-vitro Antimicrobial and Antitumor Activities of *Stevia rebaudiana* (Asteraceae) Leaf Extracts. International Journal of Integrative Biology. 2:1-27.

Gil, Z. N., Benavides, P., Souza, O. D., Acevedo, F. E., & Lima, E. (2015). Molecular markers as a method to evaluate the movement of *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Journal of Insect Science*, 15(1), 72. <http://doi.org/10.1093/jisesa/iev058>.

Giordanengo, P., Brun, L.O., Frerot, B. (1993). Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. *Journal of Chemical Ecology* 19: 763-769.

Giraldo, N. & Valencia, C.E. (2000). Evaluación de productos biológicos para el manejo de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae). Santa Rosa de Cabal. Facultad de Agronomía. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. 80 pp.

Glissman, S.R., Rosado-May, F.J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka J., Cohn, A., Mendez V. E., Cohen R., Trujillo L., Bacon, C., Jaffe R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas* 16(1):13-23. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=459>.

Global Invasive Species Database (2017). Species profile: *Lantana camara*. Downloaded from <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=56> on 04-04-2017.

Green, P., Davis, A.P., Cossé A., Vega, F. (2015). Can Coffee Chemical Compounds and Insecticidal Plants Be Harnessed for Control of Major Coffee Pests? *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63: 9427–9434.

Gomes de Lima, J.O., Campos-Pereira, R., Muniz De Lacerda Miranda, P.C., Matoso Viana-Bailez, A.M., Villacorta-Mosqueira, A. (2004). Identificacao e atratividade de novos volateis do café cereja e desenvolvimento de armadilha

para a coleta massal da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) En: Workshop Internacional sobre o Manejo da Broca-do-Café, Londrina, Parana, Brasil.

Gómez, A. (1990). Las malezas nobles previenen la erosión. Avances Técnicos Cenicafé No. 151:1-4.

Gómez, A. & Rivera, H. (1993). La conservación de los suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera. Avance Técnico 190. ISSN-0120-0178.

Gómez, A., & Rivera, H. (1995). Descripción de arvenses en plantaciones de café. Chinchiná, Colombia. Cenicafé. 481p

González-Zúñiga, J.A., González- Sánchez, H.M., González-Palomares, S., Rosales-Reyes, T., Andrade-González, I. (2011). Microextracción en fase sólida de compuestos volátiles en albahaca (*Ocimum basilicum* L.) Acta Universitaria. Universidad de Guanajuato 21(1) 17-22.

González, H., Salamanca, A. (2014). Unidades de suelo representativas de la zona cafetera colombiana. Cenicafé. Chinchiná, Colombia.

González, J.M. & Gurdian, W. (1998). El Cultivo de Tabaco *Nicotiana tabacum* Escuela agrícola Panamericana. Departamento de protección vegetal.

González, M.O., & Dufour, B.P. (2000). Diseño, desarrollo y evaluación del trapeo en el manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr. En el Salvador. En: XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura, Costa Rica, p. 381-396.

Gutiérrez-Martínez A & Ondarza RN (1996). Kairomone effect of extracts from *Coffea canephora* over *Hypothenemus hampei*. Environmental Entomology 25: 96-100.

Góngora, C.E. (2011). Como usar el hongo *Beauveria bassiana* para proteger su cosecha de café. Brocarta No 42. Cenicafé, Chinchiná, Colombia.

Góngora C.E., Marín P., & Benavides, P. (2009). Claves para el éxito del hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico de la broca del café. Avance Técnico. Cenicafé. 381: 1-8.

Guerreiro-Filho, O. & Mazzafera, P. (2003). Caffeine and Resistance of Coffee to the Berry Borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Journal of Agricultural Food Chemistry. 51 (24): 6987–6991

- Gurr, G., Wratten, S., Altieri, M. (2004). *Ecological Engineering for Pest Management Advances in Habitat Manipulation for Arthropods* ISBN 0 643 09022 3. Australia.
- Gunderson, L. & Holling, C.S. (editores) (2001). *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. p. 448. Washington (DC): Island Press.
- Gutiérrez-Martínez, A. & Ondarza, R.N. (1996). Kairomone effect of extracts from *Coffea canephora* over *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology* 25: 96–100.
- Guzmán, B.L. (2010). *Plan de Gestión Ambiental Municipal de Chinchiná*. Oficina de Desarrollo Económico. Chinchiná, Colombia.
- Guzmán, G., López, D., Román, L., Alonso, A. (2013). Investigación acción participativa en agroecología: Construyendo el sistema agroalimentario ecológico en España. *Agroecología* 8(2): 89-100.
- Henao, A. (2013). Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en los andes colombianos. *Agroecología* 8 (1): 85-91.
- Henao, L.M. (2008). Control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con extractos vegetales de plantas de la flora regional. Tesis de pregrado. Escuela de tecnología en química. Universidad Tecnológica de Pereira. p. 58. Pereira, Colombia.
- ICO - International Coffee Organization. (2015). *Statistics on coffee: All exporting countries total production crop years 2010/11 to 2014/15*. ICO. Londres, Inglaterra.
- ICO - International Coffee Organization. (2017). *Statistics on coffee: All exporting countries total production crop years 1990 to 2017*. ICO. Disponible 04 abril de 2017: http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics.
- Isman, M. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual review of entomology*. 51(1): 45-66.
- James, D.G. (2003). Synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Environmental Entomology* 32: 977-982.

James, D.G. (2005). Further field evaluation of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Journal Chemistry Ecology*. 31 (3):481-495.

Jaramillo, J., Bustillo, A.E., Montoya, E.C. (2002). Parasitismo de *Phymastichus coffea* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei* en frutos de café de diferentes edades. *Revista Cenicafé*, 53 (4): 317-326.

Jaramillo, J., Bustillo, A.E., Montoya, E.C., Borgemeister, C. (2005). Biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) by *Phymastichus coffea* LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) in Colombia. *Bulletin of Entomological Research*. 95: 1 – 6.

Jaramillo, J., Chapman, E.G., Vega, F.E., Harwood, J.D. (2010). Molecular diagnosis of a previously unreported predator-prey association in coffee: *Karnyothrips flavipes* predation on the coffee berry borer. *Naturwissenschaften* 97:291-298.

Jaramillo, J.L., Montoya, E.C., Benavides, P., Góngora, C.E. (2015). *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de broca del café en frutos del suelo. *Revista Colombiana de Entomología* 41(1): 95-104. ISSN 0120-0488.

Jaramillo, J., Torto, B., Mwenda, D., Troeger, A., Borgemeister, C., Poehling H-M, Francke W. (2013). Coffee Berry Borer Joins Bark Beetles in Coffee Klatch. *PLOS ONE* 8(9): e74277.doi:10.1371/journal.pone.0074277.

Jarquín, R. (2005). Estudio de métodos para el uso del Manejo Integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* en comunidades del Soconusco y Sierra de Chiapas, México (Tesis doctoral). El Colegio de la Frontera del Sur. Tapachula, Mexico.

Jarma, A., Rengifo, T., Hermes, A. (2005). Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía colombiana*. [online].23(2): 207-216. ISSN 0120-9965.

Kawaree, R. & Chowwanapoonpoh, S. (2009) Stability of Chemical Components and Antioxidant Activity of Volatile Oils from Some Medicinal Plants in Thailand. *CMU Journal of Natural Sciences* 8(1).

Kessler, D., Kallenbach, M., Diezel, C., Rothe, E., Murdock, M., Baldwin, I. T. (2015). How scent and nectar influence floral antagonists and mutualists. *eLife*. doi: 10.7554/eLife.07641. <http://dx.doi.org/10.7554/eLife.07641>

Khan, Z.R., Chiliswa, P., Ampong-Nyarko, K., Smart, L.E., Polaszek, A., Wandera, J., Mulaa, M.A. (1997). Utilization of wild gramineous plants for management of cereal stemborers in Africa. *Insect Science Application* 17:143–150.

