



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO

**Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya, (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei* (Ferrari) y los nematodos *Meloidogyne* spp.), con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago Costa Rica**

Por

**Ali Romero Gurdian**

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


*Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica

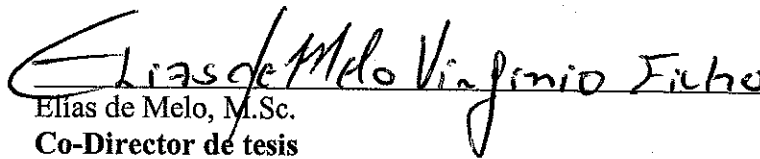
Turrialba, Costa Rica, 2010

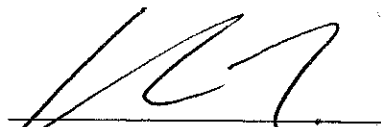
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

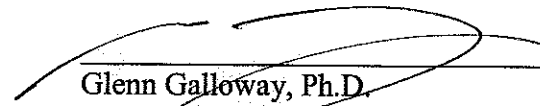
**FIRMANTES:**


  
\_\_\_\_\_  
Jacques Avelino, Ph.D.  
**Director de tesis**

  
\_\_\_\_\_  
Elías de Melo, M.Sc.  
**Co-Director de tesis**

  
\_\_\_\_\_  
Eduardo Hidalgo, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Fabricé De Clerek, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Glenn Galloway, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**

  
\_\_\_\_\_  
Ali Romero Gardián  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

A Dios, Por llenar mi vida de dicha, fuerzas y bendiciones. Al señor Jesús quien me ilumina, y me acompaña siempre. En las diferentes etapas de mi vida, confío plenamente en ti Señor. A mi patria Nicaragua. A Leonor mi esposa que me dio todo el apoyo necesario y ha estado en todo momento a mi lado para terminar este proyecto de mi vida y siempre me dio alientos de esperanzas. La persona que me enseñó hacer perseverante, admiro su valentía y su fuerza. A mis padres a quienes les agradezco de todo corazón esa dedicación, enseñanza y sobre todo el amor que me inculcaron por lo demás. A mi pueblo querido que me vio nacer, donde estude y donde a pesar de la pobreza he pasado los momentos más lindos de mi vida Estelí. A mis grandes ídolos, mis niñas; el mejor regalo que Dios me ha dado, Tamara, Dianita, Carlita y a la más linda del mundo Alondra Esmeralda, también quiero hacer extensiva esta dedicación a mi hija Silvia Lorena quien ha sido fuente de mi inspiración; Quienes han sido parte fundamental en esta etapa de mi vida, con ellas he aprendido a ser mejor persona, a crecer como ser humano. A mis hermanos Jesús, Ismael, Carlos, Roberto, Iván, María Cristina, Arlen, Alejo, Carmen y Juanita; a mis amigos y colegas, quienes me han apoyado con sus consejos para salir adelante en este proceso de la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, primeramente por haberme permitido realizar mis estudios de Maestría en el CATIE.

Agradezco profundamente al Ministerio de Educación de Nicaragua, específicamente a Navy Machado, quien con mucha gentileza me ayudo en la gestión del apoyo financiero. A la Organización de los Estados Americanos (OEA) por la ayuda financiera para estudiar la maestría en CATIE, a su personal de manera especial a Paulina Saga ve por la coordinación y comunicación brindada. Porque con su apoyo económico fue posible aventurarme en esta travesía; sin su apoyo no hubiese cumplido mi sueño.

Agradezco profundamente al proyecto CAFNET de la Unión Europea en cuyas parcelas se desarrolló la investigación.

De manera muy especial al proyecto OMEGA3 del Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo de Francia (CIRAD).

Mi sincero agradecimiento al Dr. Jacques Avelino por su apoyo, sus consejos y  
Por todo lo que aprendí gracias a él.

A los miembros del comité consejero: Jacques Avelino, Ph.D., Elías de Melo, M.Sc, Fabrice De Clerck Ph.D., Eduardo Hidalgo M.Sc, quienes han apoyado decididamente a la terminación de la presente investigación.

A todos los profesores del CATIE por compartir sus sabios conocimientos en los cursos impartidos durante el periodo estudiantil y durante la etapa de campo.

A todos los productores que muy gentilmente proporcionaron sus parcelas para el establecimiento de la investigación. Al estudiante de pregrado; Héctor Cruz Cuellar por su tiempo dedicado a la digitalización de la información de la fotografías aéreas. También a la estudiante de la UCR Noelia Chavarría Bolaños por la colaboración en campo en la toma de

datos; Y muy especialmente a los señores: Buenaventura Gamboa por su tiempo en indicarme donde podía encontrar a los productores y al Señor Francisco Araya por su valiosa colaboración mil gracias a todos.

A mis grandes amigos y colegas que están en mi querida Nicaragua, y que fueron parte de este proceso; Julio Centeno Martínez y al equipo técnico de (FUNICA), Julio López Montes y a todo el equipo técnico de (PROMIPAC). Que me llenaron de aliento y de positivismo en sus mensajes. Gracias por su cariño y comprensión.

No puedo olvidar a mis paisanos Nicas en el CATIE: Amada Olivas la Chela gracias por tu colaboración, Cipriano Rivera, Sergio Vílchez gracias por el apoyo, Thelma Gaitán; Mayra Saucedo, y a Donald López (el negrito de Talamanca) por tu apoyo en la toma de datos en campo y en la elaboración del documento. Gracias por los buenos momentos, por aguantarme y por escucharme gracias Donald.

## **BIOGRAFÍA**

El autor nació en Estelí – Nicaragua, el 22 de noviembre de 1969. Los estudios de secundaria los realizó en el Instituto, Reverendo Marcelino Zavala, graduándose como Bachiller en Ciencias y Letras. Se graduó de Ingeniero Agropecuario en la Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí 1998 en la Facultad de Ciencias Agropecuaria. Trabajó para los diferentes bancos tecnológicos, en la producción de semilla de granos básicos y papas. En la ejecución de un proyecto de mejoramiento a la calidad del café en los departamentos de Matagalpa y Jinotega. En el programa Zamorano PROMIPAC, en las Escuelas de campos como una metodología de extensión y transferencia de tecnología. En el año 2007 en la coordinación de un proyecto de investigación en café con cooperativas de pequeños productores de café, con la Universidad Nacional Agraria de Nicaragua (UNA). En el año de 2008 ingresa al CATIE, para realizar la Maestría en Agricultura Ecológica.

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
BIOGRAFÍA .....	VI
CONTENIDO .....	VII
RESUMEN .....	X
SUMMARY .....	XII
ÍNDICE DE CUADROS .....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XV
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	XVII
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos del estudio .....	3
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	3
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.2 Hipótesis del estudio .....	4
2 MARCO CONCEPTUAL .....	5
2.1 El cultivo del Café .....	5
2.2 Las certificaciones .....	6
2.3 Factores que determinan la presencia y severidad de una plaga y enfermedad.....	8
2.4 Principales enfermedades del café en Centro América .....	9
2.4.1 <i>Roya del café (Hemileia vastatrix)</i> .....	10
2.4.2 <i>Broca del café (Hypothenemus hampei Ferrari)</i> .....	12
2.4.3 <i>Nematodos (Meloidogyne spp.)</i> .....	17
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1 Ubicación y descripción física y biológica del área de estudio .....	19
3.2 Diversidad de manejo y certificaciones en el área de estudio .....	22
3.3 Metodología .....	23
3.3.1 <i>Selección de parcelas</i> .....	24
3.3.2 <i>Unidad de Muestreo</i> .....	25
3.3.3 <i>Caracterización de las parcelas</i> .....	26

3.3.3.1	Caracterización ambiental (cuadro 4).....	27
3.3.3.1.1	Ubicación (F1, F2) .....	27
3.3.3.1.2	Pluviometría (entre F1 y F5) .....	27
3.3.3.1.3	Topografía (F1 F2) .....	28
3.3.3.2	Suelo (muestreo entre F1 y F3) .....	28
3.3.3.3	(Paisaje de F2 a F4).....	29
3.3.3.4	Caracterización técnica (Cuadro 5) .....	31
3.3.3.4.1	Datos Solicitados al productor (de F1 a F5).....	31
3.3.3.4.2	Datos tomados de la parcela experimental (F2 y F4).....	33
3.3.3.4.3	Datos tomados a las plantas marcadas .....	33
3.3.3.4.4	Caracterización de la productividad y de otras características de la planta	35
3.3.3.5	Caracterización del complejo parasitario (Cuadro 7).....	36
3.3.3.5.1	Enfermedades de tallos y ramas a nivel de parcela. (F5) .....	36
3.3.3.5.2	Enfermedades foliares (F2, F5) .....	36
3.3.4	<i>Análisis estadístico</i> .....	41
3.3.4.1	Relación de la estructura del paisaje con la incidencia de la roya, de la broca y de los nematodos.....	41
3.3.4.2	Determinación del efecto de las certificaciones sobre la incidencia de plagas y enfermedades y la productividad del café .....	42
4	RESULTADOS .....	45
4.1	Relaciones entre la estructura del paisaje y la incidencia de la roya, de la broca y de los nematodos .....	45
4.1.1	<i>Descripción del contexto paisajístico</i> .....	46
4.1.3	<i>Relaciones a través del tiempo entre el paisaje, la broca y la roya</i> .....	49
4.2	Efecto de las certificaciones sobre la cantidad de nudos productivos por planta, y las principales plagas y enfermedades .....	51
4.3	Jerarquización entre los factores explicativos de la roya, la broca, y los nematodos. 53	
4.3.1	<i>La broca</i> .....	53
4.3.2	<i>La roya</i> .....	53
4.3.3	<i>Meloidogyne spp.</i> .....	54



5	Discusión .....	59
5.1	Relaciones entre la estructura del paisaje y la incidencia de la roya, de la broca y de los nematodos .....	59
5.2	Efecto de las certificaciones sobre la cantidad de nudos productivos por planta, y las principales plagas y enfermedades .....	61
5.3	Jerarquización entre los factores explicativos de la roya, la broca, y los nematodos. ....	61
5.3.1	<i>La broca</i> .....	61
5.3.2	<i>La roya</i> .....	62
5.3.3	<i>Los nematodos Meloidogyne spp.</i> .....	63
6	CONCLUSIONES .....	64
7	RECOMENDACIONES.....	65
8	BIBLIOGRAFÍA .....	66
9	Anexos .....	75

## RESUMEN

La presencia y la intensidad del ataque de las plagas y enfermedades son el resultado de la interacción del ambiente (incluyendo el paisaje), del hospedero, del organismo nocivo y del manejo. La dispersión de las plagas y enfermedades está en dependencia de la habilidad de los organismos para moverse a través del paisaje, la capacidad de reproducirse en diferentes hospederos, de la estructura del paisaje y su manejo. Algunos elementos del paisaje pueden funcionar como barreras para la dispersión de plagas y enfermedades, mientras que otros pueden facilitar este movimiento. Asimismo, la estructura del paisaje incide sobre el desarrollo de fauna antagonista.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos de los sistemas agroforestales de café y del paisaje a diferentes estratos altitudinales y certificaciones sobre la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y nematodos (*Meloidogyne* spp.) en las localidades de Turrialba y Orosi, Cartago Costa Rica.

Con este fin, se seleccionaron 50 parcelas tomando en cuenta como fuentes de variación principales: el contexto paisajístico, la altitud, el tipo de manejo y particularmente las certificaciones. Se realizó una caracterización ambiental (suelo, pluviometría, topografía, paisaje), técnica (manejo, certificaciones), y biológica (plagas y enfermedades, características productivas del café) de estas parcelas a través de visitas bimensuales de febrero a noviembre 2009, observaciones de campo y entrevistas a productores. El análisis se llevó a cabo en tres etapas: (i) se relacionó el contexto paisajístico con los ataques de broca, roya, y *Meloidogyne* spp. a través de análisis de correlación, (ii) se estudiaron los efectos de las certificaciones sobre las principales plagas y enfermedades a través de análisis de varianza (iii) se jerarquizaron los predictores potenciales de la broca, la roya y *Meloidogyne* spp. (incluyendo el paisaje y las certificaciones) a través de análisis de árboles de clasificación.

Se encontraron relaciones entre el contexto de paisaje y la broca, la roya y *Meloidogyne* spp. La cantidad máxima en el año de frutos brocados, estimada por planta, estuvo relacionada positivamente con el porcentaje del área sembrada con café en el contexto paisajístico. La mejor correlación se encontró a 150 m de distancia ( $r=0.28$ ,  $P<0.05$ ). El porcentaje máximo en el año de hojas con roya estuvo relacionado positivamente con el porcentaje del área sembrada con pasto en el contexto paisajístico. La mejor correlación se encontró a 300 m de distancia ( $r=0.35$ ,  $P<0.05$ ). Se encontraron también densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. inferiores a 60 000 individuos por 100 g de raíces, cuando el área sembrada con café en el contexto paisajístico era pequeña (menos del 15.4 %). Los ataques de plagas y enfermedades no fueron diferentes entre las certificaciones orgánicas, Nespresso y el sistema convencional. Entre todas las variables explicativas, la variable que explicó mejor el ataque de la broca no fue una variable de paisaje. Fue la cantidad de frutos brocados remanentes después de cosecha en la planta: a mayor cantidad, mayor ataque. La variable que explicó mejor los ataques de la roya, tampoco fue una variable del paisaje. Se trata del acidez del suelo: a mayor acidez, mayor ataque. La variable que explicó mejor las densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. fue el porcentaje del área sembrada con café a 400 m de distancia: a mayor área, mayores densidades poblacionales. Las distancias de siembra son otros factores que afectan los ataques de broca y roya. Distancias más cortas las favorecen.

Las relaciones de la intensidad de los ataques de broca, roya y nematodos con el paisaje sugieren efectos del paisaje sobre la dispersión de estos organismos. La broca es favorecida por la conectividad entre parcelas de café hasta 150 m posiblemente porque se trata de un organismo específico del café con capacidad de vuelo limitada. La relación entre la roya y el pasto puede explicarse por el hecho que *H. vastatrix* es un patógeno que se transporta a través del viento y que encuentra condiciones más favorables para su dispersión en espacios abiertos. Para los nematodos, el aislamiento de las parcelas de café posiblemente reduzca el intercambio de material infestado.

Palabras claves: insecto, hongo, territorio, uso de suelo, fragmentación, sello

## SUMMARY

The presence and intensity of pests and diseases are the result of the interactions among the environment, the host, the pathogen and the management practices. Pest and disease spread depends on pathogen dispersal characteristics, on its capacity to breed on different hosts, on landscape structure and landscape management practices. Certain landscape elements prevent pest and pathogen dispersal while others enhance it. Similarly landscape structure influences beneficial species.

The aim of this study was to evaluate the effects of coffee agroforestry systems and landscape at different altitudinal strata and certifications on the rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br), coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) and nematodes (*Meloidogyne* spp.) in the localities of Turrialba and Orosi, Cartago Costa Rica.

Fifty sampling plots were selected according to their landscape characteristics, elevation, management practices and especially certifications. For each plot, we characterized the environment (soil, precipitation, topography, landscape), management (cropping practices, certification), and biological aspects (pests and diseases, coffee productive characteristics). Field assessments and grower interviews were performed every two months from February to November 2009. Analyses were conducted in three stages: (i) the relationships between landscape characteristics and pest and disease incidence were tested using correlation analysis (ii) the effects of certifications on pests and diseases were compared using analysis of variance (iii) potential predictors of coffee berry borer, coffee rust and *Meloidogyne* spp. (including landscape and certifications) were hierarchized using classification tree analysis

We found significant relationships between landscape context and coffee berry borer, coffee rust and *Meloidogyne* spp. The maximum annual number of fruits infested with coffee berry borer, estimated per coffee tree, was positively correlated with the proportion of landscape in coffee. The highest correlation was found at the 150 m scale ( $r=0.28$ ,  $P<0.05$ ). The maximum annual percentage of rusted leaves was positively correlated with the proportion of landscape in pasture. The best correlation was found at the 300 m scale ( $r=0.35$ ,  $P<0.05$ ). In addition, population density of *Meloidogyne* spp. was less than 60.000 individuals /100 g of coffee roots when the total area of coffee was less than 15.4 % of the landscape. No differences in pest and disease incidence were found among organic certification, Nespresso and conventional crop management. Of all the variables surveyed, including landscape characteristics, the number of infested fruits remaining after harvest was the best predictor of future infestations. Similarly, the best predictor of coffee rust was not landscape characteristics but soil acidity. High acidity was associated to high coffee rust incidence. For the *Meloidogyne* spp. the best predictor was proportion of landscape in coffee at the 400 m scale. A higher proportion was associated to higher nematode population density. Planting density also influenced the incidence of coffee berry borer and coffee rust. At higher planting density there was higher incidence.

The observed relationships between coffee berry borer, coffee rust, nematodes and landscape suggest landscape effects on the dispersal of these organisms. The connectivity among coffee plots favored the dispersion of coffee berry borer within 150 m. This is probably due to the limited dispersal capacity of this coffee specific insect. The relation between the incidence of coffee rust and pasture can probably be explained by the fact *H. vastatrix* is an

airborne pathogen. In open spaces the spores probably disperse more effectively. For the nematodes, exchange of infested material is probably reduced in areas with sparse coffee plots.

Keywords: insect, fungus, territory, land use, fragmentation, label

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Criterios de Sombra, Pesticidas, Ambiente y lo social por cada sello de certificación .....	7
Cuadro 2. Categorías de uso del suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (ITCR 2000).....	22
Cuadro 3 Fincas y parcelas seleccionadas para el presente trabajo en las diferentes Zonas de estudio.....	25
Cuadro 4. Resumen de los cinco diferentes momentos en los que se realizaron la toma de datos, durante el periodo comprendido de febrero a noviembre del año 2009.	27
Cuadro 5. Descripción de las variables del entorno .....	29
Cuadro 6. Descripción de las variables de manejo de tejido aplicadas en 2009 y de las certificaciones .....	34
Cuadro 7. Características del cafeto y la productividad .....	35
Cuadro 8. Descripción de las variables para plagas y enfermedades .....	41
Cuadro 9. Coeficientes de correlación entre diferentes características del contexto paisajístico y el porcentaje de hojas jóvenes con roya en diferentes meses (datos transformados por arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción).....	50
Cuadro 10. Coeficientes de correlación entre diferentes características del contexto paisajístico y el número de frutos brocados estimado por planta en diferentes meses (datos transformados por raíz cuadrada).....	50
Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre el número de frutos brocados estimado por planta en diferentes meses (datos transformados por raíz cuadrada) Principales plagas y enfermedades del café según certificaciones (promedios), valores de F del análisis de varianza y de la altitud como covariable .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tetraedro de las enfermedades.....	8
Figura 2. Mapa del área del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca donde se observan los puntos que representan las parcelas utilizadas en el presente estudio (Mapa elaborado por Christian Brenes).....	20
Figura 3. Ubicación de las unidades de muestreo (plantas) dentro de cada parcela del estudio (plantas de color rojo unidad de muestreo, plantas de color verde a las cuales se les realizó muestreo de nematodos, plantas en color negro son plantas de la parcela seleccionada).....	26
Figura 4. Modelo pluviométrico utilizado en la lectura de precipitación en las parcelas de estudio.....	28
Figura 5. Descripción del paisaje alrededor de las 50 parcelas del estudio. Los círculos grandes tienen radios de 1500m (de acuerdo a Héctor Cruz 2010).....	30
Figura 6. Paisaje fragmentado con diferentes uso de suelo (pasto, bosque, caña y café) adyacente a la parcela en estudio (2009).....	31
Figura 7. Densiómetro esférico utilizado en la medición de la sombra (mayo, septiembre, 2009).....	33
Figura 8. Conteo de nudos productivos para estimar la productividad en las 50 parcelas (julio, 2009).....	35
Figura 9. Medición de roya en los cinco momentos diferentes de la toma de datos en las 50 parcelas (F1, F2, F3, F4, F5).....	37
Figura 10. Conteo de frutos en el área de goteo y de frutos remanentes en las cinco plantas marcadas por parcela (F1).....	38
Figura 11. Correlación entre el número de frutos brocados observado y el número de frutos brocados estimado (FBE) a partir de un muestreo (promedio de 5 plantas).....	39
Figura 12. Muestreo de nematodos daños en raíces de las muestras (mayo – septiembre 2009).....	40
Figura 13. Porcentaje promedio (•), mínimo (-) y máximo (+) de áreas con café (A), bosque – charral (B), pasto (C), caña (D) a diferentes distancias de las parcelas evaluadas.....	46

- Figura 14. Coeficiente de correlación de Pearson entre el porcentaje del área ocupada por el café, pasto, caña, bosques a diferentes distancias de las 50 parcelas evaluadas y el ataque de plagas y enfermedades (  $\diamond$  Máximo de la incidencia de roya en hojas jóvenes;  $\square$  Población promedio de *Meloidogyne* spp.;  $\triangle$  Máximo de frutos brocados estimado por planta; en rojo  $P < 0.01$ ; en verde:  $P < 0.05$ ; en negro: no significativo)...48
- Figura 15. Mejores correlaciones entre el contexto paisajístico a diferentes distancias de las 50 parcelas evaluadas y el ataque de broca y roya ( $\diamond$  Máximo de la incidencia de roya en hojas jóvenes;  $\triangle$  Máximo de frutos brocados por planta).....49
- Figura 16. Efecto de las certificaciones sobre la cantidad de nudos productivos por planta. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparaciones de media entre la certificación orgánica, la certificación Nespresso y el sistema convencional ( $P < 0.05$ ).....51
- Figura 17. Arboles de clasificación para explicar el máximo de frutos brocados por planta en el año (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 0-5, categoría 2: 5-50, categoría 3: 50-533).....55
- Figura 18. Arboles de clasificación para explicar el máximo de frutos brocados por planta hectárea en el año (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 0-40 000, categoría 2: 40 000-250 000, categoría 3: 250 000-3 272 539).....56
- Figura 19. Arboles de clasificación para explicar el porcentaje máximo de hojas jóvenes con roya en el año (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 4-35, categoría 2: 35-50, categoría 3: 50-77).....57
- Figura 20. Arboles de clasificación para explicar la población promedio de *Meloidogyne* spp. Por 100 g de raíces (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (**A**: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, **B**: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 0-30 000, categoría 2: 30 000-60 000, categoría 3: 60 000- 272 100).....58



## **LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS**

(SAFs) Sistemas Agroforestales

OIC Organización Internacional del Café

CBM Corredor Biológico Mesoamericano

CBVCT Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

ICAFFE Instituto Costarricense del Café

INEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censo

APOT Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba

NOP National Organic Production

CAFNET Connecting, enhancing and sustaining environmental services and market values of coffee agroforestry in Central America.

F1 Poco después de cosecha

F2 Final de la época seca

F3 Época de lluvia

F4 Poco antes de la cosecha

F5 Pico de la cosecha

# 1 INTRODUCCIÓN

Como cualquier otro cultivo, el cafeto es susceptible a una serie de plagas y enfermedades de diversa importancia económica, que afectan la rentabilidad cuando no se toman las medidas adecuadas para prevenirlas. Estas medidas deben de ser compatibles con la salud de los caficultores y con la conservación del medio ambiente. A nivel de paisaje, la conectividad es necesaria, para la producción de los servicios eco - sistémicos, fuentes de agua y biodiversidad. De igual forma, el comportamiento de las plagas y enfermedades del cultivo del café, así como el de su fauna antagonista, dependerá de su capacidad de dispersión a través del paisaje. Bajo este concepto resulta interesante el considerar la ecología del paisaje, como marco conceptual, que pueda ayudarnos a entender las relaciones ecológico-productivas, con el propósito de tomar decisiones de manejo tanto a nivel de paisaje, como a nivel de la parcelas que promueven la sostenibilidad de los agro - ecosistemas y la biodiversidad.

