



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Bases para el manejo agroecológico
de *Eurhizococcus colombianus*
Jakubski (Hemiptera: Margarodidae)
en cultivos de mora del Oriente
Antioqueño**

Elizabeth Meneses Ospina

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2015

Bases para el manejo agroecológico de *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Hemiptera: Margarodidae) en cultivos de mora del Oriente Antioqueño

Elizabeth Meneses Ospina

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en Agroecología

Director:

Ph.D. Juan Carlos Pérez N.

Codirectora:

Ph.D. Clara Nicholls E

Línea de Investigación:

Agroecología Aplicada

Grupo de Investigación:

Sistemas Simbióticos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Medellín, Colombia

2015

Estudiar el todo a través de las partes no es un error. El error está en que una vez comprendidas, no se usen para reconocer la magnificencia del todo.

Neale Donald Walsch

Agradecimientos

Aprovecho este espacio para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento al profesor Juan Carlos Pérez, director de esta tesis, por su orientación, motivación, gran compromiso y apoyo incondicional a lo largo de estos años.

También quiero agradecer de manera especial a la analista química Gloria Arango, a los profesores Guillermo Correa, Jazmín Cardoza y Clara Nicholls, así como a los investigadores Martha E. Londoño y Juan Humberto Guarín, por la confianza, el interés mostrado en mi trabajo, su apoyo y aportes recibidos.

Agradezco a la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, a la Dirección de Investigaciones DIME, a la Facultad de Ciencias Agrarias, al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Sede Medellín, a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica, a la Universidad Estatal de Carolina de Norte – Estados Unidos y a los productores de mora del Oriente Antioqueño, por su apoyo y colaboración en el suministro de información, materiales, equipos, recurso humano y ayudantías necesarias para llevar a feliz término esta tesis.

También quiero hacer extensiva mi gratitud a los compañeros del grupo de investigación Sistemas Simbióticos y muy especialmente a los estudiantes Manuel Olarte y Natalia Rincón, a la Ingeniera Biológica Juliana Soler y al asistente de investigación de Corpoica Ovidio Montoya, por su tiempo y colaboración en el trabajo de campo.

Hago un especial reconocimiento a **mis padres y hermana**, a mis familiares y amigos por su amor, comprensión, motivación y apoyo incondicional.

Doy infinitas gracias a **DIOS** por poner en mi camino a todas estas maravillosas personas e instituciones, pues fue gracias a ellas que logré mi objetivo.

Dios los bendiga hoy y siempre!!

Resumen

Tradicionalmente el hombre ha introducido diversas tecnologías para garantizar cultivos con menos incidencia de plagas, mejorar los rendimientos y la calidad de las cosechas, sin embargo, la falta de análisis sistémicos sobre el impacto de esas tecnologías que se introducen en los cultivos, ha ocasionado desequilibrios en otros elementos de los agroecosistemas, afectando a largo plazo la sostenibilidad del sector agrario. El enfoque de manejo agroecológico de plagas busca a través de métodos holísticos entender las causas de un brote poblacional y mitigar las consecuencias de sus daños. Usando como modelo seis fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño afectadas por el insecto de hábito subterráneo, la perla de tierra colombiana, *Eurhizococcus colombianus* Jakubsky (Hemiptera: Margarodidae), este estudio exploró algunos elementos técnicos necesarios para generar una estrategia de manejo de plagas del suelo con ese enfoque. Dichos elementos se centraron en tres aspectos: analizar a partir de información existente y de las fincas visitadas, posibles causas de vulnerabilidad o propensión al daño; explorar la aplicación de un sistema de detección de insectos del suelo que no requiere la destrucción de las plantas, ni la perturbación del ambiente edáfico; identificar condiciones asociadas con la presencia del insecto en este cultivo. Los resultados sugieren que la vulnerabilidad de las fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño al daño por el insecto *E. colombianus* estaría relacionada con inadecuados arreglos espaciales y temporales de la vegetación, desconocimiento del insecto, uso inadecuado de los componentes suelo, así como por el uso indebido de prácticas agronómicas y fitosanitarias. La aplicación de la espectroscopía NIR, técnica no destructiva, como sistema para detectar a *E. colombianus* permitió hallar compuestos en las hojas de la mora que estarían asociados a la presencia del insecto. Adicionalmente se identificaron siete condiciones de la rizósfera y cuatro de las plantas asociadas a la presencia de *E. colombianus* en los cultivos de mora analizados, donde el aumento en los contenidos de sacarosa en hojas fue la condición más asociada. La relación de esta variable con las 10 restantes fue diferente para cada finca. Aunque el estudio utilizó el enfoque agroecológico sobre un componente particular de las fincas (los cultivos de mora), sus resultados proveen herramientas que contribuirán al conocimiento de los procesos ecológicos que suceden tanto en la parcela de producción como en el agroecosistema al que pertenecen.