Khan, Z.R., Pickett, J.A., van den Berg, J., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M. (2000). Exploiting chemical ecology and species diversity: stemborer and striga control for maize and sorghum in Africa. *Pest Management Science* 56: 957-962.

Khan, Z.R., Hassanali, A., Overholt, W., Khamis, T.M., Hooper, A.M., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M. (2002). Control of witchweed *Striga hermonthica* by intercropping with *Desmodium spp.*, and the mechanism defined as allelopathic. *Journal of Chemical Ecology* 28:1871–1885.

Khan, Z.R. & Pickett, J. (2008). The ‘push–pull’ strategy for stemborer management: a case study in exploiting biodiversity and chemical ecology In: Gurr, G.M., SD Kumar, V, Mills, D.J., Anderson, J.D., Mattoo, A.K. (2004). An alternative agriculture system is defined by a distinct expression profile of select gene transcripts and proteins. *PNAS*, 101(1): 10535-10540.

Khan, Z.R., Midega, C.A.O., Bruce, T.J.A., Hooper, A.M., Pickett, J.A. (2010) Exploiting phytochemicals for developing a ‘push–pull’ crop protection strategy for cereal farmers in Africa. *Journal of Experimental Botany* 61: 4185–4196

Khan, Z.R., Midega, C., Pittchar, J., Pickett, J., Broce, T. (2011). Push–pull technology: a conservation agriculture approach for integrated management of insect pests, weeds and soil health in Africa. UK government's Foresight Food and Farming Futures project. *International Journal of Agricultural Sustainability* 11(1): 162-170.

Kumar, S., Malhotra, R., Kumar, D. (2010) *Euphorbia hirta*: Its chemistry, traditional and medicinal uses, and pharmacological activities. *Pharmacognosy Review*. 4 (7): 58-61.

Kumar, M.S. & Maneemegalai, S. (2008). Evaluation of larvicidal effect of *Lantana camara* Linn. against mosquito species *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. *Advances in Biological Research* (2): 39-43.

Quizhpi, T. (2012). Gestión y administración de granjas agroecológicas familiares y comunitarias. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.

- Lara, J.C., López, J.C., Bustillo, A.E. (2004). Efecto de entomonematodos sobre poblaciones de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), en frutos en el suelo. *Revista Colombiana de Entomología*, 30 (2): 179-185.
- Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu Rev Entomol* 45:175–201
- Lemus-Mundaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K. (2012) *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*. 132 (3):1121-1132.
- León-Sicard, T.L., Turbay, S., Altieri, M., Nicholls, C., Arguello, H., Fuentes, C., Prager, M., Sánchez de Prager, M., Vélez, L., Márquez, M., Cadavid, C., Otero J., Menjívar, J., Cotes, J., Franco, F., Zárate, C., Palacio, G. (2008). Programa de doctorado en Agroecología. Propuesta de creación. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia – Universidad de Antioquia. 168 p.
- León-Sicard, T. (2009). Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. En: Capítulo 2. Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y aplicaciones. Medellín, Colombia. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología SOCLA, 2009. 207-228.
- Lin, B.B. (2007). Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agriculture and Forest Meteorology* 144:85-94. doi:10.1016/j.agrformet.2006.12.009.
- López, J.C., Góngora, C.E., Plichta, K., Stock, P., Plichta, K. (2008). A new entomopathogenic nematode, *Steinernema colombiense* n. sp. (Nematoda: Steinernematidae) from Colombia. *Holanda Nematology*. 10(4):561-574.
- López-Ávila, A. & Rincón, F. (2006). Diseño de un olfatómetro de flujo de aire para medir respuestas olfativas de insectos de tamaño mediano y pequeño. Nota Técnica. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7(1):61-65.
- López-Cruz, I., Díaz-Díaz, B., Rojas, J. (2016). Coffee volatiles induced after mechanical injury and beetle herbivory attract the coffee berry borer and two of its parasitoids. *Arthropod-Plant Interactions* (2016) 10:151–159

- López-Ridaura, S., Masera, O., Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental Systems. The MESMIS Framework. Ecological indicators. 2 (1-2): 135-148.
- Loreau, M. (2004). Does functional redundancy exist?. Oikos, 104: 606–611. doi:10.1111/j.0030-1299.2004.12685.x
- Lou, Y., Hu, L., Li, J. (2015). Herbivore-induced defenses in rice and their potential application in rice planthopper management. Chapter 5. In eds. Heong K., Cheng J., Escalada M. Rice Planthoppers. Ecology, management, socio economics and policy. doi 10.1007/978-94-017-9535-7
- Madrigal, A. (2001) Fundamentos de control biológico de plagas. Universidad Nacional de Colombia.
- Mafra-Neto, A., Ponce, J., Urrutia, W., Bernanrdi, C., Oliveira Da S. (2016). Compositions and methods for repelling coffee berry borer. U.S. Patent No. 20 160128324. 12 May 2016. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Magdoff, F. (1999). Capítulo 13. Manejo integrado de plagas In: (Altieri MA ed.) Agroecología. Base teórica para una agricultura sustentable. Nordan-Comunidad. p. 247-260. Montevideo, Uruguay.
- Marín-Nieto, H., Cardona, M.C., Suárez, S. (1996) Multiplicación y establecimiento del maní forrajero en cafetales. Avance técnico 230. Cencafé. ISSN-0120-0178.
- Margalef, R. (1968). Perspectives in Ecological Theory, University of Chicago Press, p. 111. Chicago, Illinois, USA.
- Márquez, M. (1992) Control biológico de malezas. Monografía. Curso de control de plagas. Medellín. Universidad Nacional de Colombia. 49p.
- Márquez-Girón, S.M. (2013) Riesgo ambiental por uso del clorpirifos en zonas de ganadería de leche y propuesta de conversión agroecológica, en san pedro de los milagros, Colombia (Tesis doctoral). Facultad de ciencias agrarias. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
- Mathieu, F., Malosse, C., Frerot, B. (1998). Identification of volatile components released by fresh coffee berries at different stages of ripeness. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46:1106-1110.
- Matienzo Y., Ramos, B., Rijo, E. (2003) Revisión bibliográfica sobre *Lantana camara* L. Una amenaza para la ganadería. Fitosanidad 7(4) 45-55.

Maturana, H.R. (1992). Cognition and Autopoiesis: a brief reflection on the consequences of their understanding. En: The State Law, and Economy as Autopoietic Systems. Gunter Teubner y Alberto Febbrajo (eds.). Giuffrè Editore, Milano, Italia.

Medina-Filho, H., Maluf, M., Bordignon, R., Guerreiro-Filho, O., Fazuoli, L. (2006). Traditional breeding and modern genomics: a summary of tools and developments to exploit biodiversity for the benefit of the coffee agroindustrial chain. In VI International Solanaceae Conference: Genomics Meets Biodiversity 745: 351-368.

Mendesil, E., Bruce T.J.A., Woodcock, C.M., Caulfield, J.C. (2009). Semiochemicals used in Host Location by the Coffee Berry Borer, *Joural of Chemical Ecology*. 35: 944–950. doi 10.1007/s10886-009-9685-6.

Mendoza, J.R. (1991). Resposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semioquímicos. M.S. thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 44 pp.

Mendoza, J.R., Gomes De Lima, J.O., Vilela, E.F., Fantón, C.J. (2000) Atratividade de frutos à broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari): estímulos visuais e olfativos. 313-331. In: Anais. Proceedings, 3rd Seminário Internacional sobre Biotecnologia na Agroindústria Cafeeira. Londrina. Brasil.

Molina, J.P., & López, J.C. (2002) Desplazamiento y parasitismo de entomonematodos hacia frutos infestados con la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Colombiana de Entomología* 28 (2): 145-151.

Montoya, R.E.C. (1999). Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida Cenicafé 50(4):245-258.