A finales del siglo XX, el sector cafetalero atravesó una de las peores crisis de la historia. El exceso de la oferta del café en el mercado mundial fue la causa de los precios más bajos observados en los últimos cien años. Brasil representa el 31% de la producción Arábica, Colombia el 10% y el 9% Vietnam con la variedad Robusta. Centroamérica se encuentra dentro del 33% de Arábica y otros países africanos y asiáticos en el 17% restante. Es notable la participación de Vietnam como productor de café, que pasó de producir 5,7 millones de sacos de 60 kilogramos en el año de cosecha 1996/1997 a 14,8 millones en 2000/2001. Vietnam fue el segundo productor de café, durante 1999 y 2000, lugar que ocupaba tradicionalmente Colombia (OIC, 2003).

El precio del café oro disminuyó de US\$ 1.80 por libra en mayo de 1997 a US\$ 0.48 por libra en septiembre de 2002, sin que esto afectara notablemente el precio del café tostado. De esta manera, las pérdidas de los productores se transformaron en importantes ganancias de las principales compañías transnacionales que dominan el comercio, observándose la inequidad que caracteriza el comercio mundial del café (OIC, 2003).

La crisis del café en Centroamérica, se sintió fuertemente con un desempleo que afectó directa e indirectamente a más de 1,5 millones de personas. Casi la mitad de la población dedicada al cultivo de los cafetales, en Guatemala, tuvo que cambiar de trabajo o marchar a la

ciudad como desempleados de las haciendas de café y en algunos casos, emigrar hacia los Estados Unidos de Norte América (OIC, 2003).

En Costa Rica la producción de café representa el 1.3 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB), en Honduras el 8.2, en Guatemala el 4.2 por ciento; el 2.5 en San Salvador y en Nicaragua representa el 7.2 por ciento (Guerrero, 2004).

Dentro de este contexto de crisis surgieron iniciativas de certificación que en la actualidad están en desarrollo y consolidación con el fin de mejorar las condiciones sociales y ambientales asociadas a la producción del café y la calidad de vida de las familias productoras. Existen importantes iniciativas de certificación en marcha, diseñadas a promover el mercado y el desarrollo del cultivo del café sostenible: Uztkapet, AAA Nespresso, Starbucks, Rainforest Alliance, orgánico, Bird Friendly, EUREGAP, Eco – OK, comercio justo, y café cultivado bajo sombra (Quispe, 2007).

Todas ellas promueven la producción con criterios ambientales, sociales, y se puede adquirir un sobreprecio.

Por otro lado, el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), creado en 1997, tiene como objetivo el de favorecer la conservación de la biodiversidad estimulando la conectividad entre zonas forestales protegidas (públicas o privadas) y zonas arbóreas explotadas, principalmente los sistemas agroforestales (SAF) a base de café (Miller, 1996). Además de su contribución a la conservación de la biodiversidad, los SAF poseen otras funciones ambientales, las cuales pueden ser remuneradas: conservación del agua, reducción de la erosión de los suelos, captura del carbono y además la conservación de una gran biodiversidad de especies tanto a nivel de flora como la fauna (Bennett, 1999).

En términos de productividad, los servicios proporcionados por los SAF son menos evidentes, ya que aunque el café mejora en calidad física y en calidad organoléptica, la producción tiende a decrecer, por cuestiones fisiológicas y por la presión de algunas plagas y enfermedades, a medida que la sombra se incrementa según (Da Matta, 2004). Dentro de este contexto uno de los grandes desafíos de los sistemas agroforestales es lograr un equilibrio (que

puede definirse en términos económicos) entre los servicios que éstos proporcionan y la productividad del café.

El presente estudio pretende evaluar los efectos del manejo de los sistemas agroforestales y de la estructura del paisaje a diferentes pisos altitudinales, sobre el complejo parasitario del café, dentro del corredor Biológico Volcánica Central Talamanca de Costa Rica. El estudio se enfocará en la roya, la broca y los nematodos, los cuales son especialmente importantes en la zona de influencia del trabajo. Este se realizó en el marco del proyecto CATIE – CAFNET - CIRAD “Connecting, enhancing and sustaining environmental services and market values of coffee agroforestry in Central America, East Africa and India” cuyo objetivo principal es desarrollar modelos agroforestales que provean servicios y mantengan altos niveles de productividad y rentabilidad económica. Este trabajo también se enmarca dentro del proyecto OMEGA3 del CIRAD “Ecologically intensive approach for sustainable crop pest management in tropical agrosystems”. Los resultados de este estudio podrían utilizarse como insumo para la elaboración de una estrategia integral de manejo de las principales plagas del café, en concordancia y en armonía de los ecosistemas naturales.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo general***

Evaluar los efectos de los sistemas agroforestales de café y del contexto del paisaje, a diferentes estratos altitudinales y tipos de certificaciones sobre la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y nematodos (*Meloidogyne* spp.) en las localidades de Turrialba y Orosi en Costa Rica.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- ❖ Relacionar la estructura del paisaje con la incidencia de la roya, la broca y los nematodos.
- ❖ Determinar el efecto de las certificaciones sobre la incidencia de plagas y enfermedades y la productividad del café.

- ❖ Establecer una jerarquía sobre la incidencia de la roya, la broca, y los nematodos, es decir, entre descriptores de (la estructura del paisaje, el ambiente, el manejo, y las certificaciones).

## **1.2 Hipótesis del estudio**

- ❖ Existen relaciones diferentes entre la estructura del paisaje y la roya, la broca, y los nematodos, ya que estos organismos tienen diferentes capacidades de dispersión (hasta cientos de kilómetros para la roya, hasta unos cientos de metros para la broca, algunos metros para los nematodos).
- ❖ Existen efectos de las certificaciones sobre las incidencias de plagas, enfermedades y la productividad del café.
- ❖ Es posible establecer una jerarquía entre descriptores del ambiente, de la estructura del paisaje, del manejo, y las certificaciones para explicar la incidencia de roya, broca, y nematodos.

## **2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 El cultivo del Café**

El café es una planta tropical que crece entre los 25° de latitud Norte y los 25° de latitud Sur. Son importantes la temperatura, la lluvia, el sol, el viento y el suelo, pero las exigencias son distintas según las variedades que se cultiven. En general, el café necesita precipitaciones anuales de entre 1.200 y 2.000 mm, si bien el café Arábica necesita menos que otras especies. El ciclo de períodos lluviosos y secos es importante para el crecimiento, la brotación y la floración. La cantidad de lluvia que necesite dependerá de las propiedades de retención del suelo, la humedad atmosférica la nubosidad y también de las prácticas de manejo del cultivo (Fischersworing y Robkamp 2001).

Según, (Castro et al., 2000). En las regiones cafetaleras hay recursos de flora y fauna que interactúan con el cultivo. Además, la producción de café, como sistema de cultivo es compatible con el ambiente. El café bajo sombra, constituye el 74.4% de la caficultura del territorio centroamericano. Las prácticas limpias y ecológicas, el beneficiado ecológico, la diversificación forestal y el ecoturismo son compatibles y se refuerzan mutuamente y contribuyen a la sostenibilidad agrícola.

La promoción de los Sistemas Agroforestales (SAFs) en café, como un sistema de uso de la tierra practicada desde tiempos inmemorables, tanto en el viejo como en el nuevo mundo, comenzaron a finales de los años 70 (Steppler y Nair 1987). Las bondades y servicios que estos sistemas prestan a los productores, aunado a la creciente preocupación internacional sobre temas ambientales, hace reconocer que los SAF poseen muchas ventajas sobre los monocultivos para responder a la demanda de una agricultura multifuncional proporcionando servicios medioambientales importantes, valores estéticos, zonas de amortiguamiento en áreas protegidas y áreas de recreación para turismo agroecológico (Beer et al., 2003). Son muy conocidos los beneficios de los árboles en los sistemas de producción ya que modifican el ambiente mediante sus raíces, ramas y hojas que a la vez forman una capa de hojarasca con grandes beneficios para el suelo; además de que pueden generar ingresos adicionales por la producción de madera, leña y frutos (Muschler, 2000).

Los agro-ecosistemas de la caficultura en las últimas décadas han reducido su diversidad biológica como resultado del uso excesivo de fertilizantes, control intensivo de plantas arvenses con herbicidas y eliminación de los árboles de sombra, con la finalidad de elevar la productividad por unidad de área. No obstante, en los últimos años, los bajos precios del café junto con los altos costos de producción del modelo y la demanda cada vez mayor de café orgánico, están revirtiendo esta situación (Muschler, 2001)).

## **2.2 Las certificaciones**

Las certificaciones presentan un conjunto de criterios ambientales, sociales y económicos que los auditores de cada certificadora deben evaluar en el manejo de las fincas y beneficios del café. La certificación del café, representa una iniciativa de la producción del café de manera sostenible. Su principal prioridad es la conservación del ambiente. El Cuadro 1 resume los criterios de certificación para cada tipo de sello.

*Cuadro 1. Criterios de Sombra, Pesticidas, Ambiente y lo social por cada sello de certificación*

Certificaciones	Certificaciones que exige la : <b>sombra</b>	Certificaciones que permiten los: <b>Pesticidas</b>	Certificaciones que incluyen al medio <b>Ambiente</b> en su sello	Certificaciones que incluyen lo <b>Social</b> en su sello
Orgánico	no (aunque la mayoría tiene sombra)	no (con algunas excepciones)	sí	no
AAA Nespresso	sí	sí	sí	sí
Rainforest Alliance	sí	sí	sí	sí
Starbucks	sí	sí	sí	sí
Comercio Justo	no la menciona	sí	sí	sí
Bird Friendly	sí	sí	sí	no
Utzkapeh	no	sí	sí	sí
EUREPGAP	no	sí	sí	sí
Certificación. Eco-OK	sí	sí	no	sí

Fuente: M.Sc. Gabriela Soto. Comunicación personal

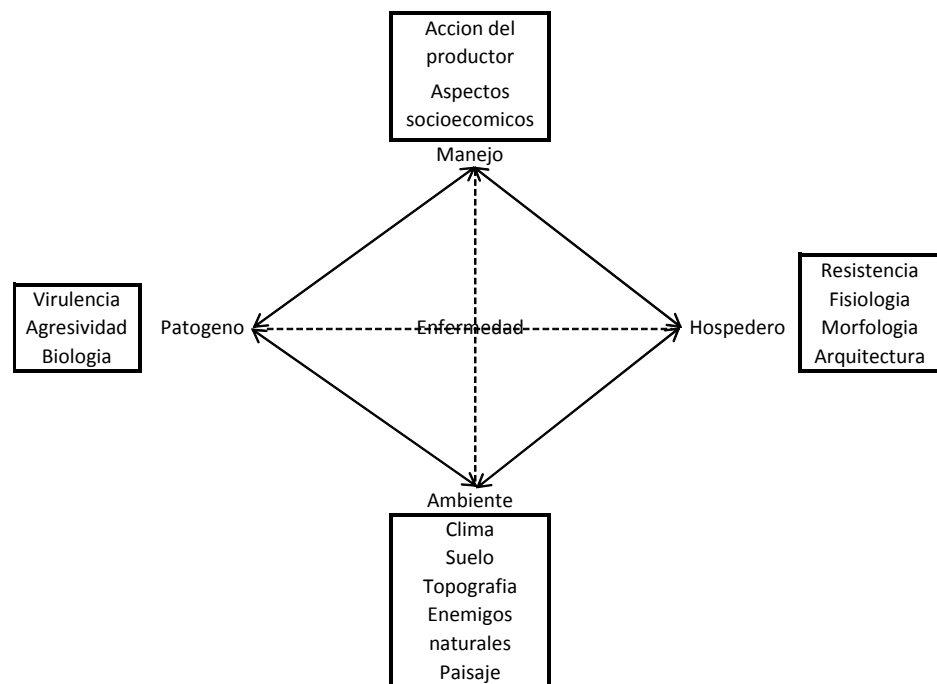
No: Criterio que no aplica o no lo considera importante la certificadora

Si: Criterio que aplica o lo considera importante la certificadora



## 2.3 Factores que determinan la presencia y severidad de una plaga y enfermedad

Los factores que determinan la presencia y severidad del ataque de una plaga o enfermedad son factores del hospedero (resistencia, fisiología, morfología y arquitectura), del patógeno (virulencia, agresividad y biología), del ambiente (clima, suelo, topografía) (enemigos naturales), el manejo del productor y el contexto paisaje. Más que los efectos individuales de estos factores, son las interacciones entre ellos las que son determinantes, como lo recuerda la representación simbólica de la enfermedad propuesta por Zadoks y Schein en 1979 (Figura 1).



**Figura 1:** Tetraedro de las enfermedades (Zadoks y Schein 1979)

## 2.4 Principales enfermedades del café en Centro América

Al cultivo del café lo atacan un complejo de enfermedades y plagas que pueden afectar su calidad física y su calidad organoléptica. Dentro del complejo de plagas y enfermedades que atacan al cultivo se puede hacer mención de la roya, enfermedad causada por el hongo *H. vastatrix* de fácil diseminación y que causa lesiones en las hojas, lo que provoca una defoliación severa a los cafetos y pérdidas de producción. La broca del café, *H. hampei*, es posiblemente la plaga más importante en Centro América. Esta causa pérdidas elevadas ya que afecta directamente el grano provocando mermas en cantidad y calidad.

Los nematodos de los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus* también afectan el café, pero los daños que provocan no son percibidos por el productor por ser plagas del suelo poco visibles. Estos organismos atacan las raíces jóvenes afectando la absorción de agua y nutrientes y en consecuencia los cafetos infestados manifiestan clorosis en las hojas, defoliación y pobre desarrollo. En casos de alta severidad y después del estrés de las sequías, los cafetos infestados se marchitan y mueren. Existen otras plagas y enfermedades que también son consideradas como muy importantes en la producción de café: El mal del talluelo (*Rhizoctonia solani*) que ataca principalmente plantaciones de café en los semilleros cuando no se realiza una buena desinfección de los sustratos. También se puede hacer mención de la antracnosis o muerte descendente en café causada por varios hongos del género *Colletotrichum*.

Es considerada de mucha importancia ya que también ataca el grano perdiendo éste la calidad. Se pueden considerar de mucha importancia también en el complejo patogénico el ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) ya que son enfermedades que defolian las plantas del café y por lo consiguiente el proceso de fotosíntesis de las plantas se ve afectado. Otras enfermedades menos importantes son el mal de hilachas causado por *Corticium koleroga*, el mal rosado causado por *Corticium salmonicolor*, la crespada causada por la bacteria *Xylella fastidiosa*, el derrite causado por *Phoma costarricensis*. El presente estudio se desarrollo en los tres cantones más importantes de la región (Paraíso, Jiménez y Turrialba)

Las enfermedades más dañinas, en realidad, están todavía fuera de América. El CBD (*Coffee Berry Disease*) causado por *Colletotrichum kahawae* causa grandes pérdidas de producción en el continente africano al igual que la fusariosis asociada a *Fusarium xylarioides*.

#### **2.4.1 Royá del café (*Hemileia vastatrix*)**

La royá del café (*H. vastatrix*) es una de las enfermedades que causa mayores pérdidas en el rendimiento. Para su control se han considerado una serie de estrategias, como el control químico, la resistencia genética, el control biológico el control cultural y el manejo integrado. El control químico ha sido el más eficaz para el manejo de la royá; sin embargo la contaminación del ambiente, así como el alto costo de las aplicaciones y el riesgo de desarrollo de resistencia ha provocado que esta estrategia no se considere como la solución ideal para resolver el problema según (Javed 1987, y López et al., 1990, Becker, 1991).

La royá es un hongo de la clase *Basidiomycetes*, del género *Hemileia* (mitad liso por la característica de sus uredosporas). Presenta ocasionalmente teliosporas y basidiosporas, siendo la principal forma de reproducción uredosporas. La royá es un parásito obligatorio que afecta hojas vivas de las especies de género *Coffea*. De las especies cultivadas la *C. arabica* es la más afectada. Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen en la cara inferior de la hoja, por donde penetra el hongo. Aparecen pequeñas lesiones amarillentas que con el tiempo se vuelven coalescentes y producen uredosporas con un color anaranjado característico (Avelino et al., 1999). En la actualidad no se ha reportado ningún hospedero alterno de la royá, sin embargo, el hecho que las basidiosporas sí germinen sobre el cafeto, pero no logran infectarlo, indica que el hongo probablemente necesite otro hospedero para completar su ciclo, por lo cual se considera a la royá como heteroica.

La royá se inicia como una lesión translúcida, si se ve por el haz de la hoja. Pero si se volteá la hoja, se verá el polvillo anaranjado que la caracteriza. El punto inicial de la infección de la royá es más bien difuso, en comparación con el punto inicial de la infección de la mancha de hierro, que es bien definido con su halo amarillo. La infección ocurre sólo por el envés de la hoja. Las esporas germinan si hay agua, y entran por los estomas. Las temperaturas de 22°C a 24°C favorecen el proceso de germinación, penetración y colonización de la hoja.

Luego se forman, de nuevo, esporas que salen a través de los estomas. El hongo de la roya sólo puede infectar las hojas. Al disminuir el área de fotosíntesis, se reduce el crecimiento de las ramas y baja el potencial productivo de la planta en el ciclo siguiente. El hongo de la roya puede sobrevivir en lesiones que no tienen esporas, en las hojas bajas de la planta.

Los principales factores que influyen en el desarrollo de la enfermedad son la carga fructífera (a mayor carga, mayor susceptibilidad), la lluvia, el inóculo residual del campo al principio de la estación lluviosa, y el grado de densidad foliar del árbol. La enfermedad se inicia poco después de la estación lluviosa. Los niveles máximos de la enfermedad y la defoliación se presentan a nivel del pico de cosecha, (Avelino et al., 2004).

Los efectos de la sombra sobre la roya del café son relativamente controvertidos. Algunos autores mencionan niveles más altos de roya bajo sombra que al sol (Machado y Matiello, 1983; Staver et al., 2001; Avelino et al., 2004; Avelino et al., 2006), mientras que otros (Soto-Pinto et al., 2002) reportan niveles más bajos. Por otro lado Avelino y sus colaboradores (2004, 2006) sugieren que los diferentes resultados obtenidos podrían explicarse por diferencias de cargas fructíferas. En realidad, la sombra podría afectar la roya a través de dos mecanismos principales, los cuales son antagonistas. La sombra evita que la carga fructífera alcance niveles muy altos, lo cual disminuye la predisposición del cafeto a la roya, y la sombra propicia condiciones de microclima (humedad, temperaturas, luminosidad), las cuales, al contrario podrían ser más favorables para el proceso de infección de la roya.

Para evaluar el impacto de la incidencia de la roya del café o de cualquier otra naturaleza en los que se requiera conocer el avance de la enfermedad en el tiempo se ha tropezado con el problema de estimar la proporción de hojas enfermas (incidencia). En las plantas de hojas caducas como el cafeto la continua formación y caída de las hojas hace difícil calcular las proporciones acumulativas de la roya. La caída de las hojas enfermas y la formación de nuevas falsamente reducen la proporción de la enfermedad a la vez la caída de hojas sanas falsamente también, aumenta la proporción de la enfermedad. La ventaja del método propuesto por Kushalapa, (1981) es que permite cuantificar las hojas sanas y enfermas, así como los cambios ocurridos entre cada lectura como crecimiento de la enfermedad del hospedero pérdidas de hojas enfermas o sanas, ya que cada hoja de las bandolas marcadas queda identificada.

#### **2.4.2 Broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari)**

La broca aparece por primera vez en Costa Rica en el año 2000 y en la actualidad afecta ya muchas fincas cafetaleras del país. El café posee varias limitantes fitosanitarias, sin embargo, la que provoca mayor daño y repercusión económica en Centroamérica es la broca (Le Pelley, 1968 y Obando, 2002). Las poblaciones de broca que sobreviven en los frutos residuales de post-cosecha constituyen el principal inóculo que asegura la perennidad del ciclo anual de la plaga. La humedad generada por las lluvias esporádicas de la época seca combinada por temperaturas altas, provoca su emergencia y su migración (Baker et al., 1992, Dufour et al., 2000).

La broca ataca directamente el fruto del café en todas las fases del período de su maduración (verde, maduro y sobre maduro). Por consiguiente, ocasiona importantes pérdidas en el rendimiento sobre todo en la calidad del grano, del que se alimenta y utiliza como sitio de reproducción, desarrollo y refugio (Le Pelley, 1968). La disminución en el peso de los granos, la cantidad de frutos vanos y la caída de los frutos inmaduros son las evidencias del daño causado. Según (López, 1994) la broca puede dañar hasta un 80 % de la producción y en algunos casos ocasionar pérdidas totales.

El ciclo de vida de la broca ocurre en el interior de las cerezas de café. Las hembras adultas emergen de las cerezas infestadas y perforan nuevos granos. La oviposición ocurre durante un periodo de 20 días tiempo durante el cual deposita 2 a 3 huevos diariamente dentro de las almendras. El promedio de progenie por hembra ha sido estimado en 74 individuos y el ciclo de vida ha sido calculado en 27.5 días. La temperatura ambiental es un factor que incide directamente en la duración del ciclo de vida de *H. hampei*, y por lo tanto este factor es muy determinante en el número de generaciones en el año. En las zonas agroecológicas con temperaturas altas, el ciclo de vida es más corto, esto significa que se pueden presentar un mayor número de generaciones del insecto y por consiguiente, mayores daños a la cosecha (Ticheler, 1961; Guharay et al., 2000). Algunos estudios realizados en Chiapas, México, demuestran que las mejores condiciones para el desarrollo de *H. hampei* corresponden a temperaturas que oscilan entre los 23°C y 25°C (Dufour et al., 1999). Por otra parte Baker et al., (1992) plantea que la

temperatura afecta la emergencia de las hembras colonizadoras, siendo mayor su actividad con temperaturas mayores a los 20°C; aunque también este factor está muy relacionado con la humedad relativa.

Las larvas son apodas de color blanco, miden entre (0.79mm y 72 mm y máximo .84mm) de largo y de (0.24mm - 0.23mm y máximo 0.25) de diámetro. Tienen mandíbulas fuertes proyectadas hacia adelante. Posterior al estado larval sigue la fase de pupa la cual es en un principio de color amarillento y luego se torna en un pardo pálido. Las pupas son de tipo exhalada o libre y pueden medir entre 1.88mm a 2.30mm en promedio viven 40 días (Bergamin, 1943).

Su cuerpo está cubierto por setas blancas; este que dura de 10-26 días tiempo en el que se alimenta del endospermo en el fruto del café. A medida que se alimentan, éstas perforan el endospermo, haciendo galerías en los granos, donde se puede observar materia excretada y un polvo fino en la superficie. (Ticheler, 1961; Guharay et al., 2000).

Este insecto cuando emerge es de color castaño claro, cambia a pardo oscuro hasta tornarse negro. La cabeza de los adultos tiene forma globular; las antenas tienen forma de codo, los ojos son planos y no convexos, los élitros están cubiertos con setas o espinas que crecen hacia atrás. El segundo par de alas está presente en las hembras mientras que en los machos se encuentran muy reducidas y por lo tanto no pueden volar (Bergamin, 1943).