Palabras clave: Plagas del suelo. *Rubus glaucus*. Perla de tierra colombiana. Manejo agroecológico de plagas. NIR. Análisis multivariado. Interacción insecto – planta.

Abstract

Agricultural practices include a full array of technologies aimed to ensure crop quality and to reduce the losses caused by pests and diseases. The absence of systemic analyses of the technologies being introduced in crops with that purpose has caused imbalances in other elements of the agro-ecosystems, affecting the long-term sustainability of the agricultural sector. The agroecological pest management approach aims at a holistic view to understand the behavior of pests and mitigate the consequences of their damage. This study used blackberry crops located at the Western of Antioquia, which were heavily infested by the Colombian ground pearl *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Hemiptera: Margarodidae) in order to find some of the technical elements required to generate such a pest management strategy. These elements were focused at discovering cues of possible causes of plant vulnerability, as expected from the existent knowledge and information on this insect-plant system; it also explored and adapted a potentially non destructing and non-disturbing system (NIR spectroscopy) for detecting this underground root feeding insect; and it finally used an instrumental and statistical based approach to simultaneously assess the conditions associated with plant conditions and soil pests on crops. The results suggest that NIR spectroscopy is a promising non-destructive technique that can detect specific compounds in blackberry leaves, which could be associated with the presence of *E. colombianus* and perhaps other soil insects. It is also suggested that seven conditions of the rhizosphere and four conditions from the plants comprise the set of conditions associated with the presence of *E. colombianus* in blackberry crops surveyed in Eastern of Antioquia, in which the increase in sucrose content in leaves was the most influential condition. Although this study used the agroecological approach, applied to a particular component of the studied orchards (blackberry crops), these results will contribute to the knowledge of ecological processes occurring both; in the field of production and on the agro-ecosystems to which they belong.

Keywords: Soil pests. *Rubus glaucus*. Colombian ground pearl. Agro-ecological pest management. NIR. Multivariate analysis. Insect - plant interaction.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XVI
Introducción	1
Objetivo General	4
Objetivos específicos	4
1. Manejo agroecológico de plagas (MAP), vulnerabilidad y métodos para su cuantificación	5
1.1 El concepto de vulnerabilidad	7
1.2 Métodos para determinar la vulnerabilidad de un sistema.	9
1.3 Métodos para determinar la vulnerabilidad de los agroecosistemas al daño por plagas	12
2. Situación actual de la producción de mora mundial, nacional y local y descripción de la perla de tierra colombiana como limitante fitosanitario	17
2.1 Producción mundial	17
2.2 Producción nacional	21
2.2.1 Los cultivos de mora en Colombia.....	21
2.2.2 Los cultivos de mora en el departamento de Antioquia – Colombia.....	25
2.2.3 Exploración inicial en búsqueda de condiciones asociadas con la presencia de <i>Eurhizococcus colombianus</i> Jakubski en fincas productoras de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth.) del Oriente Antioqueño	26

2.3	La perla de tierra colombiana <i>Eurhizococcus colombianus</i> Jakubski como limitante fitosanitario para la producción de mora en Colombia.....	33
2.4	Posibles causas de vulnerabilidad al daño por <i>Eurhizococcus colombianus</i> Jakubski en fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño	47
3.	Aplicación de la espectroscopía del infrarrojo cercano en la detección de <i>Eurhizococcus colombianus</i> (Hemiptera: Margarodidae) en mora	51
3.1	Resumen.....	51
3.2	Abstract.....	52
3.3	Introducción.....	52
3.4	Materiales y métodos	53
3.5	Resultados	56
3.6	Discusión.....	64
3.7	Conclusión	66
4.	Condiciones del suelo rizosférico y plantas asociadas con la incidencia de <i>Eurhizococcus colombianus</i> en cultivos de mora del Oriente Antioqueño.....	67
4.1	Resumen.....	67
4.2	Abstract.....	68
4.3	Introducción.....	68
4.4	Materiales y métodos	70
4.5	Resultados	75
4.6	Discusión.....	85
4.7	Conclusión	91
5.	Discusión General, Conclusión y Recomendación	93
5.1	Discusión General	93
5.2	Conclusiones.....	98
5.3	Recomendación	99
	Bibliografía	101