Morin, E. (1990). Introducción al pensamiento complejo. 8 Edición. GEDISA. Editorial. Barcelona, España.

Moreno, A., & Rivera, H. (2003) Rotación de cultivos intercalados con café, utilizando el manejo integrado de arvenses. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 307:1-8.

Muanda, F.N., Soulimani, R., Diop, B., Dicko, A. (2011). Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *LWT – Food Science and Technology*. 44 (9) 1865-1872.

- Muko, K.N., & Ohiri, F.C. (2000) A preliminary study on the anti-inflammatory properties of *Emilia sonchifolia* leaf extracts. *Fitoterapia*. 71(1):65-68.
- Naeem, S. & Li, S. (1997). Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390: 507-509. doi:10.1038/37348.
- Njihia, T.N. (2015). Chemical Ecology of the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus Hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae): The Role of Two Spiroacetals in the Insect-Host Communication System. Thesis. MSc. Plant Health, Science and Management. <http://hdl.handle.net/123456789/1796>
- Njihia, T.N., Jaramillo, J., Murungi, L., Mwenda, D., Orindi, B., Poehling, H.M., Torto, B. (2014). Spiroacetals in the colonization behaviour of the coffee berry borer: a 'push-pull' system. *PLoS One*.9 (11):e111316. doi: 10.1371/journal.pone.0111316.
- Ngassoum, M.B., Yonkeu, S., Jirovetz, L., Buchbauer, G., Schmaus, G., Hammerschmidt, F.J. (1999). Chemical composition of essential oils of *Lantana camara* leaves and flowers from Cameroon and Madagascar. *Flavour and Fragrance Journal*. 14: 245–250. doi:10.1002/(SICI)1099-1026(199907/08)14:4<245:AID-FFJ819>3.0.CO;2-X
- Nicholls, C.I. (2008). Control biológico de insectos – Un enfoque agroecológico. Universidad de Antioquia. Medellín – Colombia. 282 p.
- Nicholls, C.I. (2009) Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. In: Capítulo 9. Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y aplicaciones. Medellín, Colombia. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología SOCLA. 207-228.
- Nicholls, C.I. (2010) Contribuciones agroecológicas para renovar las fundaciones del manejo de plagas. *Agroecología* 5: 7-21.
- Nicholls, C.I. & Altieri, M.A. (2008) Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. *Leisa* septiembre. 5-8.
- Nicholls, C.I. & Altieri, M.A. (2012). Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. doi 10.1007/s13593-012-0092-y.
- Nicholls, C.I., Parrella, M., Altieri, M.A. (2000). Reducing the abundance of leafhoppers and thrips in a northern California organic vineyard through

maintenance of full season floral diversity with summer cover crops. *Agricultural and Forest Entomology* 2: 107-113.

Nicholls, C., Parrella, M., Altieri, M.A. (2001). The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard Landscape. *Ecology* 16: 133–146.

Nicholls, C.I., Altieri, M.A., Henao, A., Montalba, R., Talavera, E. (2015). *Agroecología y el Diseño de Sistemas Agrícolas Resilientes al Cambio Climático*. Redagres 2015.

Nestel, D. & Altieri, M.A. (1992). The weed community of Mexican coffee agroecosystems: effect of management upon plant biomass and species composition. *Acta Ecológica* 13: 715-726.

Noldus, L. (1988). Response of the egg parasitoid *Trichogramma Pretiosum* to the sexpheromone of its host *Heliothis zea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 48: 293–300.

Ohgushi, T., Craig T., Price P. Eds. (2007). *Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs*. Cambridge University Press. UK.

Onstad, D. (2017). Just the facts 101. Textbook key facts. Insect resistance management. Biology, economics and prediction.

Ortiz, A., Ortiz, A., Vega, F.E., Posada, F. (2004). Volatile Composition of Coffee Berries at Different Stages of Ripeness and Their Possible Attraction to the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 52: 5914- 5918.

Ospina, O., Duque, H., Farfán F. (2003) Análisis económico de la producción de fincas cafeteras convencionales y orgánicas en transición, en el departamento de Caldas. *Cenicafe*. 54(3): 197-207.

Pacheco, A., Blanco-Metzler, H., Mora, R. (2012). Modificación De Olfatómetros De Cuatro Brazos Para Experimentación En Broca Del Café, *Hypothenemus Hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) *Agronomía Costarricense* 36(1): 69-78. ISSN:0377-9424 / 2012.

Perfecto, I., Rice, R.A., Greenberg, R., Vand der Voort, M.E. (1996). Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity, *BioScience* 46: 598–609

Perfecto, I. & Vandermeer, J. (2015). *Coffee Agroecology: A New Approach to Understanding Agricultural Biodiversity, Ecosystem Services and Sustainable*

Development. Earthscan Routledge. London and New York. ISBN 1134056141, 9781134056149.

Perfecto, I., Vandermeer, J., Philpott, S.M. (2010) Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico autónomo. *Agroecología* 5: 41-51.

Petchey, O.I. & Gaston, K.J. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5: 402–411.

Petchey, O.I. & Gaston, K.J. (2006). Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9: 741–758.

Pickett, J.A., Woodcock, C.M., Midega C., Khan, Z.R. (2014). Push–pull farming systems. *Current Opinion in Biotechnology* 26:125–132.

Plataforma Comercio Sostenible (2014). Estudio de caso costos de producción de café en Colombia. Disponible en: 04/05/2017 http://comerciosostenible.org/sites/default/files/archivosSDL/150522_estudiocostosproduccion.pdf.

Plataforma agroclimática cafetera. (2016) Boletines diarios. Cenicafé. Federación Nacional de Cafeteros. http://agroclima.cenicafe.org/web/guest/boletin_diario.

Pohlan, J., Giesemann, B., Valenzuela, M. (2004). Efectos de diferentes coberturas en el café (*Coffea arabica* L.) sobre la presencia de broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y su daño causado en la fruta. Resúmenes I Congreso Internacional sobre Desarrollo de Zonas Cafetaleras, 6-8- octubre de 2004, p. 44. Tapachula Chiapas, México.

Posada, F.J., Villalba D.A., Bustillo, A.E. (2004). Los insecticidas y el hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. *Revista Cenicafé* 55 (2): 136-149.

Pyke, B., Rice, R., Sabine, B., Zalucki, M.P. (1987). The push–pull strategy — behavioural control of *Heliothis*. *Aust. Cotton Grow.* May– July, 7–9.

Raj, S.H., Zailani, I.A.A., Bakar, N.F.A., Shah, M., & Sarizat, H. (2014). Effects of *Lantana camara* leaf extract on the mortality of *Musca domestica* larvae. National Gifted & Talented Centre, National University of Malaysia, 43600, Bangi, Selangor, Malaysia.

Ramírez, L. (2002). Teoría de sistemas. (Tesis pregrado). Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. 56 pp.

Ramírez, S. (2004). Manual de Biopesticidas, tecnología para protección de cultivos 2ª Ed, proyecto Agroforestal C-23, Bolivia. 3-49p.

RAS – Red de Agricultura Sostenible - (2010). Normas para la Agricultura Sostenible. Version 4. Consultado el 20 de marzo de 2017. Disponible en: http://rainforest-alliance.org/lang/sites/default/files/publication/pdf/SAN-S-1-4S-Normas-para-Agricultura-Sostenible_es.pdf.

Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy sustainable Development* 32: 273-303. doi 10.1007/s13593-011-0022-4.

Rivera, L., Armbrecht, I. (2005). Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. *Revista Colombiana de Entomología* 31(1):84-96.

Romero, F. (2004). Manejo integrado de plagas: Las bases, los conceptos y su mercantilización. Universidad Autónoma de Chapingo. Instituto de Fitosanidad. México.

Rojas, J. (2005). Ecología química de la broca del café y sus parasitoides. Simposio sobre Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. JF Barrera (ed.). Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur Tapachula Chiapas, México, 2005, p. 14-21. ISBN 970-9712-17-9.