En la selva tropical de donde es originaria la broca se supone que había una gran diversidad de especies y por tanto los cafetos se encontraban dispersos y con baja producción de frutos (Baker, 1984). Esto permite asumir que la broca vuela bien como lo demuestran varios estudios. La broca en condiciones de laboratorio puede volar libremente hasta una hora y media y más de tres horas en vuelos sucesivos. La broca vuela levantándose lentamente y casi en forma vertical hasta encontrar corrientes de aire que la arrastran a otros sitios. (Baker, 1984).

Por otro lado, Enrique et al., (2004) encontraron que la humedad afecta la mortalidad y el potencial reproductivo de la broca. A bajas humedades, ocurre alta mortalidad y la máxima fecundidad se encontró a 90 % y 93.5% de humedad relativa. La emergencia de la broca de

frutos infestados se incrementa entre 90 % - 100% de humedad relativa. Por otro lado, el incremento de la humedad relativa en el interior de los frutos provocada por las fuertes precipitaciones, estimula la emergencia de brocas del interior de los frutos (Baker et al., 1991; Trejo y Fúnez, 2004). Pero también, una humedad excesiva causa la pudrición de los frutos que se encuentran en el suelo, en tanto la baja humedad produce un secamiento de los mismos, lo cual reduce la reproducción de la plaga (Ticheler, 1961; Decazy, 1990).

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

La emergencia de la broca de los frutos es muy baja a temperaturas inferiores a 20°C mientras se incrementa considerablemente entre 20-25°C. Cabe destacar, que el rango óptimo para el desarrollo de la broca se encuentra entre los 800 y 1000 msnm (Sibaja et al., 1989). Por lo general, a mayor altura (1500 msnm) la broca no ocasiona daños económicos (Guharay et al. 2000). La altitud está directamente relacionada con la temperatura ambiental. En este sentido, Trejo y Funez, (2004) plantean que en cafetales con rangos altitudinales entre los 500 m y 700 m las poblaciones de broca son mayores. Sin embargo, Guharay, (2001) encontró en muchas zonas cafetaleras de Nicaragua con diferentes pisos altitudinales, menores o mayores infestaciones de broca a las esperadas, lo cual pone de manifiesto la adaptación de la especie.

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

La mayor incidencia solar causa disminución de la humedad relativa (Feliz, 2003) por debajo del 70 %, en las horas de la tarde tanto en las calles de las plantaciones a pleno sol como bajo sombra de madero negro (*Gliricidia sepium*). Esto limita en gran medida las actividades de la hembra ya que normalmente realizan su vuelo en búsqueda de nuevos frutos para la oviposición en horas de la tarde. Este es un efecto contrario (alta humedad relativa) en las calles bajo la sombra de manzana rosa (*Eugenia jambos*), y bajo esta condición son favorables para las actividades de las hembras ya que aumenta las poblaciones de *H. hampei*. (Feliz, 2003).

Un estudio, realizado por Bosselmann et al., (2008) en Colombia, sobre la influencia de la sombra en la calidad de café y la presencia de la broca en el grano, demostró que hubo mayor presencia y afectación de *H. hampei* en los cafetales bajo sombra que en las áreas manejadas sin sombra. A la vez el mismo estudio indica que los agentes de control natural de esta plaga que a menudo se encuentran en área con sombra densa, probablemente no estuvieron presentes en las parcelas estudiadas que tenían sombra moderada. Similarmente, en un estudio realizado en Honduras se encontró mayor incidencia de broca en las áreas con sombra media, y en las plantaciones con sombra densa y sin sombra fueron menos afectadas (Ticheler. 1961; Guharay et al., 2000).

Mestre y Salazar, (1995) indican que la disposición de los árboles de sombra en el cultivo del café es muy importante. Observaron que esto permite a los jornaleros desplazarse dentro de los cafetales eficientemente para hacer labores de manejo y realizar evaluación de infestaciones. También permite las aspersiones para el control de la broca, y además aplicaciones de herbicidas en forma selectiva en plantas indeseables (malezas).

Por ejemplo, Bustillo et al., (1998) y Bustillo et al., (2002), sugieren que conocer la fauna benéfica especialmente la nativa que afecta una plaga es fundamental para hacer planes sobre su manejo. Esto reafirma la importancia de preservar los ecosistemas con medidas de control que no afecten esta fauna y así favorecer al productor quien tendrá que hacer menos esfuerzos físicos y económicos para el control de la plaga (Rivera, 2000) recomienda mantener una cobertura de arvenses nobles que no compitan con el café y que proporcionen protección al suelo, para facilitar, a la vez, la sobrevivencia de la fauna benéfica que ataca la broca del café. Parasitoides introducidos como *Cephalonomia stephanoderis*, se han encontrado



alimentándose del néctar de las arvenses nobles en los cafetales (Salazar y Baker, 2002). Otros parasitoides introducidos en Centroamérica para el control de la broca son *Prorops nasuta* y *Phymasticus coffea*.

Uno de los cuellos de botella para masificar en una forma económica el uso de los parasitoides de la broca, ha sido el costo de su producción una vez que debe utilizarse en grandes cantidades para que tengan un efecto inmediato en las poblaciones de broca. Los procesos de cría, utilizando café cereza y pergamino han tratado de reemplazarse por dietas artificiales (Ruiz et al., 1996, Portilla y Bustillo, 1995). Estudios en los últimos años han mostrado avances en la optimización de la dieta artificial permitiendo la producción de muchas generaciones continuas (> 80) bajo condiciones de laboratorios en estos sustratos (Portilla 1999a, 1999b, 2000, Portilla et al., 2000). Sin embargo, los intentos por lograr una mecanización de estos procesos para reducir la mano de obra han sido infructuosos, resultando aun en sistemas de producción que requieren una gran y sofisticada infraestructura que elevan los costos de producción por encima del sistema de producción actual.

El hongo *Beauveria bassiana* se encuentra de manera natural infectando la broca en el café en casi todas las regiones en donde este insecto aparece. Cenicafé en Colombia posee 102 aislamientos procedentes de diferentes países y colectados localmente, de los cuales aproximadamente la mitad han mostrado actividad contra broca (Posada y Bustillo, 1994). Con el fin de masificar el uso de este hongo, programas de investigación han centrado sus esfuerzos en los procesos de producción artesanal. (Marín y Bustillo, 2002); (Antía. et al., 1992). Pero (Morales et al., 1991) recomiendan su producción a nivel industrial. Esto ha permitido adelantar evaluaciones sobre su eficacia en los cafetales y tener inóculo del hongo disponible para que el agricultor pueda producirlo en su finca.

Un requisito importante en un programa de manejo integrado de plagas, es poder cuantificar el tamaño de una población. Y para cuantificar una población de un insecto plaga, es necesario establecer métodos de conteos directos o indirectos que establezcan el número de individuos existentes. Para el caso de la broca del café es imposible hacer censos debido a la cantidad de frutos existentes en un árbol y a la alta densidad de árboles por hectárea, lo cual sería antieconómico. Por otro lado la distribución agregativa del insecto también complica la

cuantificación. Por lo tanto, como lo indica Baker, (1999;) y Bustillo et al., (1998) se recomienda acudir al muestreo apoyado en fundamentos estadísticos, que permitan cuantificar las poblaciones de broca a través de mediciones indirectas.

Decazy et al., (1988), plantea un muestreo sobre sitios conformados por cinco árboles seguidos, de los cuales se toman en total 100 frutos para estimar el porcentaje de infestación. Cenicafé, (1993) y Bustillo, (1998) proponen medir las poblaciones de broca a través de un muestreo aleatorio de 30 sitios por cada 5.000 árboles/ha (método de muestreo de las 30 ramas), recorriendo el lote en forma aleatoria, (o formando las letras X o W), para distribuir los sitios de muestreo a través del cafetal de la mejor manera posible. En esas ramas, se cuentan todos los frutos presentes y los frutos brocados para calcular el porcentaje de infestación. Trujillo et al., (2006) proponen simplificar este método a través del método de la medida, el cual evita el conteo del total de frutos, calibrando la cantidad de frutos contenidos en una unidad de longitud de rama. Esa medida permite estimar el número de frutos de las ramas muestreadas sin tener que contarlos.

Para fines de investigación, de acuerdo con Rémond, (1996), citado por Dufour,( 2005), el número mínimo de plantas por muestrear depende del número de plantas de la parcela. Por ejemplo, para una parcela de 450 plantas el número mínimo de plantas por muestrear es de 14. Para una parcela de 4400 plantas el número por muestrear es de 27. Sin embargo, no es recomendable muestrear menos de 12 plantas. En cada punto de muestreo (cada planta) se cuentan el total de frutos (secos, maduros y verdes) que están en la planta y los caídos sobre el suelo (área de goteo) y el número de frutos brocados.

### **2.4.3 Nematodos (*Meloidogyne* spp.)**

Los nematodos ocasionan considerables daños en las plantaciones de café en América Latina. En Centroamérica, con excepción de Honduras donde solamente se han observado ataques en una pequeña zona fronteriza con Nicaragua, se presentan infestaciones generalizadas de nematodos en la mayoría de las zonas cafetaleras. Los nematodos constituyen uno de los principales problemas parasitarios del cafeto en América Central. Se citan básicamente a los géneros *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, con altas poblaciones, que manifiestan diferentes niveles de agresividad sobre las plantas de café. En Guatemala, El

Salvador y Nicaragua hay especies de *Meloidogyne* particularmente agresivas. Fernández et al., (1993), encontraron que en Costa Rica y Honduras, está más difundido *Meloidogyne exigua*, de menor agresividad en campo. Aunque, López y Salazar, (1989) encontraron en Costa Rica la especie *Meloidogyne arabicida* la cual asociada con el hongo *Fusarium oxysporum* causa un daño severo denominado corchosis.

La duración del ciclo de vida del nematodo nodulador (*Meloidogyne*) es altamente influenciada por la temperatura y otros factores edáficos (Taylor y Sasser, 1983). El ciclo de vida del nematodo inicia con la formación de un huevo, seguido de cuatro etapas juveniles y por último la etapa adulta. Las larvas del segundo estado (L2) o etapa infectiva generalmente penetran la raíz justamente en la punta o caliptra y se mueven entre las células no diferenciadas, alojándose cerca de los haces vasculares donde completan su ciclo. Con los estiletes perforan las paredes de las células alimentándose e inyectando secreciones a la planta.

El control de los nematodos se ha hecho clásicamente con nematicidas especialmente en la fase de vivero con el fin de evitar su propagación al campo. A nivel de campo, los nematicidas son muy poco eficientes y tienen graves efectos en la ecología y salud humana (Villain et al., 2000). La resistencia genética ha sido detectada en la especie *C. canephora*. Villain et al., (2000) sugieren que el injerto hipocotiledonario de *C. arabica* sobre *C. canephora* permite controlar los nematodos, especialmente *P. coffeae*.

El control biológico de nematodos formadores de agallas abarca una gran diversidad de organismos que viven en el suelo, que incluyen virus, bacterias, hongos nematófagos, protozoos, y también depredadores como turbelarios, nematodos, ácaros, y otros insectos (Kerry, 1995). (Wardle et al., 1995) sugiere que el integrar materia orgánica al suelo permite incrementar la biota del suelo: bacterias y hongos que degradan la materia orgánica, nematodos que se alimentan de los anteriores, nematodos depredadores en detrimento de los nematodos fitoparasíticos.

Herrera, (2007) propone como método de muestreo que: en cada parcela experimental, se seleccionan cinco puntos de muestreo (plantas de parcela útil). En cada punto de muestreo se realiza cuatro sub-muestra por planta, para un total de 20 muestras por parcela. Las sub-

muestras en cada planta serán tomadas en los lados opuestos, a una distancia de 15 cm horizontalmente con respecto al eje principal, y a una profundidad de 20 cm. Antes de realizar las muestras se debe eliminar material vegetativo de la superficie del suelo. La muestra de la parcela estará conformada por aproximadamente 100 gr de suelo y 25 gr de raíces tomadas en los cinco puntos de muestreo. El suelo y raíces tomadas en cada punto de muestreo serán colocados en una misma bolsa de papel debidamente etiquetado. Para garantizar la calidad del material, las muestras deberán ser trasladadas a laboratorio el mismo día que fueron recolectadas, dentro de un termo con hielo, con la finalidad de garantizar la viabilidad de las muestras y los nematodos.

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación y descripción física y biológica del área de estudio**

La investigación se llevó a cabo en el área del El Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca que se ubica en el Área de Conservación de la Cordillera volcánica Central, donde se localiza la provincia de Cartago. Esta zona abarca los cantones segundo (Paraíso) cuarto (Jiménez), quinto (Turrialba), sexto (Alvarado). El Corredor Biológico Turrialba se encuentra entre las coordenadas Lamber para Costa Rica: 553500-599500 E y 190900- 224200 N, (Figura 2).

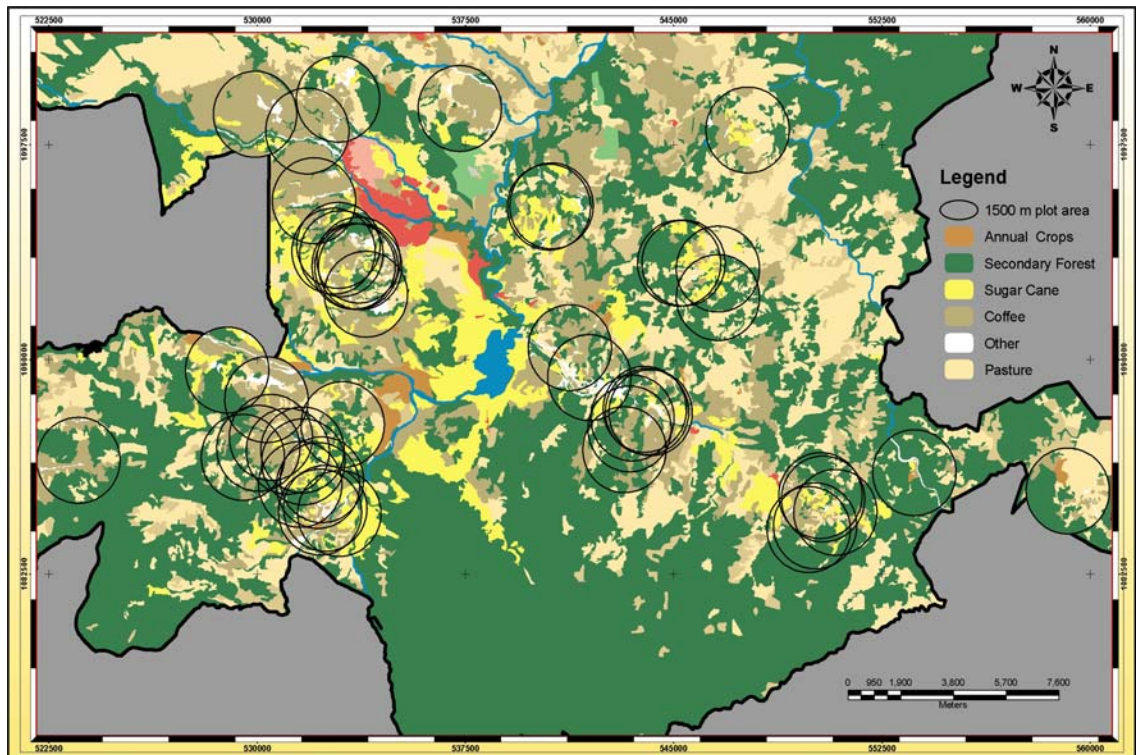


Figura 2. Mapa del área del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca donde se observan los puntos que representan las parcelas utilizadas en el presente estudio (Mapa elaborado Por Christian Brenes)

El cantón de Turrialba de la provincia de Cartago, se localiza a 9°52' Norte y 83°38' Oeste a 64 km de la capital San José con una temperatura promedio de 24 - 29 ° C con un 85 % de humedad relativa, una precipitación promedio anual de 2600 mm (CATIE 2009). Una de las principales actividades de producción agrícola en Turrialba es el cultivo de café, con un área de 27029 hectáreas en el periodo 2006 - 2004, lo cual representa el 30 % del área cultivada a nivel nacional, del cual el 32% del área establecida en Turrialba corresponde al sistema de manejo café con sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) (ICAFFE y INEC 2007).

Los sistemas agroforestales de café en el cantón de Turrialba y en el distrito de Orosi con sombra están sembrados con las variedades Caturra y Catuai principalmente. Las edades oscilan entre 5 a 20 años, con una densidad de 5000 plantas / ha (2 m x 1 m). El área cultivada de café bajo sombra con árboles de leguminosas (poró, *Erythrina poeppigiana*) y especies maderables (laurel, *Cordia alliodora*), representa el 91% del total de Turrialba. Normalmente,

las podas para *Erythrina* se realizan en los meses de agosto, diciembre y junio donde el 95 % del material vegetal se incorpora al sistema. *Cordia* es una especie caducifolia desde enero hasta junio, donde el 74 % del material vegetal, se incorpora al sistema reciclando una cantidad de nutrientes que proporcionan el nivel de fertilización que el café requiere para la producción (Glover y Beer 1986).

El distrito de Orosi está localizado 09°43' latitud norte y 83° 45' longitud Oeste y a 8 km de la ciudad de Cartago y a 40 km de la capital San José Con un área de 315.32 km<sup>2</sup>. Presenta una temperatura promedio de 22°C. Precipitación promedio de 1812 mm. El cultivo de café representa una de las principales actividades de producción agrícola del distrito, con un área de 1,324 hectáreas en el periodo 2003-2006, cultivadas con las variedades Caturra y Catuaí rojo principalmente, lo cual representa el 1.17 % del área cultivada a nivel nacional ICAFE – INEC (2003 -2006) El área cultivada de café bajo sombra con árboles de leguminosas (poró) y especies maderables (laurel), representa el 91% del total de Orosi. En la época lluviosa, se mantiene un 40 % de la sombra ya que realizan una poda un poco drástica, dejando un poco más del 60 % de la sombra en la época seca en dependencia de la altura de la zona.

En la época lluviosa, se mantiene un 40 % de la sombra ya que realizan una poda un poco drástica, dejando un poco más del 60 % de la sombra en la época seca en dependencia de la altura de la zona.

El Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, tiene como objetivo el de favorecer la conservación de la biodiversidad estimulando la conectividad entre zonas forestales naturales protegidas (públicas o privadas) con los sistemas agroforestales (SAF), particularmente a base de café. El Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca está dominado por bosques secundarios alternados con cultivos permanentes (CBM-CR 2002). Hay dos núcleos de considerable tamaño al noroeste del CB (Tayutic) y al sur del mismo (en el sector de Tuis y La Marta), y otros parches de menores dimensiones dispersos por el corredor. El paisaje se alterna con algunos núcleos de pastos; por otro lado las zonas de uso mixto predominan sobre las áreas de uso urbano.

En el Cuadro 2, se indican los diferentes usos de suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca.

*Cuadro 2. Categorías de uso del suelo del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (ITCR 2000)*

Categoría uso del suelo	Hectáreas	% de uso
Agricultura	191.13	0.17
Asentamientos humanos	864.21	0.75
Bosque	59,404.01	51.89
Caña de azúcar	4,801.77	4.19
Café	9,693.21	8.47
Charrales, tacotales y SAF densos	5,057.59	4.42
Cuerpos de agua	1,903.83	1.66
Cultivos anuales y perennes	1,515.59	1.32
No forestal	1,976.89	1.73
Nubes	45.88	0.04
Pasto y pasto arbolado	27,636.43	24.14
Plantación forestal	1,316.40	1.15
Suelo desnudo	78.09	0.07
Total general	114,485.22	100.00

### 3.2 Diversidad de manejo y certificaciones en el área de estudio

En la zona cafetalera del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, se manejan diferentes sellos, particularmente: Sello Orgánico certificado, AAA Nespresso, y en menor grado Rainforest Alliance y UTZ.

Las actividades de manejo que anualmente suelen realizar los productores (as) orgánicos de Turrialba y Orosi son: dos regulaciones de sombra del poró (enero y junio), dos controles mecánicos (moto guadaña), una aplicación de fertilizante orgánico (compost o pulpa de café), una aplicación de *Beauveria bassiana* para el control de broca y mantenimiento de cercas vivas. Para el control de enfermedades utilizan la regulación de sombra. La recolección de la cosecha se realiza entre los meses de julio a diciembre (4 graniteos, 4 medianas y 1 grande o pico de cosecha en noviembre) (*Comunicación personal con productores de Turrialba y Orosi*).

Los productores (as) orgánicos de Turrialba se encuentran asociados dentro de la Asociación de Productores Orgánicos de Turrialba (APOT), los cuales están certificados con

los sellos de Orgánico de National Organic Production (NOP), la Certificación CEE para el mercado Europeo, y la certificación bajo la norma nacional de la legislación de Costa Rica. Estas certificaciones se focalizan en un conjunto de criterios ambientales, sociales y económicos. Los productores (as) de Orosi comercializan su producción de café con la empresa de ECOM, la cual acopia café orgánico y convencional bajo el sello de programa AAA de Nespresso la cual hace énfasis en la calidad del café (calidad organoléptica y/o café Gourmet) producido por los productores de zonas altas. De igual forma se tomaron en cuenta dos productores con certificaciones de Rainforest Alliance y Starbucks, los cuales se caracterizan por manejar áreas de café grande y su comercialización es diferenciada, ya que todo el ciclo productivo es realizado en la finca (ciclo productivo).

Los productores (as) convencionales de Turrialba suelen realizar dos regulaciones de sombra del poró (enero y junio), cinco controles de maleza con herbicidas glifosato (cada dos meses), tres aplicaciones de fertilizantes (en diciembre nitrato de amonio y en mayo y agosto una fórmula completa) con una dosis de 50 g/planta. Además se realizan trampeos para broca (enero hasta junio). Para el control de enfermedades como la roya realizan dos aspersiones de fungicidas (cobre). La recolección de la cosecha se realiza entre los meses de julio a noviembre (4 graniteos, 4 medianas y 1 grande o pico de cosecha en noviembre) (*Comunicación personal con productores de Turrialba y Orosi*).

### **3.3 Metodología**

El método elegido para realizar estudios de plagas y enfermedades en café, fue las encuestas agronómicas, ya que permiten un enfoque holístico al caracterizar todos los factores que afectan las plagas y enfermedades y especialmente el manejo del cultivo (Savary, 1987; Lamouroux et al., 1995; Thébault et al., 2006; Avelino et al., 2006. 2007). Este enfoque fue el que se escogió para nuestro estudio, en el que se caracterizaron 50 parcelas de café por sus atributos técnicos, ambientales (incluyendo el contexto del paisaje), productivos y biológicos (plagas y enfermedades).



### ***3.3.1 Selección de parcelas***

Estas 50 parcelas (Figura 2) fueron seleccionadas mayormente en la red de 40 fincas manejadas por el proyecto CAFNET a través de las cuales se implementan o mejoran en forma participativa modelos agroforestales. En 20 fincas las otras 20 son controlar sin certificación, el proyecto dispone de dos parcelas: una parcela en la que se implementan modificaciones del sistema del cultivo con respecto al manejo, básicamente el de la sombra, y una parcela de referencia del productor, denominada parcela testigo.