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Representación gráfica de la ecuación de vulnerabilidad propuesta por Luers <i>et al.</i> (2003)	11
Figura 1-2: Elementos y variables que participaron en la definición del riesgo que representa la broca a los productores de café en Chiapas, México (Barrera <i>et al.</i> , 2007).	13
Figura 1-3: Representación gráfica de los indicadores “calidad de suelos” y “salud de los cultivos” usados como referente para identificar posibles causas de vulnerabilidad al daño por plagas (Pérez, 2010).	14
Figura 2-1: Principales países productores de mora comercial en 2005 (Strik <i>et al.</i> , 2007).....	19
Figura 2-2: <i>Rubus glaucus</i> , principal especie de mora cultivada en Colombia.....	22
Figura 2-3: Región andina, zona productora de mora en Colombia y principales de departamentos productores (adaptado de Escobar, 2014).	23
Figura 2-4: Área, producción y rendimientos de la mora en Colombia entre 1993 y 2013 (Tomado de Escobar, 2014).....	23
Figura 2-5: Ubicación geográfica de la subregión altiplano – Oriente Antioqueño y de las fincas productoras de mora seleccionadas para este estudio.....	27
Figura 2-6: Arreglos espaciales de los elementos del paisaje para cada una de las fincas del Oriente Antioqueño seleccionadas.	29
Figura 2-7: Estadios de desarrollo de perla de tierra colombiana <i>E. colombianus</i>	34
Figura 2-8: Ecotipos de mora (<i>Rubus glaucus</i>), sembrados en el Oriente Antioqueño y Eje Cafetero (Tomado de Ríos <i>et al.</i> , 2010).	42
Figura 2-9: Otros cultivos establecidos en fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero (Tomado de Ríos <i>et al.</i> , 2010).....	43
Figura 2-10: Métodos empleados por los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero para el control de arvenses (Tomado de Ríos <i>et al.</i> , 2010).	44

Figura 2-11: Métodos empleados por los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero para el control de plagas (Tomado de Ríos <i>et al.</i> , 2010).	45
Figura 2-12: Métodos empleados por los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero para el control de enfermedades (Tomado de Ríos <i>et al.</i> , 2010).	45
Figura 2-13: Mapa de correspondencia múltiple empleando variables evaluadas por Ríos <i>et al.</i> (2010).	49
Figura 3-1: Montaje del experimento con espectroscopia NIR en muestras de hojas y suelo rizosférico.	55
Figura 3-2: Características de espectros infrarrojos de muestras de hojas y suelo rizosférico provenientes de cultivos de mora con y sin infestación por <i>E. colombianus</i> ...	57
Figura 3-3: Modelo general de incidencia de <i>E. colombianus</i> en cultivos de mora del Oriente Antioqueño después del análisis Cluster-ACP.	57
Figura 3-4: Clasificación de las muestras de hojas después del análisis Cluster-ACP.	58
Figura 3-5: Clasificación de las muestras de suelo rizosférico después del análisis Cluster-ACP.	59
Figura 3-6: Regiones NIR que conforman los componentes principales CP1 y CP2, para cada finca en muestras de hojas.	60
Figura 3-7: Regiones NIR que conforman la CP1 y CP2, para cada finca en muestras de suelo rizosférico.	62
Figura 4-1: Representación gráfica de las variables clasificatorias que conforman los grupos de incidencia “plantas de mora sin insecto” y “plantas de mora con insecto”.....	76
Figura 4-2: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Selva 1 (Rionegro-Antioquia).. ..	78
Figura 4-3: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Selva 2 (Rionegro-Antioquia). . ..	79
Figura 4-4: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Frijolera (Guarne-Antioquia).	80
Figura 4-5: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca El Encanto (La Ceja-Antioquia).. ..	81
Figura 4-6: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Torre (El Retiro-Antioquia).	82

Figura 4-7: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca El Reposo (Envigado-Antioquia).....	83
Figura 4-8: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la Finca Campo Alegre (El Retiro-Antioquia).	84
Figura 4-9: Pérdida de rendimientos agrícolas por factores de estrés biótico o abiótico (Tomado de Buchanan <i>et al.</i> (2000))......	91
Figura 5-1: Tendencias en el uso de insumos químicos y biológicos para el manejo de plagas en el mundo (Adaptado de Thakore, 2006).	98