Ruiz, R. (1996). Efecto de la fenología del fruto de café sobre los parámetros de la tabla de vida de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). (Tesis de pregrado). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales (Colombia).

Rzedowski, G.C. & Rzedowski, J. (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. En Heike Vibrans (ed.), 2009, Malezas de México. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/verbenaceae/lantanacamara/fichas/ficha.htm>. Recuperado el 04/04/2017.

Salazar, H.M. (1998). Efecto de las liberaciones inundativas de *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyridae), para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), en fincas comerciales. Manizales, Colombia. (Tesis de pregrado). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Salazar, H.M., & Baker, P.S. (2002). Impacto de liberaciones de *Cephalonomia stephanoderis* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei*. *Revista Cenicafé* 53 (4): 306-316.

Salazar, H.M., Mejía, C.G., Aristizábal, L.F., Posada, F.J., Gil, Z. (2003). Insectos capturados en trampas de alcohol para el monitoreo de *Hypothenemus hampei* (FERRARI) (COLEOPTERA: SCOLYTIDAE), en parcelas de caficultores. En: Memorias Curso Internacional Teórico-Práctico. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, marzo 18 al 22 del 2002.

Salazar, L.F., & Hincapié, E. (2007). Las arvenses y su manejo en los cafetales. *Sistemas de producción de café en Colombia* (5):101–130.

Salazar, L.F., & Rivera, P.J.H. (2002). Interferencia de arvenses en el desarrollo de cafetos en estado de levante. In: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, 32. Santa Marta (Colombia), marzo 20-22, 2002. Memorias.

Sánchez, E., Dufour, B.P., Olivas, A.P., Virginio-Filho, E.M., Vilchez, S., Avelino, J. (2013). Shade has antagonistic effects on coffee berry borer. *Proceedings of the 24th International Conference on Coffee Science (ASIC)*, November 11-16, 2013. San José, Costa Rica: ASIC.

Santoro, P.H., Zorzetti, J., Constanski, K.C., Neves, M.O.J. (2011). Repência da broca-do-cafeeiro, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1876) (Coleoptera: curculionidae) a extratos vegetais. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 22 a 25 de agosto de 2011, Araxá.

Santos, M.R.A., Silva A.G., Lima, R.A., Lima, D.K.S., Sallet, L.A.P., Teixeira, C.A.D., Polli, A.R., Facundo, V.A. (2010). Atividade inseticida do extrato das folhas de *Piper hispidum* (Piperaceae) sobre a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). *Brazilian Journal of Botany* [online]. 33(2): 319-324. ISSN 0100-8404. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-84042010000200012>.

Schmutterer, H. (1990). Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annual Review of Entomology 35:271–197.

Sengonca, C., & Kranz, A. (2001). A modified, four-armed olfactometer for determining olfactory reactions of beneficial arthropods. Journal of Pest Science 74:127-132.

Silveira, L.C.P. (2007). Manejo do habitat para conservação de inimigos naturais em cafeeiros orgânicos manejo do Broca do café. ANAIS. Workshop international. Londrina – Paraná, Brasil pp. 209-220.

Shrivastava, S., & Jha, A.K. (2016). Effect of leaf extract of *Lantana camara* on growth of seedlings of *Cicer arietinum*. International Journal of Information Research and Review. 03(07): 2612-2616.

Serna, C.A., Trejos, J.F., Cruz, G., Calderón, P.A. (2010). Estudio económico de sistemas de producción cafeteros certificados y no certificados, en dos regiones de Colombia. Cenicafé 61 (3):222- 240.

Shelton, A.M. & Badenes-Pérez, F.R. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. Annual Reviews of Entomology 51:285–308. doi:10.1146/annurev.ento.51.110104.150959

Sevilla, G.E. (2006). Perspectivas agroecológicas. De la Sociología Rural a la Agroecología. Icaria Editorial. p. 257.Barcelona, España.

Soto-Pinto, L., Romero-Alvarado y., Caballero-Nieto, J., Warnholtz, G.S. (2001). Woody plant diversity and structure of shade-grown-coffee plantations in Northern Chiapas, Mexico. Revista de Biología Tropical 49(3-4):977-87.

Staver, C. (1995). *Arachi pinto* como cobertura en café: Resultados de ensayos y experiencias de productores en Nicaragua. 1990-1995. Manejo integrado de plagas. Avances técnicos. CATIE Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria INTA. Nicaragua.

Staver, C., Guharay, F., Monterroso, D., Muschler, R.G. (2001). Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade grown coffee in Central America. Agroforestry Systems 53(2): 151-170.

Tawatchai, S., & Thurston, R. (1980). *Heliothis* Species on Tobacco Cultivars and *Physalis* Species in Kentucky. Annals of the Entomological Society of America 375-37. doi:10.1093/aesa/73.4.375.

Valladolid, M. (2015). Identificación y fluctuación poblacional de especies de “trips” y enemigos naturales en cultivo de plátano y banano, *Musa* sp. L. Valle

de Tumbes, Perú. Manglar 12(1): 15-24 Revista de Investigación Científica Universidad Nacional de Tumbes, Perú.

Vandermeer, J., van Noordijk, M., Anderson, J., Ong, C., Perfecto, I. (1998). Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. Agriculture, Ecosystems and Environment. 67: 1-12.

Vargas, G., Díaz P., Lastra L., Mesa N., Ingeborg Z., & Gómez L. (2004). Reconocimiento de enemigos naturales de la hormiga loca, *Paratrechina fulva* (Hymenoptera: Formicidae), en el municipio de El Colegio (Cundinamarca) y en el valle del río Cauca. *Revista Colombiana de Entomología*, 30(2), 225-232.

Vázquez, L.L. (2005). Experiencia cubana en el manejo agroecológico de plagas en café y avances en la broca del café. En: J.F. Barrera (ed.), Situación Actual y Perspectivas de la Investigación y Manejo de la Broca del Café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur. Tapachula, Chiapas, México, p. 46- 57.

Vázquez, L.L. (2011). Supresión de poblaciones de plagas en las fincas mediante prácticas agroecológicas. Preguntas y respuestas para facilitar el manejo sostenible de tierras. Instituto de investigaciones en sanidad vegetal. Cuba.

Vázquez, L.L., Alfonso, J., Ramos y., Martínez, A., Moreno, D., & Matienzo y. (2012). Relaciones de *Hypothenemus hampei* ferrari (coleoptera: curculionidae: scolytinae) con el suelo del cafetal como base para su manejo agroecológico. *Agroecología* 7: 81-90.

Vázquez, L.L., Matienzo, Y., Veitía, M.M. & Alfonso, J. (2008). Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba CIDISAV. Ciudad de La Habana, Cuba.

Vázquez, L.L., C. Murguido, A. Navarro, M. García. (2010). Resultados de un proceso de Capacitación e innovación participativas para la adopción del manejo agroecológico de la broca del café. *Agroecología* 5:53-62.

Vega, F.E., Davis, A., Jaramillo, J. (2012). From forest to plantation? Obscure articles reveal alternative host plants for the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 107, 86–94.

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

Vega, F.E., Posada, F., Infante, F. (2006). Coffee insects: ecology and control. *Encyclopedia of Pest Management*, p.1-4.

Vélez, M. (2002). Hormigas y su papel en el control biológico de la broca del café. En: *Memorias Curso Internacional Teórico-Práctico. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca del café*. Cenicafé, Chinchiná, marzo 18 al 22 del 2002.

Vélez, M., Bustillo P., A.E., Posada, F.J. (2006). Depredación de *Hypothenemus hampei* por hormigas durante el secado solar del café. *Cenicafé* 57(3):198-207.

Vélez, P. & Benavides, M. (1990). Registro e identificación de *Beauveria bassiana* en *Hypothenemus hampei* en Ancuyá, Departamento de Nariño. *Cenicafé* 41(2): 50-58.