Las fincas pertenecientes a esta red cuentan, con las siguientes características:

- ✓ Se encuentran ubicadas en dos regiones (Turrialba y Orosi)
- ✓ Se encuentran ubicadas con diferentes rangos altitudinales que van desde los 613 a 1259 msnm
- ✓ Dentro de las fincas seleccionadas existen tres tipos de manejo; convencional y orgánico certificado y la certificación AAA (Nespresso) Rainforest Alliance y Utz Certifield, Starbuck`s.
- ✓ Poseen buen acceso durante todo el año
- ✓ Disponibilidad del productor a contribuir con la investigación

*Cuadro 3 Fincas y parcelas seleccionadas para el presente trabajo en las diferentes Zonas de estudio*

Zona	No de parcelas	Altitud promedio msnm
San Juan Sur y San Juan Norte	8	963
Pejibaye	6	781
Aquiaries	2	957
Verbena sur	1	997
La Suiza	2	707
Finca Belgravia	3	835
Tucurrique	9	916
Pacayitas	4	956
Jicotea	5	871
Alto vara	1	783
Pavones	2	794
San Pablo de tres X	1	728
Finca La Colonia	3	726
Bajo Pacuare	1	613
Grano de Oro	1	1137
Cachí	1	1259

### **3.3.2 Unidad de Muestreo**

Dentro de esta misma parcela se marcaron 5 plantas. La mayoría de las observaciones o muestreos se hicieron a nivel de estas cinco plantas. La distribución fue la siguiente: surco 3 planta 3 (P1), surco 7 planta 4 (P2), surco 5 planta 8 (P3), surco 12 planta 13 (P4), surco 6 planta 14 (P5) (Figura 3) . En cada planta, se seleccionaron tres ramas en tres estratos. Las ramas, identificadas con colores diferentes, se utilizaron para el monitoreo de enfermedades y plagas foliares.

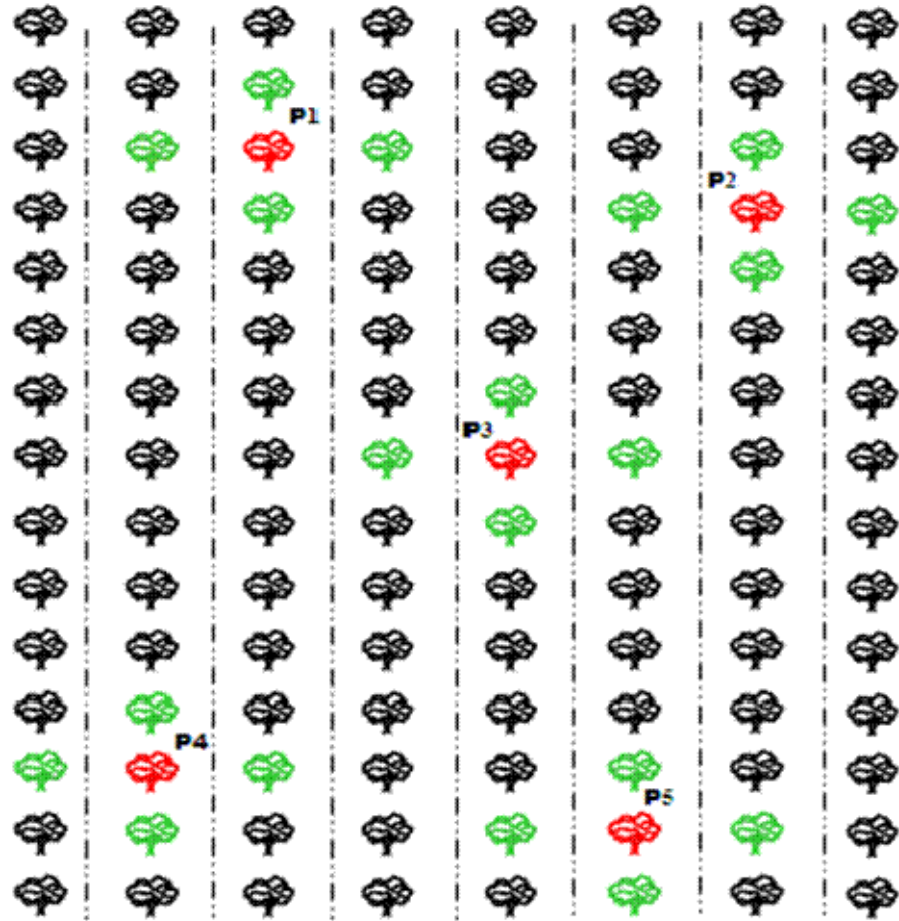


Figura 3. Ubicación de las unidades de muestreo (plantas) dentro de cada parcela del estudio (plantas de color rojo unidad de muestreo, plantas de color verde a las cuales se les realizó muestreo de nematodos, plantas en color negro son plantas de la parcela seleccionada)

### 3.3.3 Caracterización de las parcelas

Los datos se recolectaron en cinco momentos diferentes, durante el periodo comprendido de febrero a noviembre del año 2009: poco después de cosecha, en febrero (F1), finales de la época seca, en mayo (F2), época de lluvias, en julio (F3 y F4) y pico de cosecha, en noviembre (F5) (Cuadro 3).

*Cuadro 4. Resumen de los cinco diferentes momentos en los que se realizaron la toma de datos, durante el periodo comprendido de febrero a noviembre del año 2009.*

F1	Poco después de la cosecha (Febrero 2009)
F2	Final de la época seca (Mayo 2009)
F3	Época de lluvia (Julio 2009)
F4	Poco antes de la de cosecha (Septiembre 2009)
F5	Pico de cosecha (Noviembre 2009)

### **3.3.3.1 Caracterización ambiental (cuadro 4)**

#### ***3.3.3.1.1 Ubicación (F1, F2)***

Para la selección de las parcelas en estudio se consideraron los siguientes criterios: el contexto paisajístico, la altitud, el tipo de manejo y la certificación. Además se realizó un proceso de georeferenciación cada una de las 50 parcelas por evaluar y se ubicaron mediante el uso de un GPS (Global Positionning System) en noviembre del año 2008

#### ***3.3.3.1.2 Pluviometría (entre F1 y F5)***

Se realizó un monitoreo de la precipitación entre marzo y noviembre del 2009. Para eso, se establecieron siete pluviómetros (Figura 5) en siete de las cincuenta parcelas del estudio, escogidas estratégicamente de tal forma que la información recopilada pudiera aplicarse a las demás parcelas. Las parcelas son las siguientes: Grano de Oro, Jicotea 3, La Colonia 2, Pacayitas 4, Pejibaye 4, El Carmen 1 y Cachi 1 (anexo 7). Además de la precipitación total, la precipitación se sumó para cuatro periodos: abril, mayo y junio, julio y agosto, septiembre a noviembre.



*Figura 4. Modelo pluviométrico utilizado en la lectura de precipitación en las parcelas de estudio*

### **3.3.3.1.3 Topografía (F1 F2)**

Se determinó la altitud, orientación del surco con respecto al sol y la pendiente de las parcelas con un GPS, un clinómetro y una brújula.

### **3.3.3.2 Suelo (muestreo entre F1 y F3)**

El muestreo de suelo se hizo en la época seca en el mes de marzo 2009. Dentro de las parcelas establecidas se escogieron 2 plantas de café y 2 árboles de sombra. Se tomaron 3 submuestras con una barrena, a una profundidad de 20 cm, tomando como referencia la base de esas plantas; a una distancia de 1m, en dirección a la entrecalle, a una distancia de 0.5m, en la hilera, y la última a una distancia de 0.5m entre los otros dos puntos de muestreo. En total se tomaron 12 submuestra por parcela. Luego de homogenizar las submuestra, se extrajo una muestra de un kilo. Las muestras fueron analizadas química y físicamente en laboratorio.

de suelo del ICAFE según los procedimientos establecidos para los suelos cafetaleros centroamericanos (Miranda Arauz, 1989). Según la metodología del (Icafe, 2007). Los elementos o características analizados fueron: P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, pH, acidez total, materia orgánica, arcillas, limos y arenas.

*Cuadro 5. Descripción de las variables del entorno*

Tipo de variable	Variable	Unidad	Rangos de valores
Precipitación	Abril	mm	39-98
	Mayo-Junio	mm	496-876
	Julio-Agosto	mm	360-707
	Septiembre-Noviembre	mm	625-1058
	Abril-noviembre	mm	1617-2369
Topografía	Altitud	m	613 – 1259
	Inclinación de la pendiente	% Grados	5 – 50
	Orientación de la pendiente	(Norte=0 o 360, Sur=180)	0 – 340
Suelo	pH		4 – 5.5
	K	cmol (+) / L	0.2 – 0.7
	Ca	cmol (+) / L	0.7 – 17.9
	Mg	cmol (+) / L	0.2 – 4.2
	P	cmol (+) / L	5 - 74
	Cu	cmol (+) / L	4 - 34
	Mn	cmol (+) / L	14 - 179
	Fe	cmol (+) / L	23 - 363
	Zn	cmol (+)/L	0.6 – 3.6
	Acidez Total	cmol (+) / L	0.2 - 5.5
	Materia orgánica	% Peso seco	0.5 – 3.1
	arenas	% Peso seco	18 – 60
	arcillas	% Peso seco	28 – 46
limos	% Peso seco	18 – 52	

### 3.3.3.3 (Paisaje de F2 a F4)

Esta actividad se hizo con la colaboración de Héctor Cruz en el marco de su trabajo de grado de licenciatura de la Universidad de Tolima, Colombia 2010.

Se caracterizó la estructura del paisaje en discos concéntricos centrados en las parcelas estudiadas, de acuerdo a la metodología descrita por Steffan- Dewenter et al., (2001) y Thies et al., (1999). Los radios (en metros) de los discos que utilizamos fueron: 0, 50, 100, 150, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 1000, y 1500. La caracterización de los usos de suelo se realizó a partir de interpretaciones de imágenes aéreas de los años 1998 y 2004 con corroboraciones de campo hasta la distancia de 500 m (Figuras 5 y 6). Una vez bien definidos los usos de suelo, se procedió a calcular métricas de paisaje para las diferentes distancias estudiadas. Parches con contextos distintos. Para nuestro trabajo sólo se tomaron en cuenta los porcentajes del área sembrados con café, pasto, bosque (incluye charrales), y caña. Esos usos de suelo son los más frecuentes en el área. Se puede apreciar en la Figura 5 la diversidad de paisajes cubierta por nuestro muestreo.

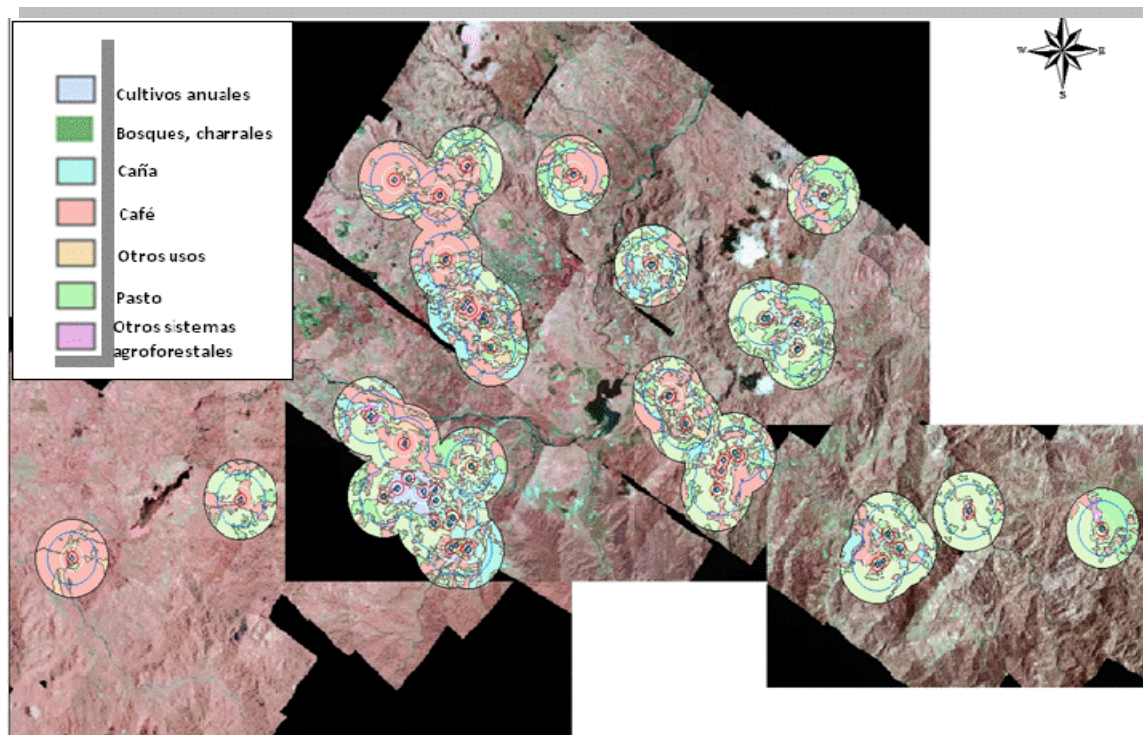


Figura 5. Descripción del paisaje alrededor de las 50 parcelas del estudio. Los círculos grandes tienen radios de 1500m (de acuerdo a Héctor Cruz 2010)





*Figura 6. Paisaje fragmentado con diferentes uso de suelo (pasto, bosque, caña y café) adyacente a la parcela en estudio (2009)*

#### **3.3.3.4 Caracterización técnica (Cuadro 5)**

Las prácticas culturales fueron caracterizadas por medio de entrevistas con los productores y tomando datos directamente en las parcelas, sobre la parcela en su totalidad o en las cinco plantas marcadas (Ver Anexo 1).

##### ***3.3.3.4.1 Datos Solicitados al productor (de F1 a F5)***

En las primeras visitas, se hicieron preguntas sobre la estructura del cafetal (variedad principal, sistema de poda). A lo largo del año, se le preguntó al productor sobre las prácticas aplicadas a la parcela en estudio: fertilizaciones y enmiendas (calidad, dosis, fechas de aplicación, formas de aplicación), podas realizadas (tipo y fechas), manejo de la sombra (intensidad de la poda y fechas) control de malezas (producto, dosis, fechas), control fitosanitario (productos, dosis y fechas) (ver anexos 1 y 5).

Los resultados obtenidos de la encuesta que se le practicó al productor sobre las prácticas que realiza, en términos de manejo del cultivo se encontró que al menos de los tres



tipos de manejo que los productores realizan encontradas en la zona de estudio: al menos realizan una poda del café, seguido de un deshije y dos regulaciones de sombra por año.

Para el caso de las certificaciones orgánicas el 54.55 % de los productores con este tipo de manejo realizan al menos una aplicación de fertilizaciones orgánicas foliares. El 81.82 % de los productores orgánicos realizan aplicaciones de enmiendas orgánicas. De igual manera para el caso de los productores con manejo convencional el 80 % realizan una aplicación de encalado en la mayoría de los casos sin ningún criterio técnico (análisis de suelo). El 75 % de los productores con certificación Nespresso también encalan.

Para el control de maleza el 40 % de los productores convencionales realizan dos limpiezas químicas durante el año, Nespresso el 56.25 % de los productores realizan dos limpiezas químicas por año. Cabe hacer mención que para el manejo de las enfermedades el 85 % de los productores convencionales no realizan ningún tipo de aplicaciones de fungicidas. Por otro lado los productores con manejo Nespresso el 87 % no realizan ninguna aplicación de insecticidas. Solamente el 54 % de los productores orgánicos realizan aplicaciones de *B. bassiana* como un mecanismo de control de la broca.

Con relación a los productores con manejo convencional y Nespresso en su mayoría no realizan el trampeo como una herramienta de control y monitoreo de la broca. Contrario a los productores orgánicos que si realizan un trampeo en sus cafetales durante todo el año. En lo que a la cosecha se refiere la mayoría de los productores con las tres certificaciones inician la cosecha durante el mes de junio y los pases de cosecha que realizan ambas certificaciones fluctúan entre los 10 y los 12 pases de cosecha lo que en realidad deja claro los altos costos de cosecha para los productores (*Encuesta agronómica practicada a los productores 2009*).

#### ***3.3.3.4.2 Datos tomados de la parcela experimental (F2 y F4)***

Se documentó la orientación del surco utilizando una brújula (ver anexo 1). La composición específica de la sombra afectando la parcela se documentó en las primeras visitas (F1 y F2). También se consideró la sombra de parcelas vecinas que afectaban las parcelas estudiadas. Se conformaron cuatro grupos de sombra: sólo leguminosas, leguminosas y otras especies que no sean musáceas, sombra con presencia de musáceas, sombra sin leguminosas ni musáceas (incluye la condición sin sombra).

#### ***3.3.3.4.3 Datos tomados a las plantas marcadas***

Se verificó que las plantas marcadas fueran de la variedad principal reportada por el productor. La densidad de siembra se documentó midiendo las distancias con los surcos vecinos y las plantas vecinas de las plantas marcadas. Se registró el número de plantas por golpe (F1 o F2) (ver anexo 1).

El porcentaje de sombra se midió en dos oportunidades en el año (F2 y F4) utilizando un densiómetro esférico. Para cada una de las cinco plantas se realizaron cuatro mediciones (dos opuestas en dirección del surco, y dos opuestas perpendiculares al surco) El valor de cobertura reportado por sitio corresponde al promedio de las dos mediciones (ver anexo 1).



*Figura 7. Densiómetro esférico utilizado en la medición de la sombra (mayo, septiembre, 2009)*

Cuadro 6. Descripción de las variables de manejo de tejido aplicadas en 2009 y de las certificaciones

Tipo de variable	Variable	Unidad	Rango de valores para las variables cuantitativas o categorías para las variables cualitativas
Estructura de la plantación	Variedad		Caturra o Catuaí
	Distancia entre plantas en el surco	m	0.72 – 1.61
	Distancia entre surcos	m	1.04 – 2.16
	Densidad de plantas	plantas/ha	3185 – 9520
	de plantas por golpe	#	1 – 3
	de sombra	%	0 – 59
	Tipo de sombra		Sólo leguminosas; Leguminosas y otros (sin musacea); Presencia de musáceas; Sin leguminosas ni musaceas (incluye sin sombra)
	anual de podas de la sombra	#	0 – 3
	Sistema de poda	-	sólo una categoría: por planta
	Prácticas del cultivo	anual de fertilizaciones químicas foliares	#
anual de fertilizaciones orgánicas foliares		#	0 – 1
anual de fertilizaciones químicas al suelo		#	0 – 3
anual de enmiendas orgánicas		#	0 – 1
anual de encalados		#	0 – 1
total de fertilizaciones por año		#	0 – 5
anual de deshierbe químico		#	0 – 5
anual de deshierbe mecánico		#	0 – 6
total de limpieas por año		#	0 – 6
anual de aplicaciones de insecticidas		#	0 – 1
anual de aplicaciones de <i>Beauveria bassiana</i>		#	0 – 2
Trampeo de broca		-	Sí; No
anual de aplicaciones de fungicidas		#	0 – 2
Certificaciones		-	Convencional; Orgánico; Nespresso; Rainforest Alliance; UTZ certified; Starbucks

#### 3.3.3.4.4 Caracterización de la productividad y de otras características de la planta

En julio 2009, se efectuó un conteo exhaustivo del total de números de nudos productivos en las cinco plantas marcadas por tallo ortotrópico. Se consideró un tallo productivo aquel que tuviera más de 20 nudos productivos. Según (Upreti et al., 1992) el número total de nudos fructíferos explica el 73 % de la producción total. También se midió la altura de las plantas y se documentó su edad con el productor (ver anexo 1).



Figura 8. Conteo de nudos productivos para estimar la productividad en las 50 parcelas (julio, 2009)

Cuadro 7. Características del cafeto y la productividad

Variable	Unidad	Rango de los valores
Edad de los árboles de café	año	3 – 50
Nudos productivos por planta	#	7 – 676
Altura de los árboles de café	m	1.44 – 2.86

### **3.3.3.5 Caracterización del complejo parasitario (Cuadro 7)**

Se caracterizó la intensidad de los ataques de las principales plagas y enfermedades a través de cuatro actividades principales: conteo de plantas enfermas, conteo de hojas enfermas, conteo de frutos brocados, muestreo de raíces para la estimación de la densidad poblacional de nematodos.

#### ***3.3.3.5.1 Enfermedades de tallos y ramas a nivel de parcela. (F5)***

Algunas enfermedades por tener una distribución agregativa o por afectar ramas y tallos fueron estimadas a través de una revisión, en el pico de cosecha (F5), del estado fitosanitario de todas las plantas presentes en las parcelas del estudio. Concretamente, se realizó un conteo de plantas con antracnosis (*Colletotrichum* spp.), ojo de gallo (*M. citricolor*), mal de hilachas (*C. koleroga*) (*Phoma costarricensis*) Derrite (ver anexo 1). Este conteo permitió calcular el porcentaje de plantas afectadas con dichas enfermedades en cada parcela.

#### ***3.3.3.5.2 Enfermedades foliares (F2, F5)***

Se evaluaron las enfermedades y plagas foliares siguientes a través del muestreo de hojas: la roya (*H. vastatrix*), la mancha de hierro (*C. coffeicola*), el derrite (*P. costarricensis*), el ojo de gallo (*M. citricolor*), el minador (*Pericleuoptera coffeella*). Para esto, se hizo un conteo de hojas afectadas en las ramas marcadas (en total 15 por parcela). Esta evaluación se hizo en cada una de las fechas de visita (F1 a F5). La metodología utilizada fue la propuesta por Kushalappa et al., (1984). La ventaja del método propuesto es que permite cuantificar las hojas sanas y enfermas, así como los cambios ocurridos entre cada lectura como crecimiento de la enfermedad del hospedero pérdidas de hojas enfermas o sanas, ya que cada hoja de las bandolas marcadas queda identificada. En cada rama marcada, se anotó la presencia o ausencia de hojas con un “1” o un “\_” respectivamente (línea TH), diferenciando las hojas viejas de las jóvenes a través de la identificación de un entre nudo corto que aparece durante la época seca. En la línea HR se apuntó la presencia de roya con un “1”. En la línea OE se apuntó la presencia de la mancha de hierro, de derrite, ojo de gallo, minador con un código para cada daño (ver anexo 4). Para nuestro caso, la metodología de Kushalappa, (1984) permitió, sobre

todo, verificar que los diagnósticos de enfermedades que se hicieron para cada hoja coincidían en cada lectura y que por lo tanto éstos estaban acertados.

De estos conteos, se dedujeron los porcentajes máximos de hojas jóvenes infectadas con roya, mancha de hierro, derrite, ojo de gallo, minador en el año.



*Figura 9. Medición de roya en los cinco momentos diferentes de la toma de datos en las 50 parcelas (F1, F2, F3, F4, F5).*

#### **3.3.3.5.2.1 Broca (F2, F5)**

Se hicieron tres tipos de evaluaciones: el número de frutos brocados remanentes después de cosecha en el piso (F1), el número de frutos brocados remanentes después de cosecha en la planta (F1), el número de frutos brocados en la nueva fructificación (F2 a F5).

En F1, se contaron todos los frutos remanentes y los que se encontraron en el área de goteo por planta marcada así como todos los frutos brocados tomando en consideración la metodología propuesta por Rémond, (1996) y Dufour, (2005) (Figura 10).