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1: Principales causas por las que los insectos se convierten en plagas en un agroecosistema.....	5
Tabla 2-1: Áreas cultivadas comercialmente con mora y producción mundial en el año 2005 (Strik <i>et al.</i> , 2007).....	18
Tabla 2-2: Principales limitantes para la producción comercial de mora en el mundo (Adaptada de Strik <i>et al.</i> , 2007).....	20
Tabla 2-3: Estrategias empleadas actualmente en diferentes cultivos para el manejo de <i>E. colombianus</i> y otras especies de la familia Margarodidae.	37
Tabla 2-4: Ingredientes activos empleados para el control de plagas y enfermedades en cultivos de mora en el Oriente Antioqueño y Eje Cafetero (Adaptado de Ríos <i>et al.</i> , 2010)	46
Tabla 3-1: Información de las fincas seleccionadas para el estudio, edad de las plantas, ecotipo de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth.) e incidencia del insecto.	54
Tabla 4-1: Información de las fincas seleccionadas para el estudio, edad de las plantas, ecotipo de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth.) e incidencia del insecto.	71
Tabla 4-2: Variables medidas en las raíces y rizósfera de plantas de mora	72
Tabla 4-3: Variables medidas en la parte aérea de plantas de mora.....	72
Tabla 4-4: Escalas de evaluación utilizadas para medir las variables apariencia de la planta, control de arvenses, control de plagas y enfermedades en las plantas de mora. Adaptado de Pérez (2010).	74
Tabla 4-5: Coeficientes estandarizados de las variables clasificatorias de incidencia de <i>E. colombianus</i> en plantas de mora del Oriente Antioqueño.	75
Tabla 4-6: Clasificación de incidencia de <i>E. colombianus</i> en plantas de mora por autovalidación de la función discriminante.	76

Tabla 4-7: Resumen de las variables clasificatorias que probablemente más se relacionan con el aumento en la concentración de sacarosa en hojas en plantas de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth.) de seis fincas del Oriente Antioqueño.....	86
---	-----------

Introducción

La protección fitosanitaria ha tratado tradicionalmente de garantizar cultivos con menos incidencias de plagas para mejorar los rendimientos y la calidad de las cosechas (Vásquez, 2008). Sin embargo, la falta de análisis profundos e integrales sobre la introducción continua de tecnologías para mantener las plagas a niveles que no causan daño económico (uso intensivo de pesticidas, fertilizantes, herbicidas, manipulación genética, introducción de organismos no nativos y laboreo intensivo), han afectado la estructura y función de los agroecosistemas, con consecuencias como alta vulnerabilidad a perturbaciones de origen biótico y baja resiliencia o capacidad de recuperación al daño, afectando a largo plazo la sostenibilidad del sector agrario (Altieri, 1997; Nicholls, 2010; Vásquez, 2008).

El manejo agroecológico de plagas (MAP) con base en el enfoque de agricultura sustentable, ha redimensionado la visión de la sanidad vegetal, al dejar de percibir las plagas como centro del problema a tratar, para convertirlas en indicadores de agroecosistemas disfuncionales (Villalobos & Núñez, 2010). El objetivo del MAP es comprender las causas que provocan los brotes poblacionales mediante la integración de todos los componentes del sistema bajo estudio y generar estrategias que minimicen los costos económicos, ambientales y sociales derivados de la acción y el manejo de estos organismos (Barrera, 2007; Vásquez, 2008; Villalobos & Núñez, 2010). Para alcanzar dicho objetivo el MAP propone diversas alternativas, entre ellas, determinar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas al daño por plagas (Nicholls, 2010).

El concepto de vulnerabilidad en su sentido más básico, transmite la idea de susceptibilidad o propensión al daño. Ha sido usado ampliamente dentro del contexto del cambio climático como herramienta para tomar decisiones de manejo en función de los cuatro elementos que integran el concepto: un elemento interno o externo, conformado por las perturbaciones a las que un sistema está expuesto y tres elementos internos que determinan la vulnerabilidad del sistema al daño, denominados, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Gallopín, 2006; Gómez, 2001; Luers *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2003). De esta manera a mayor exposición y sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad de un sistema al daño y menor su resiliencia o capacidad de adaptación (Gallopín, 2006; Gómez, 2001; Luers *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2003). Con la cuantificación de este concepto, no solo se busca conocer el grado al cual un sistema esta propenso a experimentar un daño debido a una perturbación, sino también entender qué elementos del sistema determinan su capacidad para responder, adaptarse o recuperarse, permitiendo a los tomadores de decisiones aplicar estrategias de manejo oportunas (Luers *et al.*, 2003).