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

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

Villalba, D.A., Bustillo, A.E., Cháves, B. (1995). Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé* 46 (3): 152-163.

Wäckers, F.L. (2004) Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biology Control* 29: 307-314.

Wäckers, L. (2005). Suitability of (extra-) floral nectar, pollen, and honeydew as insect food sources: 17-74. (in) Wäckers, f. L., Van-rijn, P.C.J. & Bruin, J. (eds.) *Plant-provided food for carnivorous insects: a protective mutualism and its applications*. Cambridge University Press. Cambridge.

Waller, J.M., Bigger, M., Hillocks, R.J. (2007). Coffee pests, diseases and their management. Part 1, Coffee as a crop and commodity. CABI, Nosworthy way, Wallingford, Oxfordshire, UK, p. 1-17.

Wang, J., Zhu, F., Zhou, X.M., Niu, C.Y., Lei, C.L. (2006). Repellent and fumigant activity of essential oil from *Artemisia vulgaris* to *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored products research*. 42 (3): 339-347.

Welsh, J.P., Philipps, L., Bulson, H.A.J., Wolfe, M. (1999). Weed control strategies for organic cereal crops. Brighton Crop Protection Conference—Weeds, Brighton, p. 945–950.

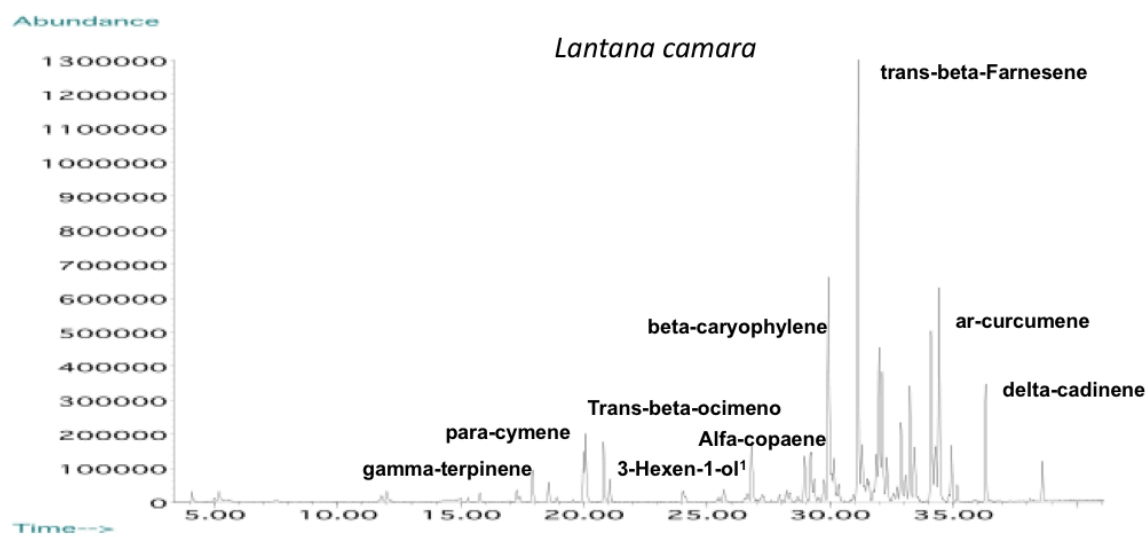
Werle, C. (2016). An integrated approach to ambrosia beetle management in ornamental tree nurseries: biology of and control measures for exotic Xyleborina. Dissertation. The School of Plant, Environmental and Soil Sciences. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. USA.

Willer, H. & Lernoud, J. (Eds.) (2017). The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends. FiBL & IFOAM – Organics International (2017) Flick and Bonn, 2017-02-20.

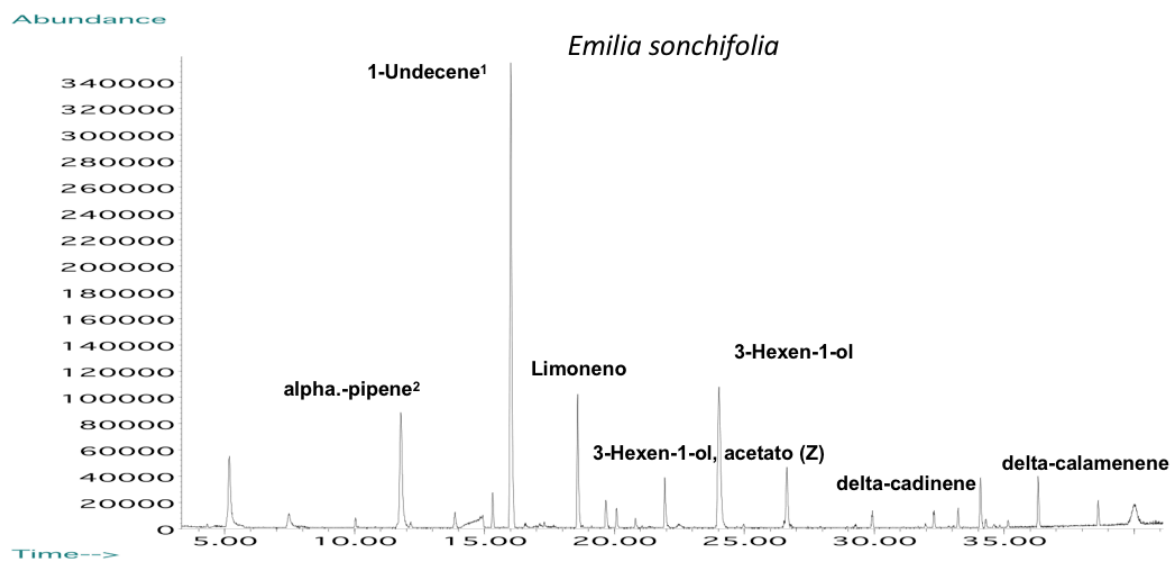
Zenimori, S., Pasin, L., (2006). Aspectos da biologia floral de lantana (*Lantana camara* L.) X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. Brasil.

ANEXOS

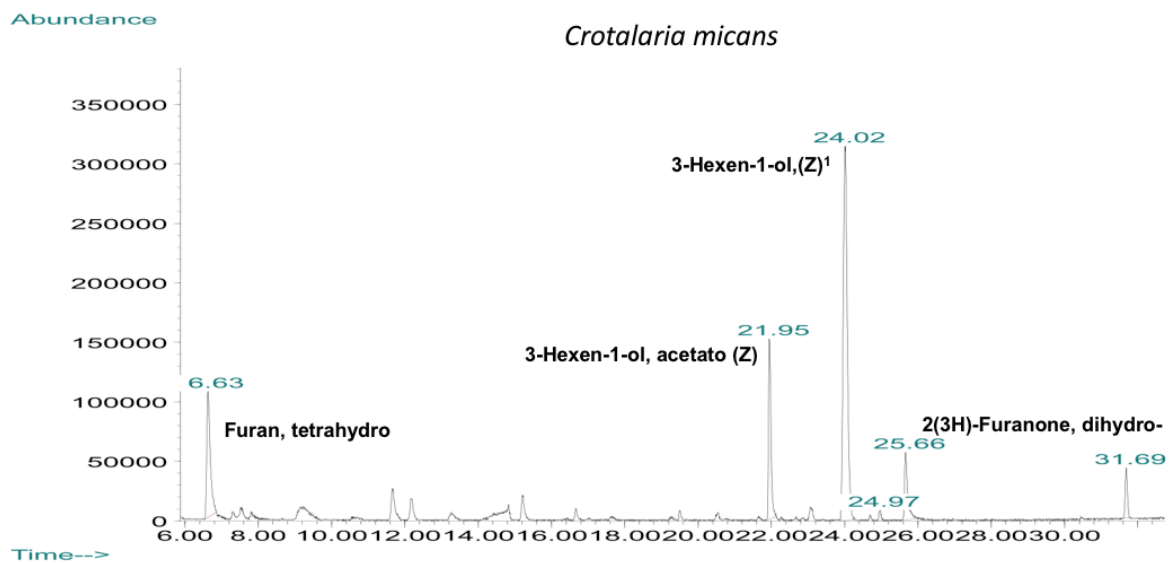
ANEXO 1. Cromatografía de los volátiles emitidos por la planta *Lantana camara*