*Figura 10. Conteo de frutos en el área de goteo y de frutos remanentes en las cinco plantas marcadas por parcela (F1)*

Para los frutos brocados de la nueva generación, Rémond, (1996) citada por Dufour, (2005) recomienda hacer un conteo exhaustivo de todos los frutos presentes en las plantas muestreadas. Dada la cantidad de plantas evaluadas en este estudio (50 parcelas x 5 plantas = 250), esta metodología no podía aplicarse. Se desarrolló una metodología para estimar la cantidad de frutos brocados por planta (FBE) en forma más simple. En las cinco plantas marcadas por parcela, de F2 a F5, se contaron los frutos brocados presentes en cuatro ramas (FB), con frutos aptos, distribuidas en toda el área productiva de las plantas, y se contó el total de ramas con frutos aptos por planta (RFA) de tal forma que  $FBE = (FB/4) \times RFA$ . Posteriormente, se sacó el promedio de las cinco plantas. Cabe señalar que se verificó que las 20 ramas evaluadas por parcela sumaran siempre al menos 200 frutos aptos.

Para cerciorarse que la metodología propuesta permitía una buena estimación de la cantidad de frutos brocados por planta, se hizo un conteo exhaustivo del número de frutos brocados en 15 plantas y se comparó el número de frutos observado con lo estimado para grupos de cinco plantas, de acuerdo a lo explicado en la Figura 11. El muestreo resultó dar una buena estimación de la cantidad de frutos brocados ( $r^2=0.8$ ,  $P<0.01$ ), por lo cual éste se adoptó para nuestras evaluaciones. Sin embargo, es importante observar que la estimación tiende a subestimar la cantidad de frutos brocados ya que la pendiente de la regresión es inferior a uno.



De esta evaluación se dedujo el porcentaje máximo de frutos brocados por planta y por hectárea (de acuerdo a la densidad de plantas) en el año.

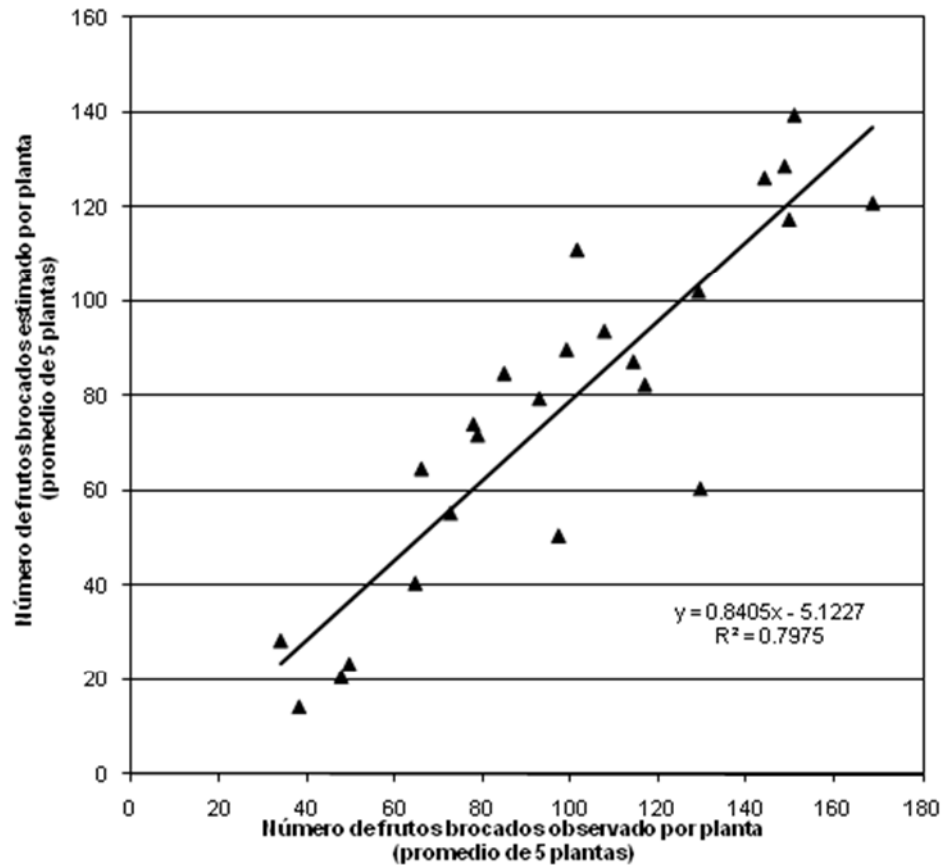


Figura 11. Correlación entre el número de frutos brocados observado y el número de frutos brocados estimado (FBE) a partir de un muestreo (promedio de 5 plantas).

El muestreo, realizado en marzo, consistió en un conteo de frutos brocados (FB) en 4 ramas con frutos aptos, ubicadas en 4 estratos del árbol, y en un conteo del número total de ramas con frutos aptos (RFA);  $FBE = (FB/4) * RFA$ .

Relación obtenida con 15 plantas, diversamente asociadas en 24 grupos de 5 plantas (cada planta aparece en 8 grupos distintos). Se realizaron 5 muestreos de 4 ramas por planta permitiendo el cálculo de 5 valores del FBE por planta. Los valores del FBE utilizados en cada grupo se escogieron aleatoriamente entre esos 5 valores.



### 3.3.3.5.2.2 Nematodos *Meloidogyne* spp. (F2 Y F4)

El muestreo se realizó en las cuatro plantas adyacentes a las cinco plantas marcadas tomando en total 500 g de raíces. La muestra se compuso por lo tanto de 20 submuestras de 25 g cada una. El muestreo se realizó durante los meses de mayo y septiembre 2009 (F2 y F4) (Figura 12). El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de nematología de la Universidad de Costa Rica (UCR). Cabe señalar que el nematodo *Pratylenchus coffeae* fue muy raro. Por lo tanto, no se considera este nematodo en los análisis. Se encontraron dos especies de *Meloidogyne*: *M. exigua* y *M. arabicida*. Los conteos de poblaciones se hicieron para los dos nematodos juntos.

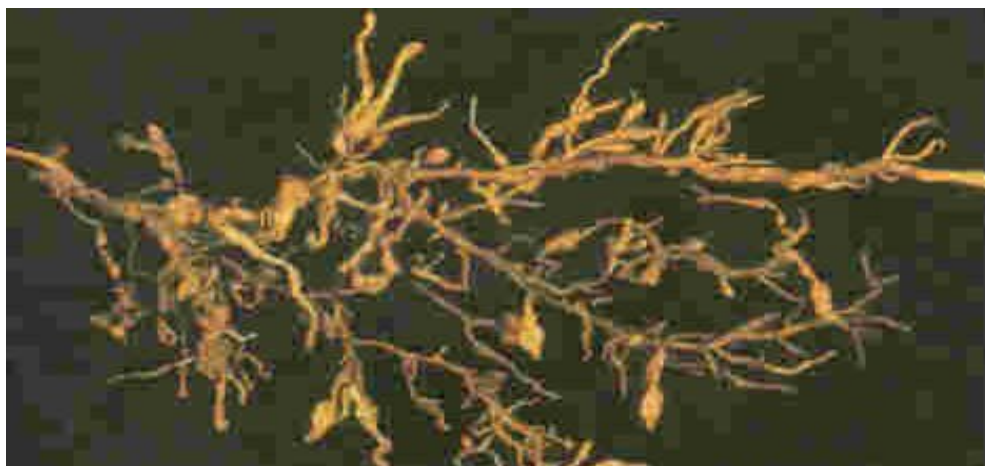


Figura 12. Muestreo de nematodos dañados en raíces de las muestras (mayo – septiembre 2009)

Cuadro 8. Descripción de las variables para plagas y enfermedades

Tipo de muestreo	Variable por plaga o enfermedad	Unidad	Rango de valores
En plantas	plantas con antracnosis	%	0 – 62.5
	plantas con ojo de gallo	%	0 - 58.3
	plantas con mal de hilachas	%	0 – 16.7
En hojas	máximo de hojas jóvenes con mancha de hierro en el año	%	4.6 - 56.8
	máximo de hojas jóvenes con roya en el año	%	4.0 – 76.7
	máximo de ojo de gallo	%	0 – 33.6
	máximo de derrite	%	0 – 6.1
En frutos	máximo de minador	%	0 – 6.8
	frutos brocados remanentes en el suelo por planta (febrero)	#	0 – 11
	frutos brocados remanentes en la planta, por planta (febrero)	#	0 – 30
	frutos brocados estimado por planta en mayo	#	0 – 184
	frutos brocados estimado por panta en julio	#	0 – 533
	frutos brocados estimado por planta en septiembre	#	0 – 412
En raíces	frutos brocados estimado por planta en noviembre	#	0 – 197
	máximo de frutos brocados por planta estimado en el año	#	0 – 533
	máximo de frutos brocados por ha estimado en el año	#	0 - 3 272 539
	Densidad poblacional promedio de <i>Meloidogyne</i> spp., (muestreos en mayo y septiembre)	por 100 gramos de raíces	0 – 272 100

### 3.3.4 Análisis estadístico

#### 3.3.4.1 Relación de la estructura del paisaje con la incidencia de la roya, de la broca y de los nematodos

Se corrieron análisis de correlación entre los porcentajes del área sembrada con café, pasto, caña y bosque a diferentes distancias de las parcelas evaluadas (en m: 50, 100, 250, 200,

250, 300, 350, 400, 450, 500, 1000, 1500) por un lado y el porcentaje máximo de hojas jóvenes con roya, el número máximo de frutos brocados por planta (previa transformación por raíz cuadrada), y la densidad poblacional promedio de *Meloidogyne* spp. por otro lado.

Los coeficientes de correlación se representaron gráficamente. Las mejores correlaciones también se representaron.

Para las métricas y distancias que dieron los más altos coeficientes de correlación, se corrieron nuevos análisis de correlación con los valores de plagas y enfermedades observados en cada lectura. Los porcentajes de roya se transformaron por arcoseno de la raíz cuadrada y los conteos de broca por raíz cuadrada.

#### **3.3.4.2 Determinación del efecto de las certificaciones sobre la incidencia de plagas y enfermedades y la productividad del café**

Las variables respuesta fueron: el número de nudos productivos por planta, el porcentaje máximo de hojas jóvenes con roya, mancha de hierro, derrite, ojo de gallo, minador, el porcentaje de plantas con antracnosis, ojo de gallo, mal de hilachas, el número máximo de frutos brocados por planta, la densidad poblacional promedio (mayo y septiembre) en raíces de *Meloidogyne* spp.

Cuando era necesario, las proporciones se transformaron por arcoseno de la raíz cuadrada y los conteos por raíz cuadrada.

Sólo tres tratamientos se analizaron (Orgánico, Nespresso, Convencional) ya que las certificaciones Rainforest Alliance, Starbuck's y UTZ certified estaban muy poco representadas en el muestreo.

La variable altitud se utilizó como covariable ya que las plagas y enfermedades dependen mucho de este factor.

El modelo estadístico de análisis fue:

$$Y_{ij} = \mu + CC_i + \beta (Alt_{ij}) + \epsilon_{ij}$$

$\mu$  = representa la media general

$CC_i$  = código de certificación

$\beta$  = parámetro desconocido que representa la tasa de cambio en la productividad, frente a un cambio unitario en la altura

$Alt_{ij}$  = La variable regresora o covariable

$E_{ij}$  = error aleatorio asociado con la unidad experimental

$Y_{ij}$  = variables repuestas

### **3.3.4.3. Establecimiento de una jerarquía entre descriptores de la estructura del paisaje, del ambiente, del manejo, y las certificaciones para explicar la roya, la broca, y los nematodos**

Para establecer dicha jerarquía entre los predictores, se utilizaron árboles de discriminación con base al método CHAID (CHi-squared Automatic Interaction Detector). Esta técnica de clasificación ha sido utilizada en varias oportunidades para explicar la incidencia de plagas y enfermedades (Avelino et al., 2006; Avelino et al., 2009). Permite estudiar las relaciones entre una variable respuesta, cualitativa o cuantitativa, y predictores de naturaleza heterogénea que pueden interactuar entre sí. El resultado, representado gráficamente como un árbol, es una partición, basada en los valores de los predictores, en grupos los más homogéneos posibles en cuanto a la respuesta. Cada grupo puede ser una función de diferentes predictores. Primero, la población inicial se divide en dos o más subpoblaciones al dividir los valores de un predictor en dos o más categorías. El predictor y los valores límites de las categorías formadas son los que permiten obtener la mejor discriminación, es decir el valor de  $P$  más bajo, de la prueba  $\chi^2$  de la Chi-cuadrado si la respuesta es cualitativa, o de la prueba de  $F$  si la respuesta es cuantitativa. Las subpoblaciones obtenidas se subdividen de nuevo a través del mismo principio. Como consecuencia, las sucesivas subdivisiones conducen a una jerarquía entre los predictores de acuerdo a su poder explicativo de la variable respuesta.

En nuestro estudio, las variables respuestas son: el porcentaje máximo de hojas con roya en el año, el número máximo de frutos brocados estimado por planta en el año, el número máximo de frutos brocados estimado por ha en el año, la densidad de población promedio de *Meloidogyne* spp.(promedio de mayo y septiembre). Transformamos estas variables cuantitativas en rangos para evitar el efecto de valores extremos. Los rangos obtenidos son las siguientes:

Porcentaje máximo de hojas con roya en el año: 4-35; 35-50; 50-77

Número máximo de frutos brocados estimado por planta en el año: 0-5; 5-50; 50-533

Número máximo de frutos brocados estimado por ha en el año: 0-40 000; 40 000-250 000, 250 000-3 272 539

Densidad de población promedio de *Meloidogyne* spp.: 0-30 000; 30 000-60 000; 60 000-272 100

La construcción de los árboles se detuvo cuando ningún valor de  $P$  era inferior a 0.05 o cuando los grupos formados tenían menos de cierto número de individuos que fijamos en 5, para un primer análisis, y 10 para un segundo análisis.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Relaciones entre la estructura del paisaje y la incidencia de la roya, de la broca y de los nematodos**

El paisaje observado alrededor de las parcelas evaluadas fue muy variable. Por supuesto, cuanto más cerca de las parcelas evaluadas, más café en porcentaje del área, y cuanto más lejos, más presencia de caña, bosque y pasto, eso hasta 500 m, distancia a partir de la cual se observa que se estabilizan las proporciones. Sin embargo, aún a la distancia más corta (50 m), se puede encontrar una diversidad de paisaje: en promedio, sólo se tiene 80 % del área con café, con un valor mínimo de 27 %. Esa diversidad de paisaje permite correr análisis de correlaciones entre el paisaje y la incidencia de roya, broca y *Meloidogyne* spp. a todas las distancias estudiadas figura 13.

### 4.1.1 Descripción del contexto paisajístico

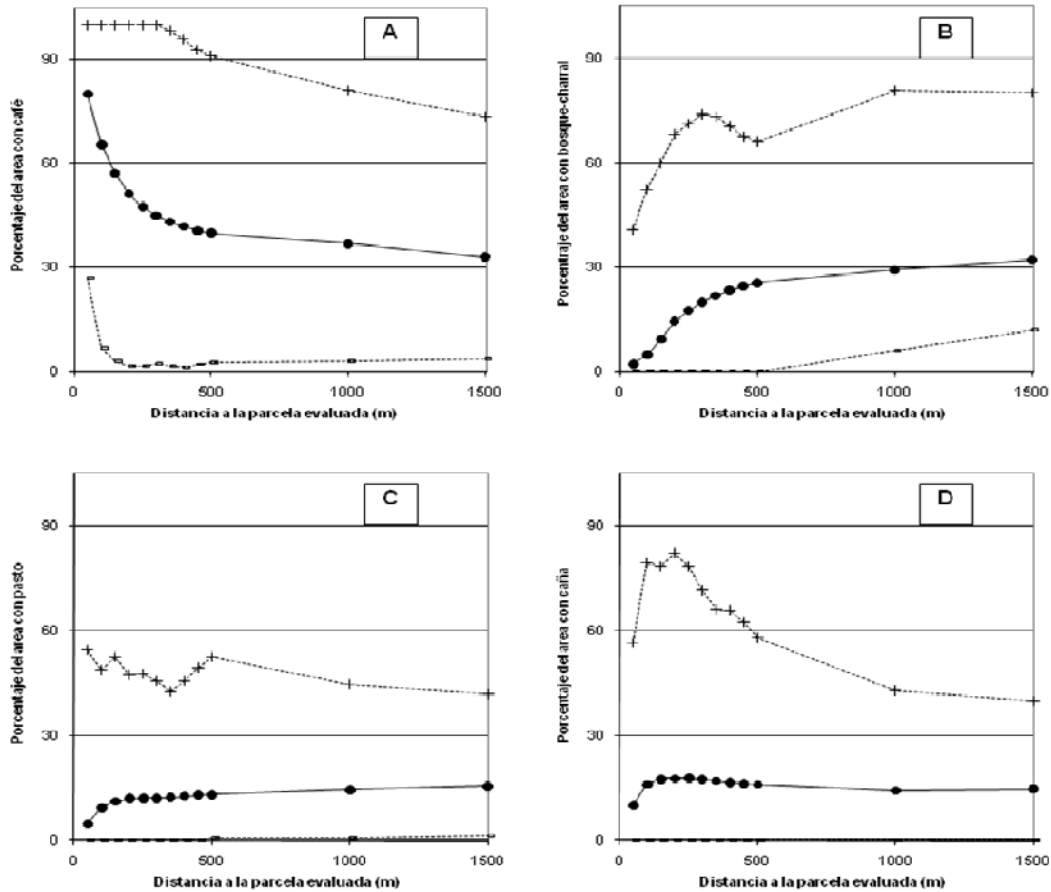


Figura 13. Porcentaje promedio (•), mínimo (-) y máximo (+) de áreas con café (A), bosque – charral (B), pasto (C), caña (D) a diferentes distancias de las parcelas evaluadas

### 4.1.2 Relaciones entre el paisaje y la broca, la roya y los nematodos del género *Meloidogyne*

Al correlacionar el porcentaje máximo de frutos brocados en el año estimado por planta con el porcentaje del área ocupada por café en el contexto paisajístico, se encontró sólo una correlación significativa ( $P < 0.05$ ) a la distancia de los 150 m (Figura 14) con respecto a la ubicación de las parcelas de muestreo. Antes y después de esta distancia no se encontró significancia. Todas las correlaciones observadas son positivas, es decir que a mayor cantidad

de cafetales en el contexto paisajístico mayor cantidad de frutos brocados estimado por planta en las parcelas evaluadas.

Se encontraron correlaciones significativas ( $P < 0.05$ ) con el porcentaje del área ocupada con pasto en el paisaje para las distancias comprendidas entre 150 y 1000 m. Estas correlaciones son negativas, es decir que a mayor cantidad de pasto menor cantidad de frutos brocados estimado por planta en las parcelas evaluadas. La mejor correlación se encontró para la distancia de 400 m (Figura 14).

No se encontraron correlaciones significativas ni con el bosque ni con la caña. Se encontraron correlaciones significativas ( $P < 0.05$  y  $P < 0.01$ ) entre el porcentaje máximo de hojas jóvenes con roya en el año y el porcentaje del área ocupada por café para las distancias comprendidas entre 100 y 1000 m. Sin embargo, estas correlaciones son negativas. Es decir que a mayor área de cafetales en el paisaje, menores infecciones de roya en las parcelas evaluadas. La mejor correlación se observó para la distancia de 250 m (Figura 15).

También se encontró una relación inversa a la encontrada con broca, para el porcentaje del área con pasto. La correlación entre el porcentaje máximo de hojas jóvenes con roya y el porcentaje del área con pasto es positiva y significativa para las distancias entre 150 y 350 m. A mayor área de pasto mayor incidencia de roya en las parcelas evaluadas. La mejor correlación se encontró para la distancia de 300 m.

Además se encontró una correlación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) con el porcentaje del área con caña a la distancia de 1000 m. En cuanto a *Meloidogyne* spp., no se encontraron relaciones significativas con el paisaje.



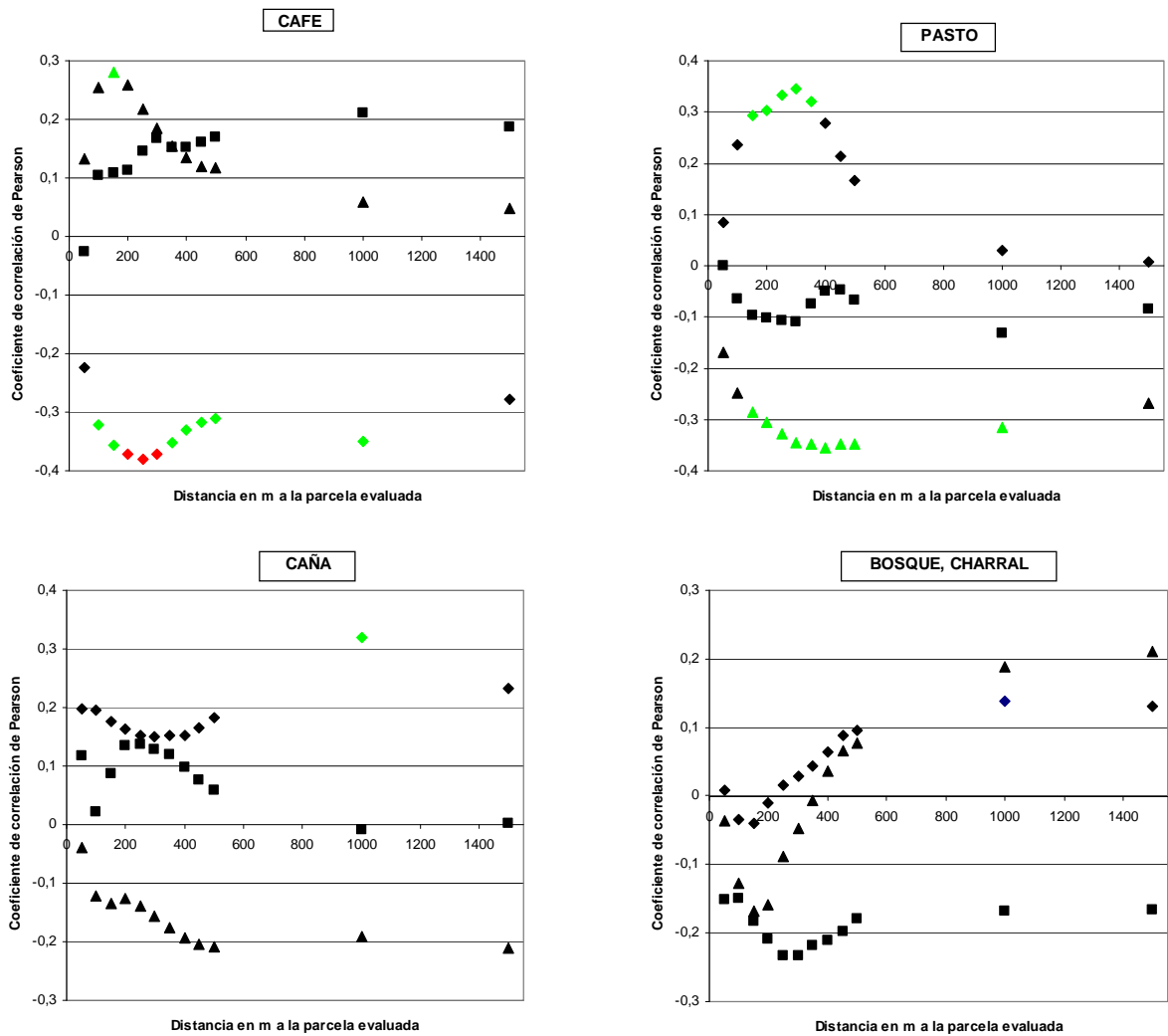


Figura 14. Coeficiente de correlación de Pearson entre el porcentaje del área ocupada por el café, pasto, caña, bosques a diferentes distancias de las 50 parcelas evaluadas y el ataque de plagas y enfermedades (  $\diamond$  Máximo de la incidencia de roya en hojas jóvenes;  $\square$  Población promedio de *Meloidogyne spp.*;  $\triangle$  Máximo de frutos brocados estimado por planta; en rojo  $P < 0.01$ ; en verde:  $P < 0.05$ ; en negro: no significativo).