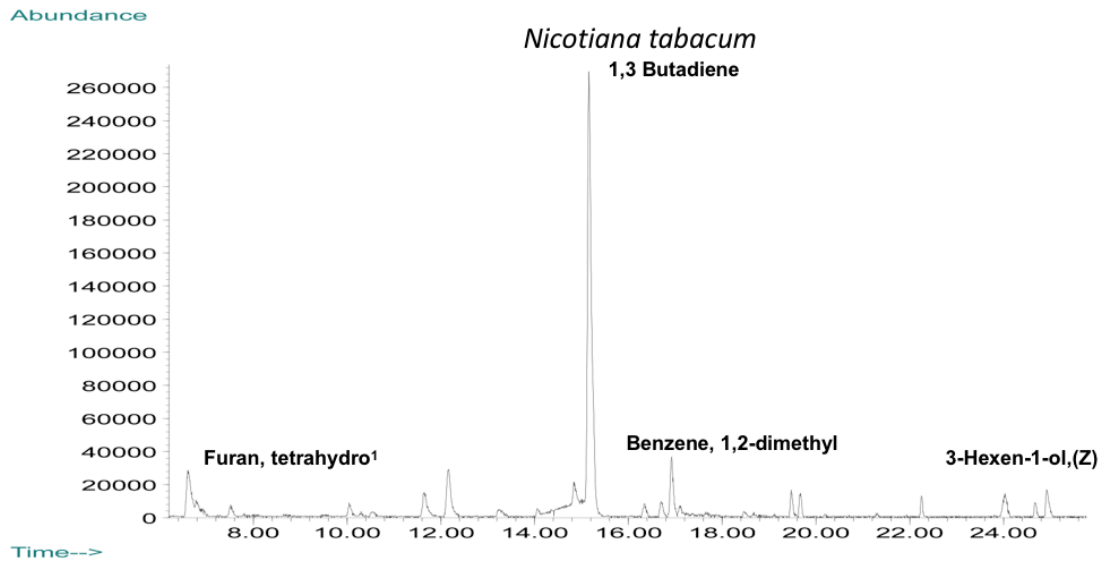
ANEXO 2. Cromatografía de los volátiles emitidos por la planta *Emilia sonchifolia*



ANEXO 3. Cromatografía de los volátiles emitidos por la planta *Crotalaria micans*

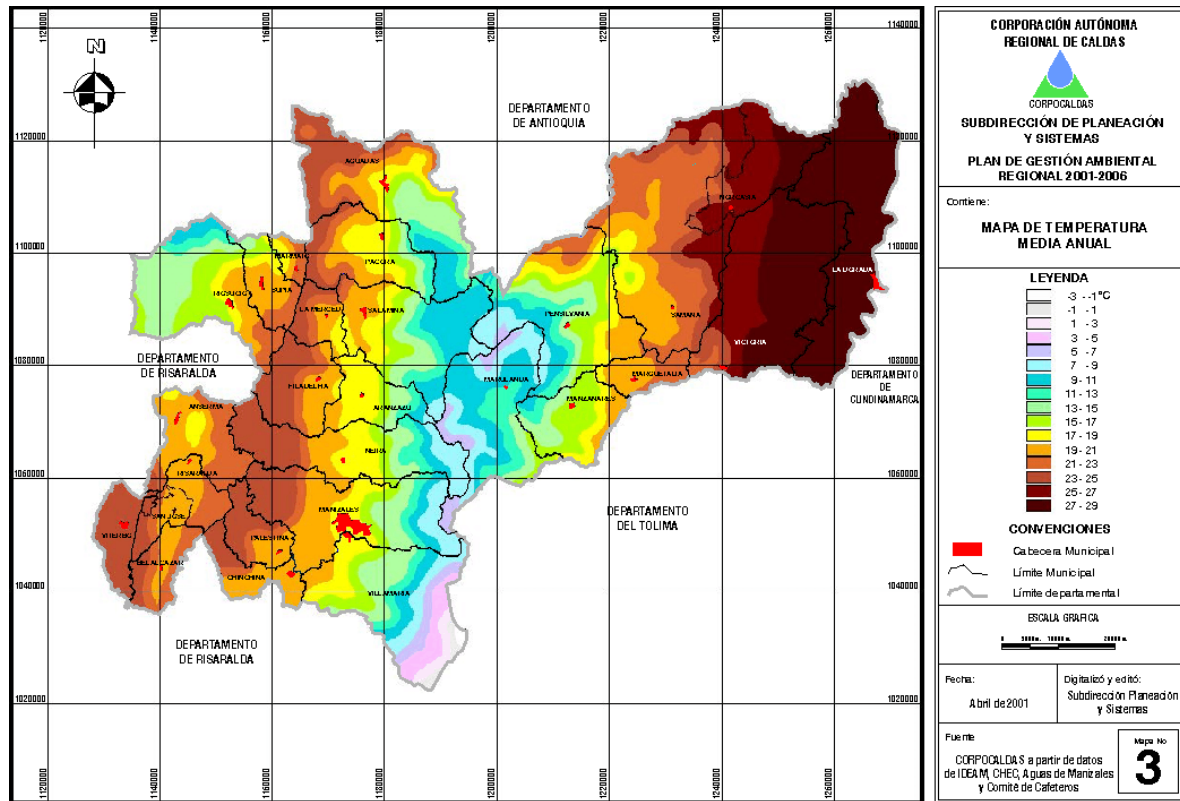


ANEXO 4. Cromatografía de los volátiles emitidos por la planta *Nicotiana tabacum*



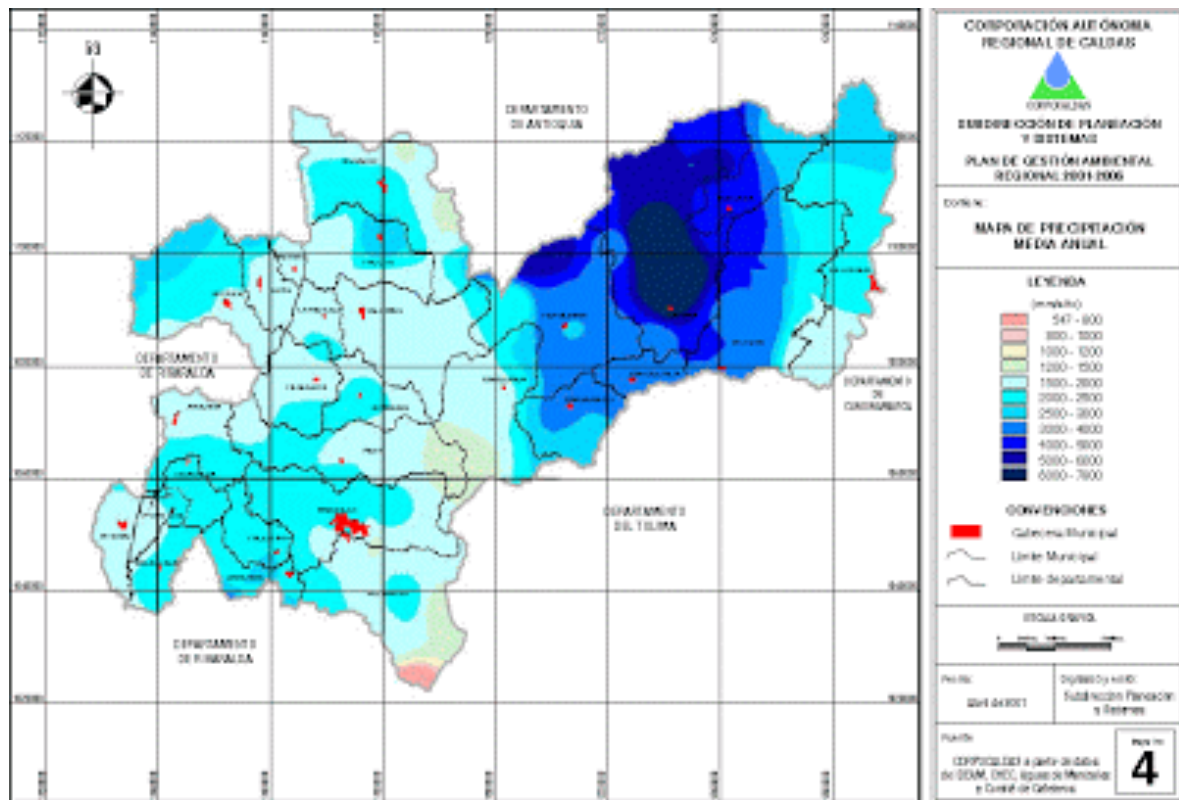
ANEXO 5. Mapas del Departamento de Caldas.

a. temperatura media anual



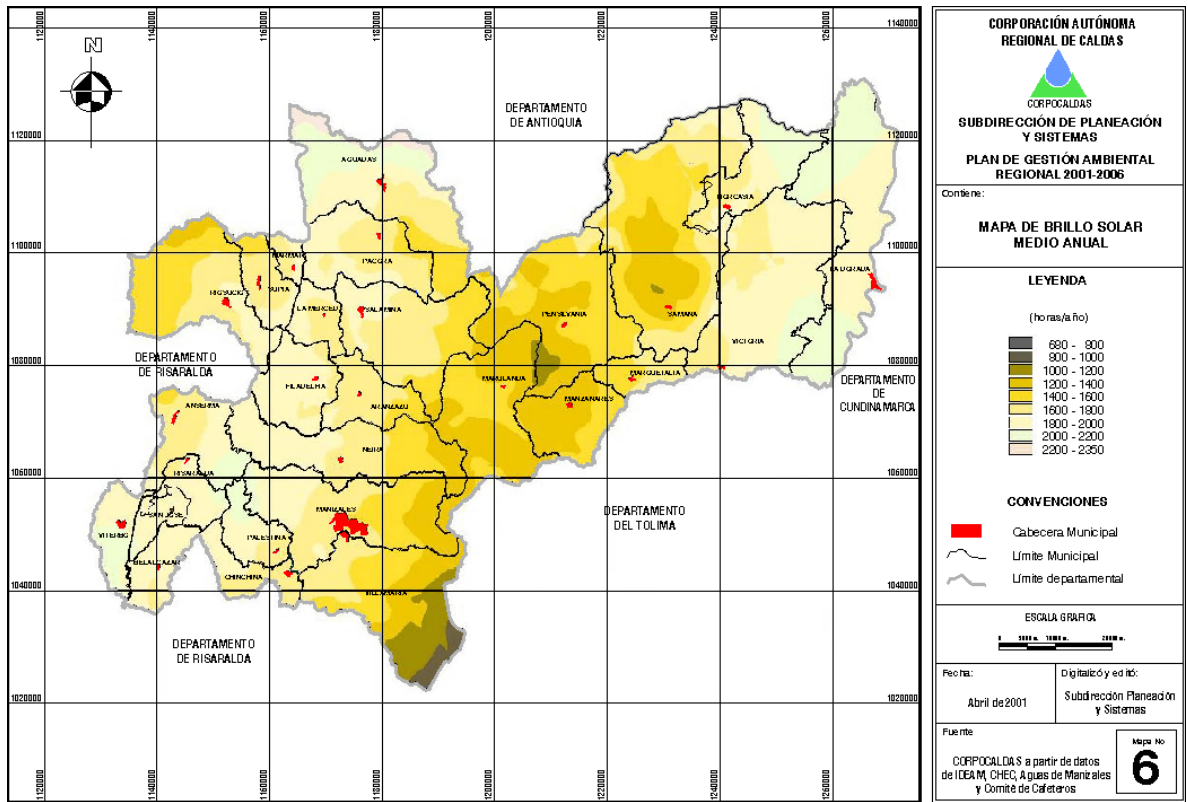
Fuente: www.corpocaldas.gov.co

b. Precipitación media anual.



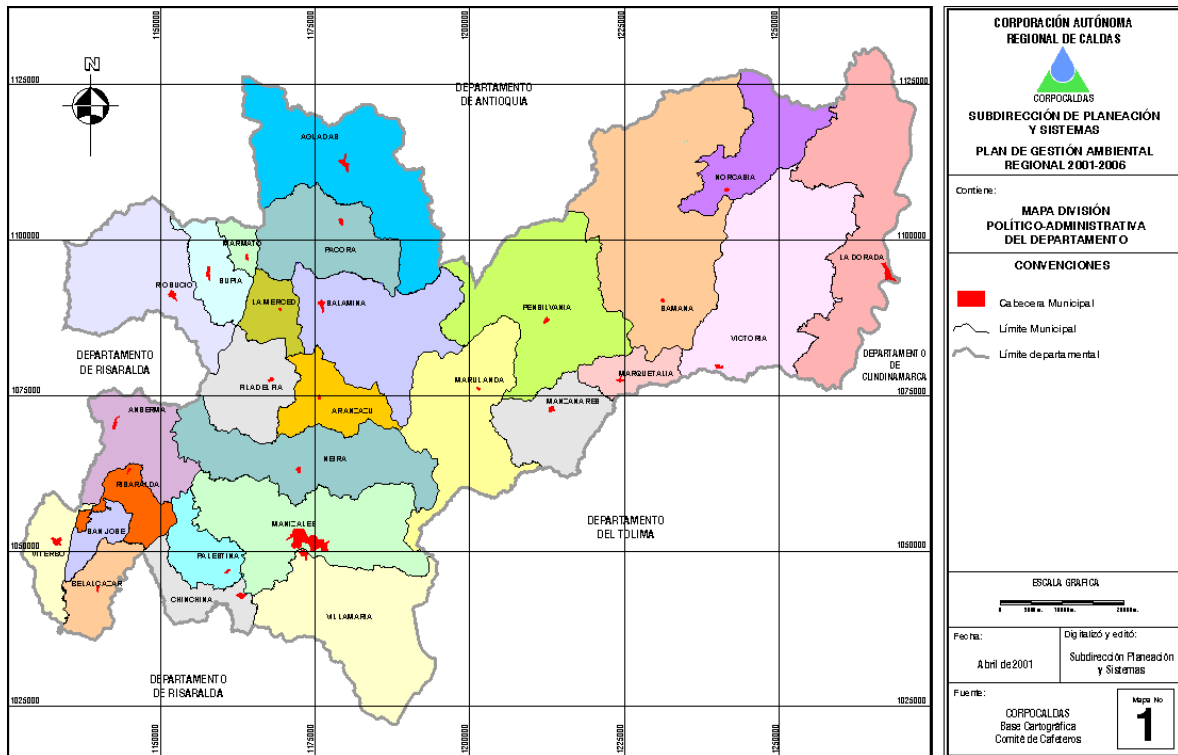
Fuente www.corpocaldas.gov.co.

c. brillo solar medio anual.