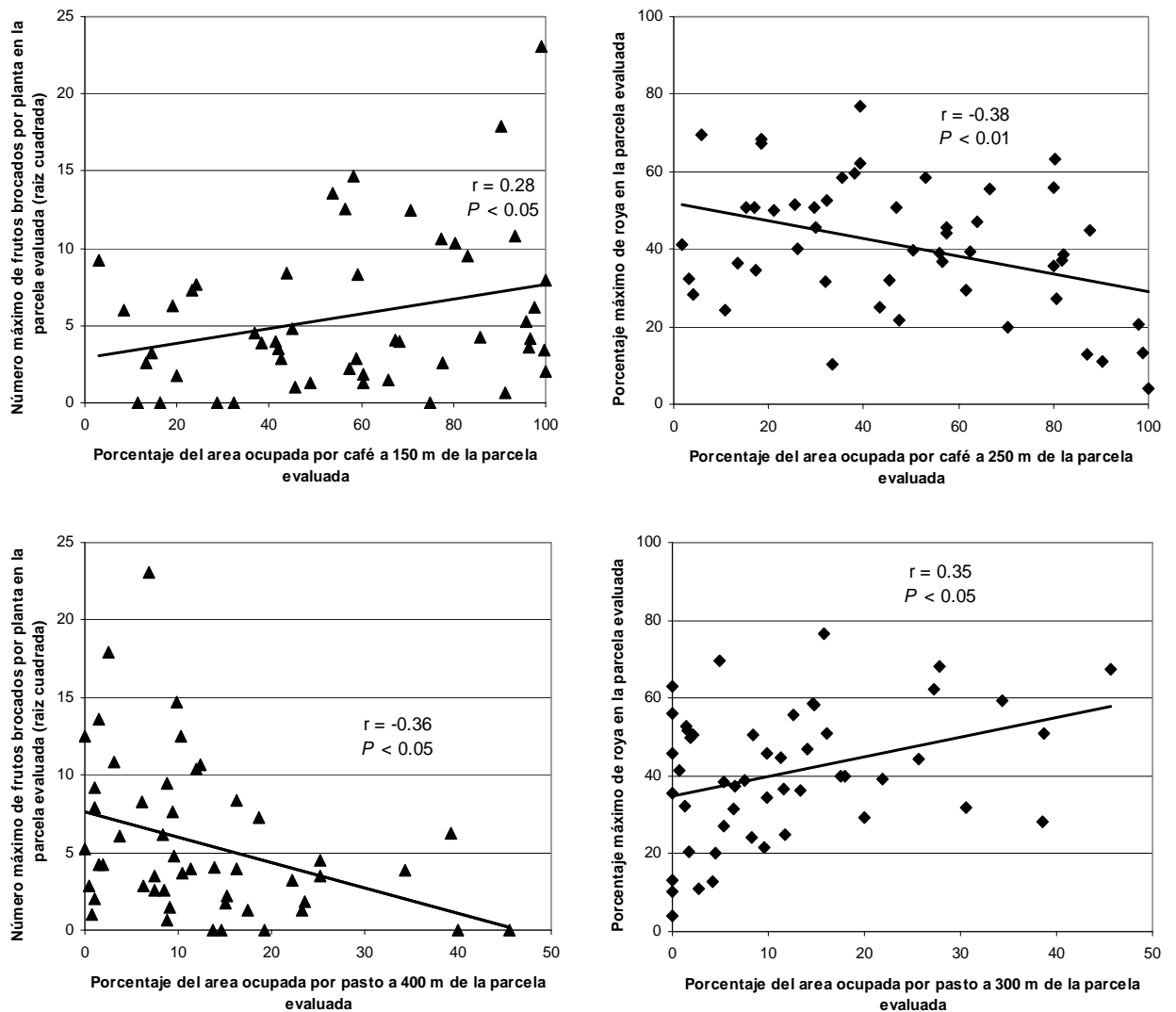


Figura 15. Mejores correlaciones entre el contexto paisajístico a diferentes distancias de las 50 parcelas evaluadas y el ataque de broca y roya ( $\diamond$ Máximo de la incidencia de roya en hojas jóvenes;  $\triangle$ Máximo de frutos brocados por planta)

#### 4.1.3 Relaciones a través del tiempo entre el paisaje, la broca y la roya

Las relaciones con el paisaje se establecen relativamente tarde en el año para la roya. El porcentaje de área con café a 250 m de la parcela evaluada y el porcentaje de área con pasto a 300 m de la parcela evaluada se correlacionan con el porcentaje de hojas jóvenes sólo a partir del mes de septiembre. En los meses de febrero, mayo y julio, las correlaciones no son

significativas (Cuadro 8). Para la broca, se observa una situación opuesta. Las relaciones con el paisaje se establecen tempranamente en el año. Se observan correlaciones entre el número de frutos brocados estimado por planta y el porcentaje del área con café a 150 m desde el mes de julio. Con el porcentaje del área con pasto a 400 m, se observa una correlación significativa desde el mes de mayo (Cuadro 9).

*Cuadro 9. Coeficientes de correlación entre diferentes características del contexto paisajístico y el porcentaje de hojas jóvenes con roya en diferentes meses (datos transformados por arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción)*

	Febrero	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
Porcentaje de área con café a 250 m de la parcela evaluada	0.06	0.10	0.14	-0.39 **	-0.34 *
Porcentaje de área con pasto a 300 m de la parcela evaluada	0.18	0.13	0.09	0.35 *	0.32 *

\*  $P < 0.05$       \*\*  $P < 0.01$

*Cuadro 10. Coeficientes de correlación entre diferentes características del contexto paisajístico y el número de frutos brocados estimado por planta en diferentes meses (datos transformados por raíz cuadrada)*

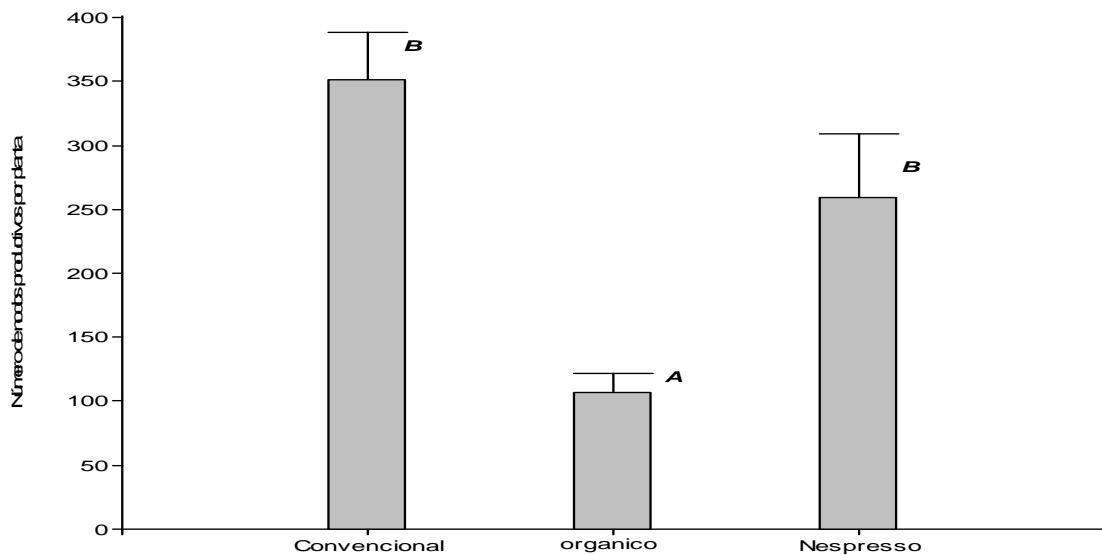
	Mayo	Julio	Septiembre	Noviembre
Porcentaje de área con café a 150 m de la parcela evaluada	0.23	0.29 *	0.31 *	0.27
Porcentaje de área con pasto a 400 m de la parcela evaluada	-0.30 *	-0.30 *	-0.29 *	-0.31 *

\*  $P < 0.05$

## 4.2 Efecto de las certificaciones sobre la cantidad de nudos productivos por planta, y las principales plagas y enfermedades

En el Cuadro 10, se observa que las plagas y enfermedades más importantes fueron la roya, la mancha de hierro, la broca y los nematodos *Meloidogyne* spp. Aunque se presentaron también el ojo de gallo, el mal de hilachas, el derrite, la antracnosis, el minador, éstos no alcanzaron niveles altos en las parcelas muestreadas. No se encontraron diferencias significativas en cuanto a los ataques parasitarios entre la certificación orgánica, la certificación Nespresso y el sistema convencional (Cuadro 8). Sólo se observó un efecto de la covariable altitud para el máximo en el año de frutos brocados estimado por planta. Este efecto es negativo. Es decir a mayor altura, menor cantidad de frutos brocados.

Se encontraron diferencias significativas en cuanto a la cantidad de nudos productivos por planta. En la certificación orgánica, se obtuvo sólo un promedio de 113 nudos productivos por planta, lo que contrasta con los 274 y 347 nudos productivos obtenidos en la certificación Nespresso y en el sistema convencional respectivamente la *Figura 16* (muestra la comparación de media entre la certificación orgánica, la certificación Nespresso y el sistema convencional)



*Figura 16. Efecto de las certificaciones sobre la cantidad de nudos productivos por planta. Las letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparaciones de media entre la certificación orgánica, la certificación Nespresso y el sistema convencional ( $P < 0.05$ .)*

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre el número de frutos brocados estimado por planta en diferentes meses (datos transformados por raíz cuadrada) Principales plagas y enfermedades del café según certificaciones (promedios), valores de F del análisis de varianza y de la altitud como covariable

Certificaciones	% de plantas con			% máximo en el año de hojas con					% máximo de frutos brocados estimado en el año	Población promedio de nematodos (mayo y septiembre)
	Antracnosis	Ojo de gallo	Mal de hilachas	Roya	Mancha de hierro	Ojo de gallo	Derrite	Minador		
Orgánico (11 parcelas)	6.1	12.9	1.1	43.8	17.0	9.5	0.7	1.0	34.6	52051
Nespresso (16 parcelas)	9.9	9.1	2.7	47.8	13.0	5.1	0.2	1.0	55.2	49112
Convencional (19 parcelas)	11.6	12.5	1.0	38.5	18.6	7.8	1.2	1.0	71.5	45394
F (certificaciones)	0.5 <sup>NS</sup>	0.3 <sup>NS</sup>	0.9 <sup>NS</sup>	1.6 <sup>NS</sup>	1.5 <sup>NS</sup>	0.6 <sup>NS</sup>	2.1 <sup>NS</sup>	<0.1 <sup>NS</sup>	0.5 <sup>NS</sup>	0.1 <sup>NS</sup>
F (altitud)	3.3 <sup>NS</sup>	1.7 <sup>NS</sup>	2.4 <sup>NS</sup>	2.0 <sup>NS</sup>	0.5 <sup>NS</sup>	2.2 <sup>NS</sup>	<0.1 <sup>NS</sup>	0.7 <sup>NS</sup>	7.2 <sup>**</sup>	<0.1 <sup>NS</sup>

NS:  $P > 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$

### **4.3 Jerarquización entre los factores explicativos de la roya, la broca, y los nematodos.**

#### **4.3.1 La broca**

La variable más importante que explica tanto el porcentaje máximo de frutos brocados en el año estimado por planta como el porcentaje máximo de frutos brocados en el año estimado por hectárea es el número de frutos brocados remanentes en la planta de café después de cosecha, en el mes de febrero (Figuras 17 y 18 ). A mayor cantidad de frutos brocados remanentes mayor cantidad de frutos brocados en la siguiente fructificación. En el segundo nivel de los árboles de clasificación aparece, para las dos variables de broca, la distancia entre plantas en el surco. Distancias inferiores a 1.11 m entre plantas están asociadas con medianos y altos niveles de infestación por broca. Por lo contrario, distancias superiores a 1.11 m entre plantas están asociadas con bajos y medianos niveles de infestación por broca. El pH del suelo y la altitud aparecen también en los árboles que explican las infestaciones de broca por planta (Figura 17). Valores de pH superiores a 4.4 y altitudes superiores a 909 m están asociados con infestaciones bajas y medianas.

A pesar de haber incluido en el análisis, como posibles predictores de la broca, las métricas de paisaje mejor relacionadas con la broca de acuerdo a los resultados de los análisis de correlaciones (párrafo 3.1.), éstas no aparecen en los árboles de clasificación. Es decir que no están entre los predictores más importantes de la broca.

#### **4.3.2 La roya**

En el caso de la roya, el predictor que salió como más importante en los dos árboles realizados es la acidez del suelo (Figura 19). En los lotes con acidez superior a 3.1 cmol (+)/L, los niveles de roya son medianos o altos. En el segundo nivel de los árboles de clasificación aparecen la distancia entre surcos y el contenido en Mg del suelo. La mayoría de las parcelas con poca acidez de suelo, pero que tenían distancias entre surcos inferiores a 1.47 m, tuvo altos niveles de roya. Para el Mg, la relación es aparentemente diferente: la mayoría de las parcelas con poca acidez de suelo y niveles de Mg inferiores a 0.5 cmol (+)/L tuvo bajos niveles de roya. Una última variable aparece en el tercer nivel del árbol de clasificación, es el

porcentaje de arenas del suelo. Las parcelas con poca acidez, distancias entre surcos mayores a 1.47 m, ambas condiciones desfavorables para la roya, pero con niveles de arenas inferiores a 26 % tuvieron mayoritariamente niveles de ataques por roya medianos o elevados. Al igual que para la broca las métricas de paisaje incluidas en el análisis no salen en los árboles de clasificación.

### **4.3.3 *Meloidogyne* spp.**

Para el caso de los nematodos del género *Meloidogyne*, la variable que salió como más importante, en los árboles de clasificación, fue el porcentaje del área sembrada con café en un radio de 400 m alrededor de las parcelas evaluadas (Figura 20), a pesar que en los análisis de correlaciones del párrafo 3.1. Las relaciones no eran significativas. Con menos de 15.4 % de café, las densidades poblacionales de *Meloidogyne* son bajas o medianas. En el segundo nivel del árbol de clasificación aparece el porcentaje de arenas del suelo. Con más de 15.4 % de café a 400 m a la periferia de las parcelas evaluadas y más de 30 % de arenas en el suelo, las densidades poblacionales de *Meloidogyne* fueron medianas o altas. En el tercer nivel, aparece el pH del suelo. Niveles intermedios entre 4.3 y 4.5 están asociados con las mayores densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. Los niveles de Fe en el suelo también explican las densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. Niveles inferiores a 165 cmol (+)/L están asociadas con pequeñas densidades poblacionales.

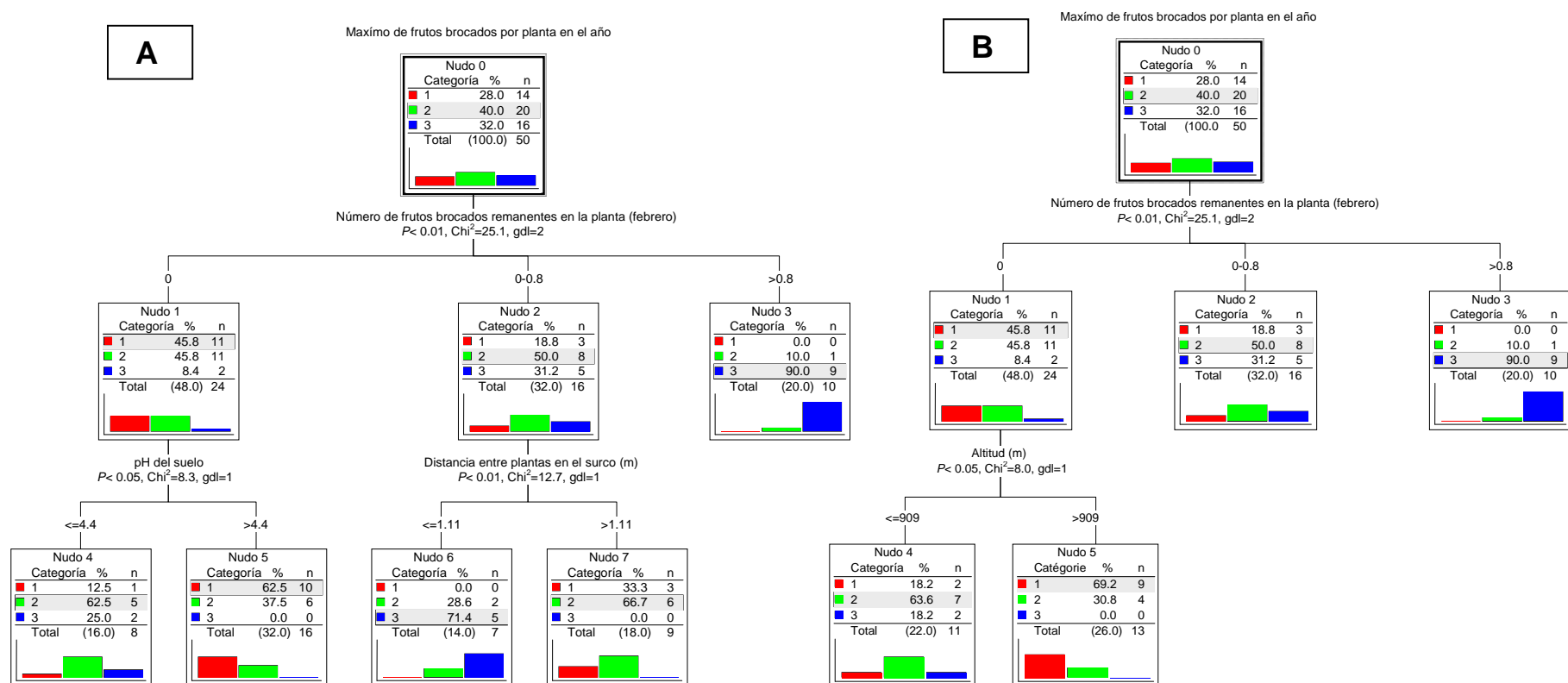


Figura 2. Árboles de clasificación para explicar el máximo de frutos brocados por planta en el año (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 0-5, categoría 2: 5-50, categoría 3: 50-533)



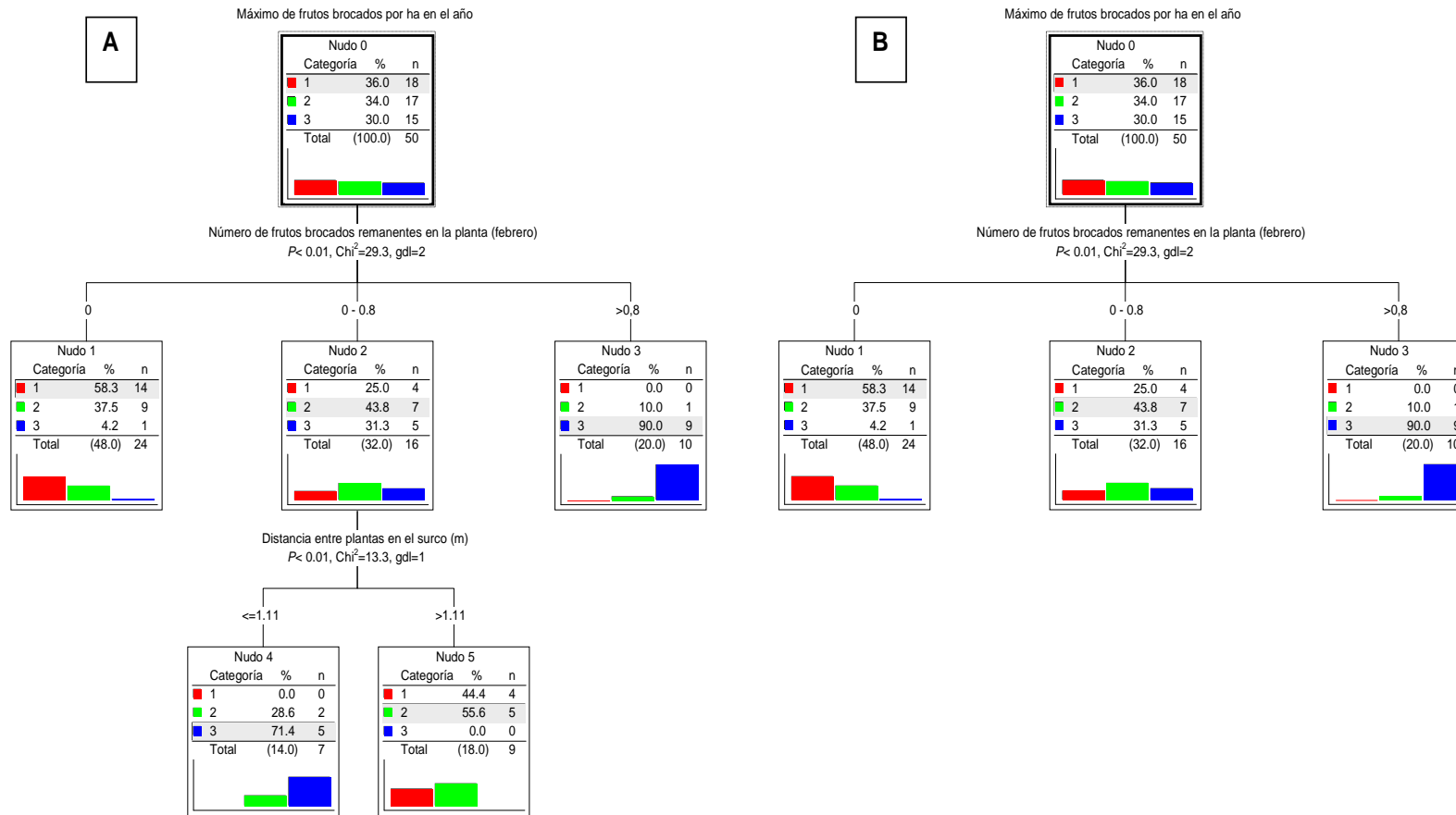


Figura 18 Árboles de clasificación para explicar el máximo de frutos brocados por hectárea en el año (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 0-40 000, categoría 2: 40 000-250 000, categoría 3: 250 000- 3 272 539)

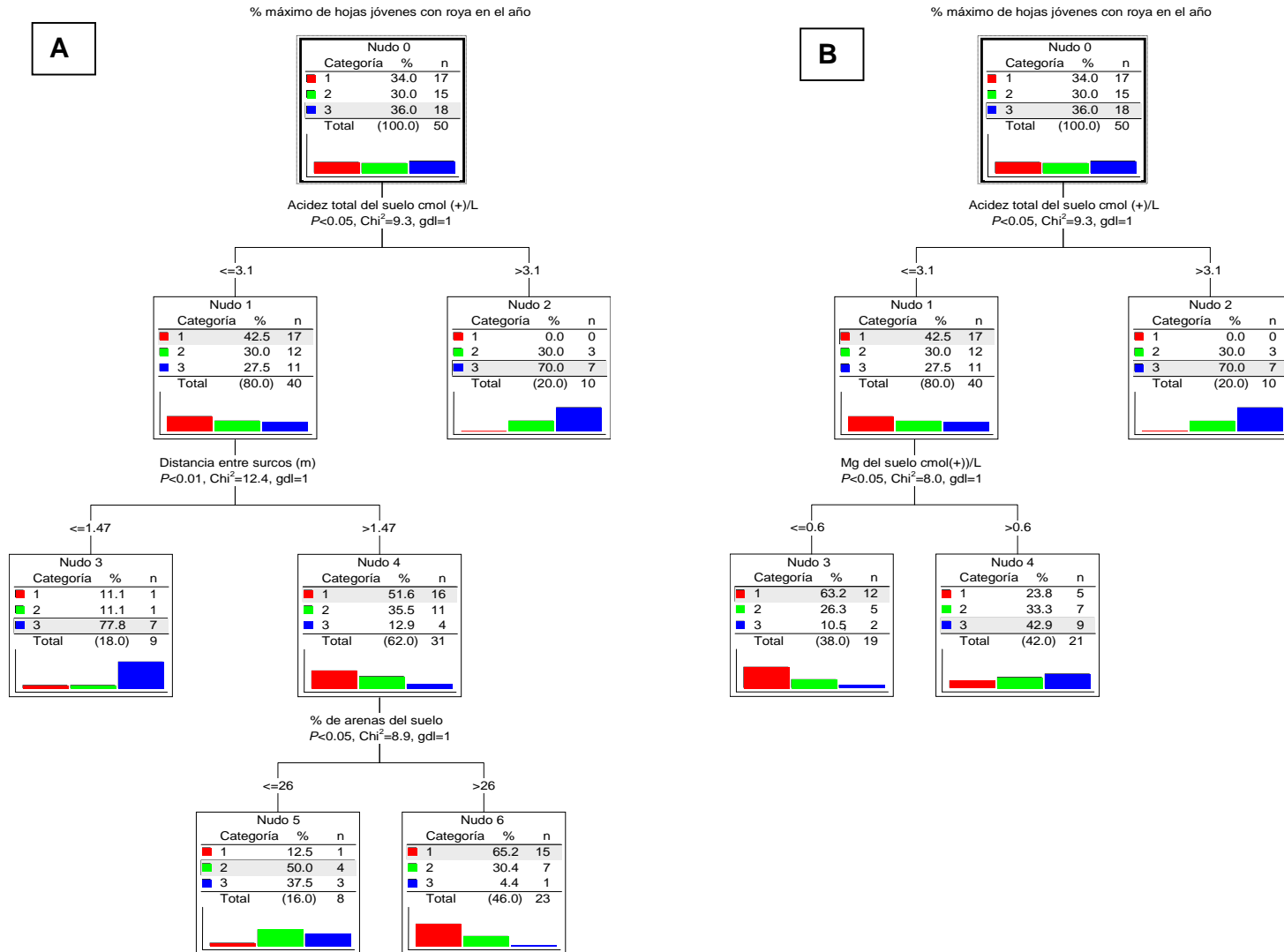


Figura 19. Árboles de clasificación para explicar el porcentaje máximo de hojas jóvenes con roya en el año (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos: categoría 1: 4-35. categoría 2: 35-50. categoría 3: 50-77)

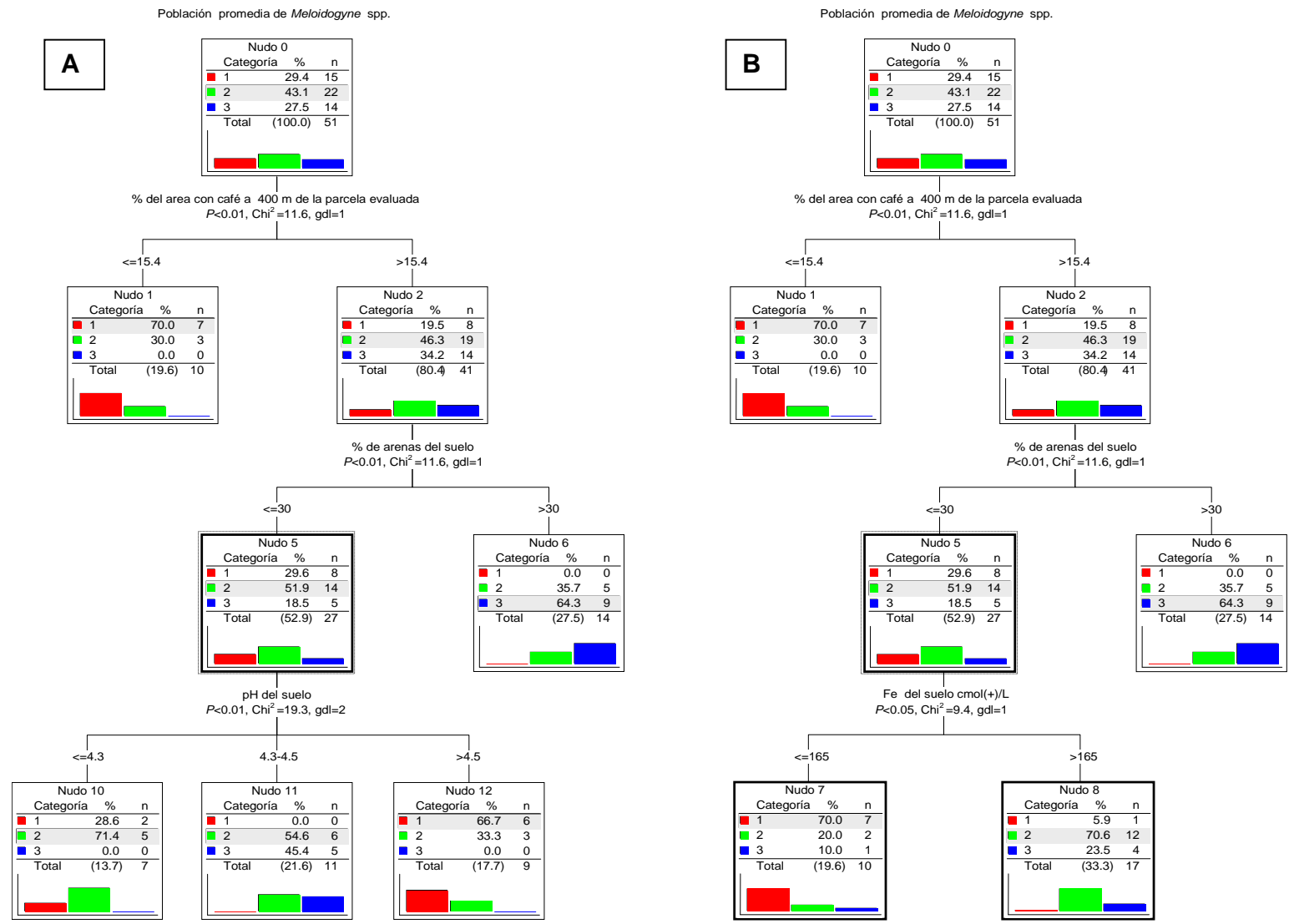


Figura 20. Árboles de clasificación para explicar la población promedio de *Meloidogyne* spp. Por 100 g de raíces (tres categorías de valores crecientes) en función de variables de ambiente, de manejo y de producción (A: regla impuesta de ningún grupo con menos de 5 individuos, B: regla impuesta de ningún grupo con menos de 10 individuos; categoría 1: 0-30 000, categoría 2: 30 000-60 000, categoría 3: 60 000- 272 100)

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Relaciones entre la estructura del paisaje y la incidencia de la roya, de la broca y de los nematodos

Los resultados obtenidos evidencian una relación entre el contexto paisajístico y los ataques de broca y roya. Las relaciones entre paisaje, plagas y enfermedades son bien conocidas, pero para las plagas y enfermedades del café, eso nunca se había reportado. Los mecanismos involucrados en las relaciones paisaje-plagas y enfermedades son varios. Uno de ellos, el más frecuente, es el efecto del paisaje sobre los enemigos naturales. Estos son favorecidos por las áreas no cultivadas en las cuales se encuentran fuentes de alimentos alternas, como el néctar de las flores (Bianchi et al., 2006). También se han reportado efectos de barreras causados por la fragmentación del paisaje (Perkins et al., 2002; Condeso et al., 2007). Estos efectos se presentan cuando la distancia entre fragmentos susceptibles es superior a la capacidad de dispersión del organismo nocivo.

Las correlaciones significativas ( $P < 0.05$ ) obtenidas entre el contexto paisajístico y la broca o la roya también podrían interpretarse en función de la capacidad y las características de dispersión de estos organismos. Para la broca, se encontraron correlaciones positivas con el área sembrada con café en el contexto paisajístico: a mayor cantidad de café, mayor cantidad de broca en las parcelas evaluadas, posiblemente porque la broca es específica de este cultivo. La mejor correlación se encontró con el área con café a 150 m de las parcelas evaluadas. Esta dependencia estadística podría significar que existe intercambio de poblaciones de broca entre parcelas de café distantes como máximo de 150 m. A más de 150 m, ya no hay dependencia significativa entre el área con café en el contexto paisajístico y la cantidad de broca evaluada, lo cual, por el contrario, significaría que los intercambios de poblaciones a esas distancias son poco frecuentes. Esto coincide con lo que se sabe de la dispersión natural de la broca. Olivas, (2010) encontró que la dispersión de la broca fuera del cafetal en épocas de vuelo es muy limitada en la zona de Turrialba. A distancias superiores a 60 m fuera del cafetal, fueron muy pocos los individuos capturados independientemente del uso del suelo. Para la roya, se encontraron correlaciones negativas con la proporción del área sembrada con café en el contexto paisajístico, a pesar que *H. vastatrix* es también un organismo específico del café, como la broca. Sin embargo, se encontraron correlaciones positivas con el área sembrada con pasto. La mejor correlación se encontró a 300 m de las parcelas evaluadas. Estas relaciones

podrían explicarse por las características de dispersión de este hongo, la cual es favorecida por el viento (Avelino et al., 2004). Las áreas de pasto son espacios abiertos que permiten el paso libre del viento y posiblemente mayor dispersión del patógeno. Por el contrario, los usos arbóreos, incluyendo el café en los sistemas agroforestales, interceptan el viento (Beer et al., 1998), lo cual es negativo para la diseminación del hongo. Para los nematodos del género *Meloidogyne* spp., se encontró información aparentemente contradictoria. Los análisis de correlación con el contexto paisajístico no evidenciaron relaciones significativas, lo cual podría explicarse por la poca capacidad de dispersión de los nematodos por sus propios medios. Sin embargo, el análisis de árboles de clasificación reveló una relación con el paisaje: ninguna de las parcelas ubicadas en contextos paisajísticos con menos de 15.4 % de café a 400 m de las parcelas evaluadas, tuvieron infestaciones altas de *Meloidogyne* spp. (>60 000 individuos por 100 g de raíces). La diferencia de resultados puede deberse a la transformación de la densidad poblacional de *Meloidogyne* spp. en raíces, utilizada como variable respuesta cuantitativa para los análisis de correlación, en una variable categorizada para el análisis de árboles de clasificación. Posiblemente, el proceso de categorización permitió eliminar variabilidad indeseable que afectó los análisis de correlación. Cabe señalar que los datos de densidades poblacionales de nematodos se caracterizan normalmente por ser muy heterogéneos. Esta heterogeneidad se observó también en los dos muestreos realizados en las parcelas del estudio. En algunas parcelas, se incrementaron mucho las densidades poblacionales del segundo muestreo con respecto al primero, mientras que para otras, las densidades, al contrario, bajaron mucho. La relación evidenciada en los análisis de árboles de clasificación sugiere que las parcelas de café aisladas son menos propensas a ser infestadas por los nematodos. Esto podría explicarse por un menor número de eventos de contaminación a través del tiempo entre parcelas contaminadas y parcelas sanas, en zonas en las que las parcelas de café son muy pocas. El aislamiento posiblemente reduzca el intercambio de material infestado o el aporte de inóculo por parte de los trabajadores que van de finca en finca.

Los resultados obtenidos indican que la fragmentación del paisaje cafetalero podría ayudar a controlar las plagas y enfermedades del café, particularmente la broca y los nematodos del género *Meloidogyne* spp., e inclusive la roya, siempre y cuando, los espacios sin café no sean espacios abiertos. Sugerencias similares ya han sido hechas para plagas y enfermedades de bosques en climas templados (Perkins et al., 2002; Condeso et al., 2007).

## **5.2 Efecto de las certificaciones sobre la cantidad de nudos productivos por planta, y las principales plagas y enfermedades**

Los sellos certifican mayormente un proceso de producción en el que la sombra y el uso de pesticidas son generalmente centrales. Ambas prácticas tienen la capacidad de alterar el desarrollo de las plagas y enfermedades, directa (pesticidas) o indirectamente (sombra). A pesar de esos efectos conocidos, no se encontraron diferencias de ataques de plagas y enfermedades entre los sellos orgánicos, Nespresso y el sistema convencional. Esto se puede explicar por el hecho que algunas de las enfermedades y plagas evaluadas se mantuvieron en niveles generalmente bajos (ojo de gallo, derrite, mal de hilachas, minador) y también porque, posiblemente, la mayoría de las parcelas evaluadas en la zona de Turrialba tienen un manejo muy parecido, con o sin certificación, generalmente poco intensificado.

Sin embargo, sí se encontraron diferencias marcadas de cantidad de nudos productivos por planta. En las parcelas con el sello orgánico, sólo se obtuvo el 41% de lo observado en las parcelas con el sello Nespresso o y el 33 % de lo obtenido en el sistema convencional, lo cual podría estar en relación con la ausencia de fertilización química. Este tipo de resultado ya ha sido reportado anteriormente (Lyngbæk, A, E. et al. 1999).

## **5.3 Jerarquización entre los factores explicativos de la roya, la broca, y los nematodos.**

### ***5.3.1 La broca***

Las variables de paisaje no salieron en los árboles de clasificación de la broca, lo que indica que el paisaje, a pesar de estar relacionado con los ataques de broca, no forma parte de las variables más importantes. La variable más importante es la cantidad de frutos brocados remanentes en la planta. Como es bien conocido, (Le Pelley, 1968 y Obando, 2002), ésta variable determina el número de frutos brocados que se obtendrán en la siguiente fructificación y justifica la práctica de la repela para disminuir los niveles de infestación. La altitud también es una variable importante, ya que ésta sale en los árboles de clasificación y es significativa como covariable en el análisis del efecto de las certificaciones sobre la broca. La relación negativa altitud-cantidad de broca ya ha sido reportada anteriormente: a menor temperatura más largo es

el ciclo de la broca (Baker et al., 1989). Otras dos variables cuya relación con la broca nunca había sido reportada salieron también en los árboles de clasificación. Primero, las distancias entre plantas en el surco inferiores a 1.11 m parecieron favorecer la broca. Posiblemente esto tenga que ver con el patrón de dispersión de la broca. Cuando los frutos son escasos, la broca explora el espacio en búsqueda de frutos a través del vuelo. Posteriormente, cuando hay muchos frutos disponibles, la broca tiende a concentrarse en algunos árboles, ramas y glomérulos, posiblemente porque la broca ya no se dispersa volando, sino caminando (Giordanengo, 1992). Este comportamiento explica su distribución agregativa. Al tener más cafetos en el surco, posiblemente eso facilite el paso de la broca de planta en planta en esa etapa de dispersión a muy corta distancia. No se puede descartar tampoco que la mayor cantidad de plantas en el surco propicie mejores condiciones de microclima para el desarrollo de la broca, ya que bajo estas condiciones el auto-sombreamiento es más importante. En todo caso, esta relación ilustra otra vez más los efectos favorables de las densidades de siembra sobre el desarrollo de las plagas y enfermedades. Relaciones similares fueron encontradas con el ojo de gallo (Avelino et al., 2007) y los nematodos del café *Meloidogyne exigua* y *Pratylenchus coffeae* (Avelino et al., 2009). La última variable en salir en los árboles de clasificación de la broca es el pH del suelo. En el estado actual del conocimiento, esta relación es difícil de explicar.

### **5.3.2 La roya**

Al igual que para la broca, las variables de paisaje no salieron en los árboles de clasificación de la roya, lo que indica que el paisaje, a pesar de estar relacionado con los ataques de roya, no forma parte de las variables más importantes. La variable más importante fue la acidez del suelo: a mayor acidez, más roya. Este tipo de relación, difícilmente explicable, ya ha sido reportada en Nueva Caledonia (Lamouroux et al., 1995) y Honduras (Avelino et al., 2006), aunque en un nivel de jerarquía inferior. La variable que explica mejor la roya es normalmente la carga fructífera: a mayor carga, mayor incidencia de roya (Avelino et al., 2004; Avelino et al., 2006). En el estudio presente, esta relación no se observó posiblemente por las bajas productividades registradas: la cantidad máxima de nudos productivos por planta fue de 676, comparada con el máximo de 1577 nudos productivos por planta reportados en el estudio de Honduras (Avelino et al., 2006). En forma parecida a lo observado con la broca, las distancias de siembra, en este caso las distancias entre surcos, están asociadas con la incidencia de roya. Distancias entre surcos inferiores a 1.57 m parecen favorecer la roya, posiblemente porque esto

favorece la contaminación de las hojas y propicia un mejor microclima para el proceso de infección. La relación positiva entre la intensificación del cultivo y la incidencia de roya había sido reportada anteriormente: la disminución de la sombra, el incremento de la productividad y la acidificación del suelo, factores frecuentes en sistemas intensivos, favorecen la roya (Avelino et al., 2006). En el estudio presente se evidencia otro efecto de la intensificación del cultivo a través de las distancias entre los surcos. Otros dos factores salieron en los árboles de clasificación: el porcentaje de arenas y el contenido en Mg del suelo. La relación con el Mg es difícil de interpretar y parece ser inversa a la encontrada por Avelino et al., (2006). Por lo contrario, la relación negativa entre el porcentaje de arenas del suelo y la incidencia de roya podría explicarse por la relación positiva conocida entre la humedad del suelo y la enfermedad (Hoogstraten et al., 1983). A mayor cantidad de arenas en el suelo, mayor drenaje y mayor tendencia al cierre de los estomas. Esto podría desfavorecer la esporulación del hongo, la cual se hace a través de los estomas.

### **5.3.3 Los nematodos *Meloidogyne* spp.**

Después del porcentaje del área sembrada con café a 400 m (ver párrafo 4.1), el porcentaje de arenas del suelo resultó ser la variable más explicativa de las densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. en raíces. A mayor cantidad de arenas, mayor cantidad de nematodos. Esto ya fue reportado en Costa Rica por Avelino et al., (2009). Los suelos arenosos propician buenas condiciones para la migración de los estados juveniles de los nematodos a través de los espacios formados por las partículas gruesas del suelo. Otras variables relacionadas con los nematodos en los árboles de clasificación son el pH del suelo y su contenido en Fe. Parece haber un óptimo de pH para *Meloidogyne* spp. entre 4.3 y 4.5, mientras que a mayor contenido de Fe, mayor cantidad de nematodos. Estas relaciones no son consistentes con lo observado por Avelino et al., (2009) y son difíciles de explicar.



## 6 CONCLUSIONES

- La cantidad máxima en el año de frutos brocados estimada por planta está relacionada positivamente con el porcentaje del área sembrada con café en el contexto paisajístico. La mejor correlación se encontró a 150 m de distancia. El porcentaje máximo en el año de hojas con roya está relacionado positivamente con el porcentaje del área sembrada con pasto en el contexto paisajístico. La mejor correlación se encontró a 300 m de distancia. Las densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. en raíces son bajas o medianas (inferiores a 60 000 individuos por 100 g de raíces) cuando el área sembrada con café en el contexto paisajístico es pequeña (menos del 15.4 %).
- Los ataques de plagas y enfermedades no son diferentes entre la certificación orgánica, Nespresso y el sistema convencional. (La cantidad de nudos productivos por planta en las parcelas orgánicas fue sin embargo menos de la mitad que la documentada en los otros dos casos).
- La variable que explica mejor el ataque de la broca no es una variable del paisaje. Y si es la cantidad de frutos brocados remanentes después de cosecha en la planta, siendo a mayor cantidad, mayor ataque. La variable que explica mejor los ataques de la roya, tampoco es una variable del paisaje. Se trata de la acidez del suelo: a mayor acidez, mayor ataque. La variable que explica mejor las densidades poblacionales de *Meloidogyne* spp. es el porcentaje del área sembrada con café a 400 m de distancia: a mayor área, mayores densidades poblacionales. Las distancias de siembra son otros factores que afectan los ataques de broca y roya. Distancias más cortas las favorecen.

## 7 RECOMENDACIONES

Se evidenciaron relaciones estadísticas que requieren de comprobaciones experimentales. Se recomienda por lo tanto:

Comprobar los efectos del contexto paisajístico sobre la roya y la broca a través de experimentos sobre la dispersión de estos dos organismos en paisajes complejos, y de acuerdo a los resultados, eventualmente recomendar estrategias de manejo del paisaje que permitan reducir su dispersión.

Comprobar los efectos de las densidades de siembra sobre la broca y la roya, y de acuerdo a los resultados, recomendar distancias que permitan reducir los ataques.

Además, se sugiere también extender las investigaciones a las relaciones existentes entre la estructura del paisaje y la biota antagónica de la broca del café, (*Beauveria bassiana*), y (*Lecanicillium lecanii*) con el fin de encontrar estructuras del paisaje que generen fricción en la dispersión de este tipo de patógenos pero que a su vez puedan proveer un hábitad adecuado para sus enemigos naturales.

Cuantificar las funciones ecosistémicas del paisaje en el control de plagas y enfermedades de los sistemas cultivados en Mesoamérica.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M y Nicholls, C. 1999. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas 172- 173 p.
- Antía, OP; Posada, FJ; Bustillo, AE; González, MT. 1992. Producción en finca del hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café. Avances Técnicos Cenicafé No. 182: 1-12.
- Avelino, J. (1990) Metodología para estudio de epidemiología de la roya del cafeto. *In*: XI simposio de caficultura latinoamericana, San Salvador, El Salvador, 5-6 diciembre, 1988. IICA, Guatemala. 109-114 p.
- Avelino, J. Encuesta agronómicas (entrevista). Costa Rica (2006, 2007).
- Avelino, J; Bouvret, M. E ; Salazar Luis. *In* Cilas C. 2009. Relationships between agro-ecological factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae* sensu lato in coffee roots, in Costa Rica. *Applied Soil Ecology* 43 (1):95-105.
- Avelino, J; Cabut, S; Barboza, B; Barquero, M; Alfaro, R; Esquivel, C; J. Durand, F. *In* Cilas. 2007. Topography and crop management are key factors for the development of American leaf spot epidemics on coffee in Costa Rica.
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguin, F. 1999. La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. Desafíos de la caficultura de Centroamérica. San José, Costa Rica. 99p.
- Avelino, J; Willocquet, L; and Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathol.* 53:541-547.
- Avelino, J; Zelaya, H; Merlo, A; Pineda, A; Ordoñez, M and S. Savary. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197 (3-4):431-447.
- Baker, P. S. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (*Coleoptera, Scolytidae*). Paper read at Folia Entomological Mexicana. 1984, publ. 1985. 61, 9-24.
- Baker, P. 1992. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern México (, *scolytidae*). *Folio Entomológica Mexicana* no. 61: 9-24.
- Baker, P. S. 1999. La broca del café en Colombia; Informe final del proyecto MIP para el café-Cenicafé-CABI Bioscience Chinchiná (Colombia). 154p.
- Baker, PS; Barrera, JF; Valenzuela, JE.1989.The distribution of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, *Scolytidae*) in Southern Mexico; a survey for a biological project *Tropical Pest Mananagment* 35: 163-168.