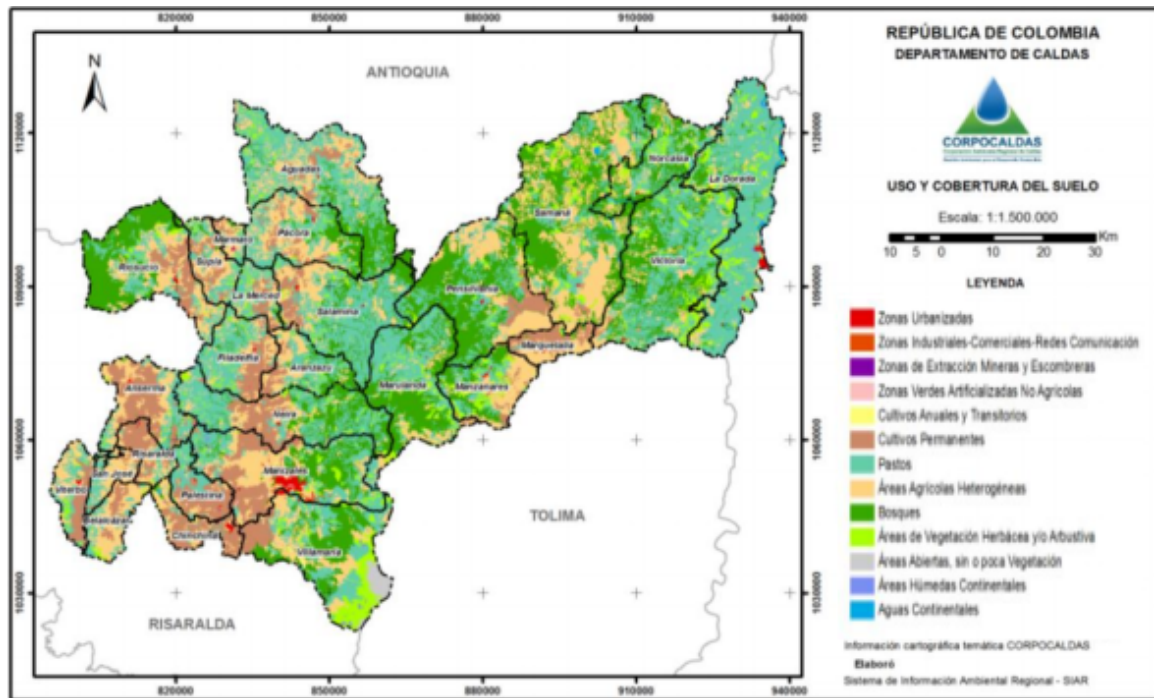
Fuente: www.corpocaldas.

d. División político-administrativo.



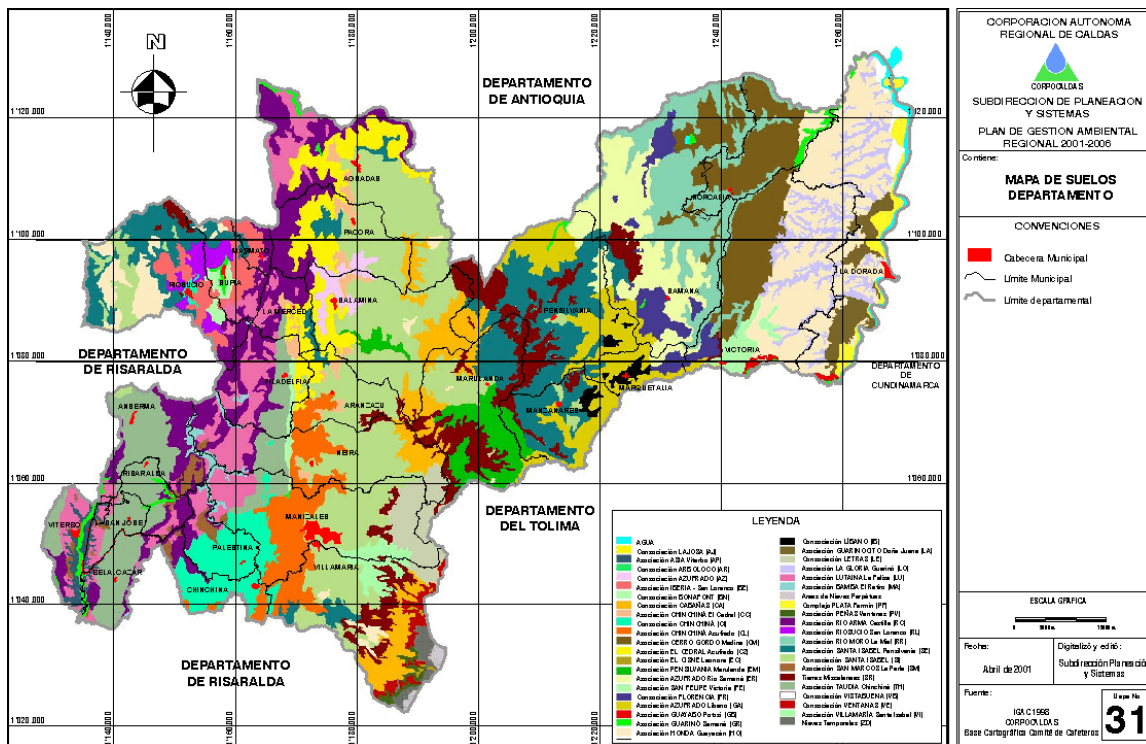
Fuente: www.corpocaldas.gov.co

e. Uso y cobertura del suelo.



Fuente: www.corpocaldas.gov.co.

f. Suelos.



Fuente: www.corpocaldas.

ANEXO 6. Descripción de la composición auxiliar del rediseño predial

– *Arachis pintoi*

Taxonomía

Orden: Fabales; Familia: Fabaceae; Subfamilia: Faboideae; Tribu: Aeschynomeneae; Subtribu: Stylosanthinae; Género: *Arachis*; Especie: *A. pintoi*

Arachis pintoi, conocida como maní forrajero, es una leguminosa herbácea perenne promisoría para cobertura en suelos ácidos en áreas húmedas y en suelos de textura franco-arcilloso. Tolerancia a la sombra y los excesos de humedad en el suelo. Por lo que es una especie recomendada para establecer debajo del cafetal (Marín-Nieto et al. 1996). Crece entre 0 y 1.800 m.s.n.m. y precipitaciones entre 1.000 y 3.500 mm. Su tolerancia a sequías es moderada. Cuando se utiliza como cobertura, se siembra en estolones dos o tres meses después del trasplante de las chapolas. El aporte de nitrógeno por hectárea al año es de 33 a 297. Para su establecimiento necesita control de malezas en los primeros meses de instalación, hasta que logren cubrir por completo la superficie del suelo; posteriormente, se debe controlar su crecimiento mediante cortes periódicos, que eviten su agresividad con el café; asimismo, la superficie debajo de la copa del café debe mantenerse libre de cobertura. Las raíces de *A. pintoi* son abundantes y profundas y no dejan crecer las raíces del café en la misma zona del suelo, lo cual puede ser un problema en regiones secas (Staver 1995).

– *Euphorbia hirta*

Taxonomía

Orden: Malpighiales; Familia: Euphorbiaceae; Tribu: Euphorbiaeae; Género: *Euphorbia*; Especie: *E. hirta* L.

Euphorbia hirta, conocida como tripa de pollo, es una planta herbácea anual, puede ser erecta o rastrera, se extiende radialmente, es densamente pilosa, los pelos con frecuencia son multicelulares y amarillos. Alcanza 40 cm de largo, aunque su tallo es ramificado en forma dicotómica (Kumar et al., 2010). Sus hojas son opuestas, pequeñas y suelen presentar una mancha roja. Las flores

son muy numerosas y pequeñas organizadas en inflorescencias densas. Los frutos son capsulas que cuando están secos, se abren y tienen semillas de color rosa, florece y fructifica durante todo el año. Para un óptimo crecimiento necesita la luz solar directa. Su origen es de México y Centroamérica. Pero cuenta con una amplia distribución en Asia, Australia y Suramérica.

Se encuentra presente en climas cálido, semicálido y templado, entre los 0 y 1550 m.s.n.m. Esta especie es muy común en las calles del cafetal en la zona cafetera y se encuentra asociada al cultivo de café en Colombia con muy baja interferencia en los cafetales (Salazar et al. 2002). Se encuentra reportada como fuente de néctar de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, parasitoides de la broca del café (Damon et al. 1999, Wäckers, 2005)