- Baker, PS; Ley, Balbuena and Barrera, JF.1992. Factors affecting the emergence of (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) from coffee berries. Bull. Of Ent. Res. 82: 145-150.
- Becker, PS. 1991. El sistema *Coffea* spp. y *Hemileia vastatrix*. eds La Roya de Cafeto: Conocimiento y control. Eschborn, DE, GTZ 281 p.
- Beer, J; Harvey, CA; Ibrahim, M; Harman, JM; Somarriba, E; Jimenez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas (CATIE) 37- 38: 887.
- Beer, J; Muschler, R; Kass, D and Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems 38:139–164.
- Bergamín, J. 1943. Contribuição para o conhecimento da biología da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Col. Ipidae). Aquivos do Instituto Biológico, v. 14, 31-72.
- Bennett, Andrew F. 1999. Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. Gland, Switzerland: IUCN.
- Bianchi, FJJA; Booij, CJH; Tschardtke, T. (2006) Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. Proceedings of the Royal Society B. 273, 1715-1727.
- Bosselmann, A; Dons, K; Oberthur, T; Smith, C; Ræbild, A and Usma, H. 2008. The influence of shade trees on coffee quality in small holder coffee agroforestry systems in Southern Colombia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 10: p
- Bustillo, A; Cárdenas, R; Villalba, D; Benavides, P; Orozco, J; Posada, F. 1998. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Co, CENICAFE. 134-135p.
- Bustillo, A; Cárdenas, R.; Villalba, D; Benavides, P; Orozco, J; Posada, F. 2002. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Co, CENICAFÉ. 134 p.
- Bustillo, A; Marín, P. 2003. ¿Cómo reactivar la virulencia de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café? Revista Manejo Integrado de Plagas, no.63,i-iv.
- Bustillo, A; Villalba, D; Orozco, J. Benavides, P; Reyes, I; Chávez, C. 1998. Integrated pest management to control the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, In Colombia. ASIC, 16e. Colloque, Kyoto, Japan, p. 671-680.
- Bustillo, A; E. 2005. La comunicación en insectos. ¿Reciben mensajes de las plantas?: El caso de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). En: Memorias XXXII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Ibagué 27-29 de julio 2005. p. 57-85

- Campos, VP; Sivapalan, P; Gnamapragasam, NC. 1990. Nematodes parasites coffee, cocoa and tea. *In*: Plant, parasitic Nematodes in subtropical and tropical agriculture editado por M. Luc; R.A Sikora y J. Bridge Wallingford UK; Cab International. 113 - 126p.
- Castro, F; Montes, E; Raine, M. 2004. Centroamérica la crisis cafetalera: efectos y estrategias para hacerle frente (en línea) San José, CR. Consultado 22 nov. 2008. Disponible en <http://www.dev.ico.org/documents/cmr0508c.pdf>
- Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones de Café). 1993. Otra forma de conocer la infestación por broca en un cafetal. Brocarta n 6: 2.
- Connor, E F. AC. Courtney, and J. M. Yoder. 2000. Individuals–area relationships: the relationship between animal population density and area. *Ecology* 81:734-748.
- Condeso, TE. *In* Meentemeyer, RK. 2007. Effects of landscape heterogeneity on the emerging forest disease sudden oak death. *Journal of Ecology* 95 (2):364-375.
- CBM- CR, (Corredor Biológico Mesoamericano, sección Costa Rica). 2002. “El Corredor Biológico Mesoamericano en Costa Rica”. Serie Técnica 03. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). San José, Costa Rica.
- DaMatta, FM. 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res.* 86 99–114.
- Debinski, DM and Holt, RD. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conservation Biology* 14, (342) 355.
- Decazy, B.1988. Control de la broca del café *Hypothenemus hampei*. Eds PROMECAFE; diez años de labores 1978-1988. Guatemala, PROMECAFE. 53-72p
- Decazy, B. 1990. El manejo integrado de la broca del fruto del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferrari) IICA-PROMECAFE. Publicación miscelánea del IICA A1/GT-90-01, Guatemala, GT. 21p.
- Dufour, B; Barrera, J; Decazy, B. 1999. La broca de los frutos del cafeto: ¿La lucha biológica como solución? P 293-325. *In* Bertrand, B Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José C. R, AGROAMERICA. 496 p.
- Dufour, B; Gonzáles MO; Frérot, B.2000. Piégeage de masse du scolyti du café *Hypothenemus hampei*. El Salvador. *In* Dix – (CD- ROOM).In Colloque scientifique international sur le café. Paris : ASIC, I. (18, 2001 Trieste; TT) Paris, ASIC P.
- Dufour, B; Gonzalez MO; Mauricio JJ. Chavez BA; Ramirez R. 2005. *In* : 20th International Conference on Coffee Science, 11-15 October 2004, Bangalore, India. [Cd-Rom]. Paris: ASIC, p. 1243-1247. Colloque Scientifique International sur le Café. 20, 2004-10-11/2004-10-15, Bangalore, Inde.

- Enrique, A; Pardey, B; Villalba, D. 2004. Efecto del clima y condiciones del cultivo del café en la biología y comportamiento de la broca del café, (*Hypothenemus hampei*(Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)
- Feliz, D. 2003. Incidencias de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferr. 1867) y sus controladores en las plantas de café bajo diferentes tipos de sombra en San Marcos, Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68p.
- Fernández, E; Acosta O. Pérez I. Manejo integrado de nemátodos del género *Meloidogyne* en el café. VIII Forum Nacional de Ciencia y Técnica. Ciudad de La Habana, 1993
- Fischersworing, B; Robkamp, R; 2001. Guia para la caficultura ecológica. 3 ed. Lima Perú. 153 p.
- Giordanengo, P. 1992. Biologie, éco- éthologie et dynamique des populations du Scolyte des grains de café (*Hypothenemus hampei*, Ferr. Scolytidae), en Nouvelle Calédonie. Memoria. Tesis de Doctorado. Univers. Rennes 1. 109 p.
- Guharay, F. 2001. Manual Manejo de la Broca en los Cafetos. Turrialba, Costa Rica CATIE. 27p.
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, Ch 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, C. R. CATIE. 115 – 116 p.
- Gustafson, EJ. 1998, Quantifying landscape spatial pattern. What is the state of the art? *Ecosystems* 1:143–156.
- Glover, N; Beer, J. 1986. Spatial and temporal fluctuations of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* var. Caturra *Erythrina poeppigiana* and *C. arabica* Var. Caturra– *E.poeppigiana*–*Cordia alliodora*., Turrialba, Costa Rica CATIE. 56p.
- Harrison, S; Bruna, E. 1999. Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure? *Ecography* 22:225–232.
- Hernández, A. 1997. Étude de la variabilité intr et inter spécifique des nématodes du genre *Meloidogyne* parasites des caféiers en Amérique Centrale. These de Docteur Académie de Montpellier FR 101 p.
- Herrera, I. 2007. Innovaciones Tecnológicas para el manejo ecológico de la roya, antracnosis y nematodos del café en seis zonas productoras de café de la zona norte de Nicaragua.
- Holt, RD; Lawton, JH; Polis, GA; Martinez, ND. (1999) Trophic rank and the species-area relationship. *Ecology* 80: 1495-1504

- Hoogstraten, JGJ; Toma-Braghini, M; Eskes, AB, 1983. Influenciada umidade do solo e umidade relativa do ar sobre aresistencia do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In: 10th Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil, 29agosto01 septiembre 1983. Brazil: IBC/GERCA, 110–1
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) e Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2007. Censo cafetalero: Turrialba y Coto Brus 2003; Valle Central y Valle Central Occidental 2004; Pérez Zeledón, Terrazú y Zona Norte 2006. Principales Resultados (en línea). Consultado 13 mar. 2010. Disponible en [www.icafe.go.cr](http://www.icafe.go.cr)
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) e Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). 2003. Censo cafetalero: Turrialba y Coto Brus 2003; Valle Central y Valle Central Occidental 2004; Pérez Zeledón, Terrazú y Zona Norte 2006 (en línea). Consultado 29 mar. 2010. Disponible en [www.icafe.go.cr](http://www.icafe.go.cr)
- ITCR Instituto Costarricense de Turismo (ITCR). 2000. Atlas de Costa Rica. (CD ROOM) Cartago C. R.
- Javed, Z. J. 1987. Epidemiología y control de la roya del cafeto en Centroamérica: plagas y enfermedades de carácter epidémico en cultivos frutales de la región centroamericana. Turrialba, Costa Rica. CATIE.17 – 26p. (Serie técnica. Informe técnico no. 110).
- Kareiva, P; Wennergren. 1995. Connecting landscape patterns to ecosystem and population processes. *Nature* 373:299–302p.
- Kerry, BR; Crump, DH; Irving, F. 1995. Algunos aspectos del control biológico del nematodo de quiste. *Biocontrol*. P.1(4): 5-14.
- Klein, C; Molinari, P; Tandazo, A. 1987. Distribución y niveles de infestación de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.). *Sanidad vegetal* 2: 4-12.
- Kushalappa, AC., Ludwig, A. 1981. Calculation of apparent infection rate in plant diseases: development of a method to correct host growth. *Phytopathology* 72:1373-1377.
- Lamouroux, N; Pellegrin, F; Nandris, D; Kohler, F. 1995. The *Coffea arabica* fungal pathosystem in New Caledonia: interactions at two different spatial scales. *J Phytopathol* 143:403-413.
- Leguizamon, C; Vélez, AP; Gonzáles, CA. 1989. Efecto de extractos metabólicos de *Verticillium lecanii* sobre *Hemileia vastatrix*. *CENICAFE*. 40 (2):31-39.
- Le Pelley, R. 1968. Pest of coffee. London, Longman.590 p.
- López, M. 1994. Uso de entomopatógenos y parasitoides como control biológico de plagas y enfermedades en el cultivo del café. C.R. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 97p

- López, M. 1990. Uso de entomopatógenos y parasitoides como control biológico de plagas y enfermedades en el cultivo del café. C.R. Ministerio de Agricultura y Ganadería 87p.
- López, R; Salazar, L. 1989. *Meloidogyne arabicida* sp. n. (Nemata: *Heteroderidae*) nativo de Costa Rica: un nuevo y severo patógeno del cafeto. Turrialba 39: 313–323.
- Lyngbæk, AE. 1999. Tesis de Maestría, Escuela de Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Gales, Bangor. Revista: Agroforestería en las Américas (julio – septiembre 1999) vol # 23
- Machado. JRM; Matiello, JB; 1983. Curva epidêmiologica da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) em cafeeiros sombreados e a pleno sol, na Ibiapaba, noroeste do Cear´a. In: Simposio sobre Ferrugens do Cafeeiro, Oeiras, Portugal, Outubro 17–20, 1983. CIFC, Oeiras, Portugal, pp. 282–286.
- Marín, P; Bustillo, AE. 2002. Producción artesanal de hongos entomopatógenos para el control de insectos plagas. In: Memorias Curso Internacional Teórico-Práctico. Sección I. Entomopatógenos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, marzo 11 al 15 del 2002. p. 125-131.
- Mestre, A; Salazar, JN. 1995. Producción de cafetales establecidos con una y dos plantas por sitio. Cenicafé, Avances técnicos no. 213.2.
- Miranda, A. 1989. Consideraciones para uniformar los resultados de un análisis químico de suelo-separata curso regional sobre nutrición mineral del café 1988. IICA, Guatemala
- Miller, Kenton. 1996. Balancing the Scales: Guidelines for Increasing Biodiversity’s Chances Through Bioregional Management. Washington, DC: WRI.
- Monzón, JA. 1992. Distribución de *Verticillium* sp en tres zonas cafetaleras de Nicaragua y evaluación de dos aislamientos del hongo como agente de control biológico de la roya (*Hemileia vastatrix*) del cafeto (*Coffea arabica* L.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 66p.
- Montoya, R. 1999. Caracterización de la infestación del café por la broca y el efecto del daño en la calidad de la bebida Cenicafé 50 – (4): 245 – 258.
- Morales, E; Cruz, E; Ocampo, A; Rivera, G; Morales, B. 1991. Una aplicación de la biotecnología para el control de la broca del café. En: Colloque Scientifique International sur le Café, 14. San Francisco. 14-19 Juillet 1991, Paris, ASIC. p. 521-526.
- Muschler, RG 2000. Árboles en cafetales. Turrialba, CR, CATIE/GTZ. 13p. (Materiales de enseñanza No. 45). 34-54p.



- Muschler, R G, 2001. Modification of growth environment for *Coffea arabica* by different pruning regimes of *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica. *Agrofor. Systems*. 51:131-139.
- Neher, DA. 1999. Soil community composition and ecosystem processes. Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems*. 45: 159-185.
- Obando, A. 2002. Levantamiento de un pie de cría de broca de café, *Hypothenemus hampei* (Coleóptero, Scolytidae) en granos de café y en dieta artificial. Tesis Bachiller en Ing Agro. ITCR 67p.
- Olivas, A. 2010. Efecto del uso del suelo adyacente al cafetal sobre la dispersión y dinámica poblacional de la broca *Hypothenemus hampei* Ferrari y la abundancia de enemigos naturales en el cantón de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CATIE. 140p.
- Organización Internacional de Café (OIC). 2003. Conceptos y Variables de datos que se utilizan en las estadísticas de la organización (en línea). Consultado 23 mar. 2009. Disponible en <http://www.ico.org>
- Perkins,TE; Matlack, GR. 2002. Human-generated pattern in commercial forests of southern Mississippi and consequences for the spread of pests and pathogens. *Forest Ecology and Management* 157: 143-154p.
- Perrin, RM. 1980. The role of environmental diversity in crop protection effects of temporal and spatial diversity in agroecosystems on *phytophagous* insects, diseases, weeds and natural enemies. *Prot - Ecol*. 2 (2):77-114.
- Posada, FJ; Bustillo, AE. 1994. El hongo *Beauveria bassiana* y su impacto en la caficultura Colombiana. *Agricultura Tropical (Colombia)* 31 (3): 97-106
- Portilla, M; 1999<sup>a</sup>; Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría de *Hypothenemus hampei*. *Revista Cenicafé* 50 (1): 24-38.
- Portilla, M; 1999<sup>b</sup>; Mass rearing technique for *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) on *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) developed using *Cenibroca* artificial diet. *Revista Colombiana de Entomología* 25 (1-2): 57-66.
- Portilla, M; 2000; Development and evaluation of new artificial diet for mass rearing *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Colombiana de Entomología* 26 (1-2): 31-37.
- Portilla, M; Bustillo, A; E, 1995; Nuevas investigaciones en la cría masiva de *Hypothenemus hampei* y de sus parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*. *Revista Colombiana de Entomología* 21 (1): 25-33.
- Quispe, J. 2007. Caracterización del impacto ambiental y productivo de las diferentes normas de certificación de café en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CATIE. 149 p.

- Rémond, F; 1996. Mise au point de méthodes d'échantillonnage pour estimer les attaques des fruits du caféier par le scolyte (*Hypothenemus hampei* Ferr.) Thèse de Doc. Univers. Montpellier, France, 279 p.
- Risch, SJ; Andow, D; Altieri, MA. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions and new research directions. *Environmental Entomology* 12:625-629.
- Rivera, H. 2000. El selector de arvenses modificado. *Avances técnicos Cenicafé*, no. 271.4.
- Rivas, ZS; Ponce, DC. 1996. Estudio histológico anatómico y morfológico de *Verticillium lecanii* y *Talaromyces wortmannii* con *Hemileia vastatrix*. *CENICAFE*. 47 (1): 16-31.
- Ruiz, L; Bustillo, A; E, Posada; F, J; Gonzales, M; T. 1996; Ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* en dos dietas meridicas. *Revista Cenicafé* 47 (2): 77-84.
- Salazar, H; Baker, P S. 2002. Impacto de liberaciones de *Cephalonomia stephanoderis* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei*. *Revista Cenicafé* 53 (4): 306-316.
- Saunders, D; Hobbs, A; Margules, RJ. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* C, R 5, (18), 32.
- Savary, S. 1987. Enquête sur les maladies fongiques de l'arachide (*Arachis hypogaea*) en Côte d'Ivoire. II. Epidémiologie de la rouille de l'arachide (*Puccinia arachidis*). *Neth J Plant Path* 93:215-231.
- Sibaja, G y Jiménez, M. 1989. La broca del café. San José, C. R. MAG. 16 pág.
- Silva, M; Varzea, V; Guerra-Guimaraes, L; Azinheira, HG; Fernandez, D; Petitot, AS; Bertrand, B; Lashermes, P & Nicole, M.(2006) Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 119-147.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D; Muschler, RG. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53:151-70.
- Steffan-Dewenter, I; Munzenberg, U; Tschamtket, T. 2001. Pollination, seed set and seed predation on a landscape scale. *Proceedings*
- Steppler, HA; Nair, PKR. (eds). 1987. *Agroforestry: a decade of development*. Nairobi, Kenya. ICRAF, 335 p.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Caballero-Nieto, J. 2002. Shade over coffee: its effects on coffee berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55: 37-45.

- Taylor, A; Sasser LJ. 1983. Biología, identificación y control de los nematodos del nódulo de la raíz (Especies de *Meloidogyne*). Proyecto Internacional de *Meloidogyne*. E.U.A. Universidad de Carolina del Norte, 1-50 p.
- Ticheler, H. 1961 Estudio analítico de la epidemiología del escoltido de los granos de café, *Stephanoderes Hampei* Ferr., en Costa de Marfil. 223-294 p.
- Thébaud, G; Sauvion, N; Chadœuf, J; Dufils, A; Labonne, G.2006. Identifying risk factors for European stone fruit yellows from a survey. *Phytopathology* 96:890-899.
- Thies, C and Tschardtke, T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystem science 285 – 893p.
- Trejos, S.A.R.; Funez, C. R. Evaluación del establecimiento de los parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* sobre la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*) en 14 años de liberación en Honduras. PROMECAFE, IICA, p. 15, 2004 (Boletín Técnico).
- Turner, M; Gardner, H. 1991. Quantitative methods in landscape ecology. Springer, New York, New York, USA 31– 32 p.
- Upretí, G; Bittenbender, H; Ingamells, JL. 1992. Rapid estimation of coffee yield. *In* Fourteenth International Scientific Colloquium on coffee, San Francisco, July 14–19, 1991. ASIC, Paris, pp. 585 – 593.
- Wardle, DA; Yeates, GW; Watson, RN; Nicholson, KS. 1995. The detritus foodweb and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agroecosystems. *Plant Soil* 170: 35–43.
- Webge, K; Decazy, B; Alasuet; Dufour, B. 2003; Estimation of production losses caused by the coffee berry borer (*Coleoptera Scolyidae*). 96 (5) p.
- Wiegand, T; Moloney, J; Naves, F. 1999. Finding the missing link between landscape structure and population dynamics: a spatially explicit perspective. *American Naturalist* 154:605–627.
- Zadoks, JC; Schein, RD. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford New York University Press, 427 p.

## **9 ANEXOS**

# ANEXOS

## Anexo 1. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

NOMBRE(S) DEL (DE LOS) OBSERVADORES	
FECHA F1 o F2	

LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA		
PROVINCIA		
CANTON, DISTRITO LOCALIDAD		
NOMBRE DE LA FINCA		
NOMBRE DEL PROPIETARIO Y/O ENCARGADO		
ALTITUD		
COORDENADAS GEOGRAFICAS	N	W

TOPOGRAFÍA - DATOS TOMADOS PARA EL LOTE EXPERIMENTAL	
PORCENTAJE DE LA PENDIENTE	
ORIENTACIÓN DE LA PENDIENTE	





NOMBRE(S) DEL (DE LOS) OBSERVADORES	
FECHA F3	

DATOS DE PRODUCCIÓN POR PLANTA – MUESTREO POR PLANTA					
NUMERO DE PLANTA	1	2	3	4	5
NUMERO TOTAL DE TALLOS EN PRODUCCIÓN					
NUMERO DE NUDOS FRUCTÍFEROS (POR TALLO)					

NOMBRE(S) DEL (DE LOS) OBSERVADORES	
FECHA F4	

ENFERMEDADES DE TALLOS Y BANDOLAS – RECORRIDO EN EL LOTE EXPERIMENTAL	
NUMERO TOTAL DE PLANTAS EN EL LOTE	
Nº DE PLANTAS CON ANTRACNOSIS	
Nº DE PLANTAS CON OJO DE GALLO	
Nº DE PLANTAS CON MAL DE HILACHAS	
Nº DE PLANTAS CON MAL ROSADO	
Nº DE PLANTAS CON DERRITE	
OTROS	





# Anexo 3

Formato para el recuento de granos totales; no aptos y aptos brocados en la parcela. (5 plantas)

Fecha de la toma de datos: \_\_\_\_\_

Código de la parcela: \_\_\_\_\_

Nombre del encuestador: \_\_\_\_\_

Área	P1				p2				p3				p4				p5			
	Frutos no aptos	Frutos aptos B	Frutos aptos con BB	Frutos brocados con BB	frutos no aptos	frutos aptos B	frutos aptos con BB	frutos brocados con BB	frutos no aptos	frutos aptos B	frutos aptos con BB	frutos brocados con BB	frutos no aptos	frutos aptos B	frutos aptos con BB	frutos brocados con BB	frutos no aptos	frutos aptos B	frutos aptos con BB	frutos brocados con BB
Bandola 1																				
Bandola 2																				
Bandola 3																				
Bandola 4																				
Bandola 5																				
Bandola 6																				
Total de granos																				
Total de ramas contadas																				
Total de ramas productivas																				



Anexo 5.

NIVEL TECNOLÓGICO- Año en curso  
A COMPLETAR POR EL PRODUCTOR CONFORME SE REALICEN LAS ACTIVIDADES

PROPIETARIO:			Año
PROVINCIA, CANTON, DISTRITO:			
FINCA :			
MES	ACTIVIDAD	PRODUCTO	DOSIS
ENERO			
FEBRERO			
MARZO			
ABRIL			
MAYO			
JUNIO			
JULIO			

Anotar todas las prácticas efectuadas en el lote experimental. Indicar los controles químicos (fecha, producto, dosis) efectuados en el lote experimental.

**NIVEL TECNOLÓGICO- Año en curso**  
**A COMPLETAR POR EL PRODUCTOR CONFORME SE REALICEN LAS ACTIVIDADES**

PROPIETARIO:			Año
PROVINCIA, CANTON, DISTRITO:			
FINCA :			
MES	ACTIVIDAD	PRODUCTO	DOSIS
AGOSTO			
SEPTIEMBRE			
OCTUBRE			
NOVIEMBRE			
DICIEMBRE			

Anotar todas las prácticas efectuadas en el lote experimental. Indicar los controles químicos (fecha, producto, dosis) efectuados en el lote experimental.

<b>CRONOGRAMA</b>
-------------------

Noviembre - diciembre 2008: Búsqueda de los 50 lotes, instalación de los pluviómetros

Febrero 2009: Delimitación de las parcelas, marcado de plantas y actividades F1

Febrero 2009: Actividades F2

Mayo 2009: Actividades F3

Julio 2009: Actividades F4

Agosto 2009: Actividades F4 - F5

Noviembre 2009: Actividades F4 - F5