Para el caso del manejo holístico de plagas (MHP) descrito por Barrera (2007) el concepto de vulnerabilidad también ha sido usado como herramienta para tomar decisiones de manejo, solo que estas decisiones ya no se toman únicamente en función de la densidad de la plaga como sucede en el manejo integrado de plagas (MIP) con el nivel de daño económico (NDE), sino en función de los cuatro elementos que integran el concepto de vulnerabilidad (perturbación, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación).

Aunque la vulnerabilidad dentro del contexto del MAP concilia la necesidad de obtener mejores rendimientos con el deseo de diseñar sistemas resilientes que resulten en un ambiente más sano y en mejores condiciones de vida para los agricultores, su aplicación en situaciones particulares requiere de un adecuado conocimiento y cuantificación de sus cuatro elementos. De otra forma el concepto es inaplicable.

Con el propósito de contribuir a la construcción de una estrategia de manejo agroecológica para plagas del suelo, este estudio, a partir de información ya existente analizó inicialmente las posibles causas de vulnerabilidad de fincas productoras de mora (*Rubus glaucus* Benth.) del Oriente Antioqueño al daño por *Eurhizococcus colombianus* Jakubski, 1965 (Hemiptera: Margarodidae); posteriormente exploró la aplicación de un sistema de detección del insecto que no requiere la destrucción de las plantas, ni la perturbación del ambiente edáfico; e identificó algunas condiciones asociadas con la incidencia del insecto en doce de los catorce cultivos de mora analizados. Finalmente se discute la utilidad de estos elementos en el manejo racional de *E. colombianus*, considerado en Colombia como plaga para los frutales de clima frío moderado.

Eurhizococcus colombianus, es un insecto chupador de hábito subterráneo denominado también cochinilla o perla de tierra colombiana. Fue registrado como plaga de importancia económica en los cultivos de mora (*Rubus glaucus* Benth.) del país desde hace más de 30 años (Figuroa-Potes, 1946 (como *E. brasiliensis*); Jakubsky, 1965; Kondo & Gómez, 2008; Posada *et al.*, 1978). Entre los métodos de control que se han desarrollado actualmente para su manejo se destacan el control preventivo y más recientemente el uso de extractos vegetales, jabones, tensoactivos, aceites y hongos entomopatógenos, que aplicados solos o en combinación sobre ninfas del insecto y bajo condiciones controladas han logrado resultados satisfactorios (mortalidades superiores al 80%) (Ardila, 2013; Meneses *et al.*, 2012; Zapata, 2013). No obstante, la falta de validación de algunos de estos métodos han dejado al productor sin más opción que emplear estas tácticas desconociendo su efectividad en campo y las consecuencias para el equilibrio del agroecosistema, o continuar con la aplicación de insecticidas altamente tóxicos al suelo (fosforados, clorofosforados y carbamatos), método que no ha tenido resultados satisfactorios (debido características propias del insecto y a su hábito subterráneo), pero sí ha representado riesgos para la salud humana, incrementos del 15% en los costos de producción, así como residualidad en la fruta cosechada y en los componentes ambientales (Castrillón *et al.*, 2000a; Soria & Gallotti, 1986). Este último efecto colateral, es posiblemente uno de los principales responsables de que los procesos de regulación biótica se interrumpan, quedando muchos nichos y microhábitat desocupados, favoreciendo así fenómenos de resurgencia cíclica de plagas resistentes a insecticidas o la posible aparición de nuevas plagas consideradas hasta ahora como de menor importancia o secundarias (Pérez, 2004).

A continuación se hace una breve descripción de los cinco capítulos que conforman la tesis y que se articulan para elaborar una nueva perspectiva sobre el manejo agroecológico de *E. colombianus* en fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño:

En el primer capítulo se presentan brevemente una revisión y algunos elementos clave para comprender el concepto de vulnerabilidad en el contexto del manejo agroecológico de plagas.

En el segundo capítulo se describen aspectos biofísicos y socioeconómicos de la producción de mora a escala mundial, nacional y local. Se describe además al insecto escama *E. colombianus* como limitante fitosanitario para la producción de mora en Colombia y finalmente se identifican posibles causas de vulnerabilidad de las fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño al daño por *E. colombianus* con base en revisión de literatura e información recopilada en seis fincas de la zona.

En el tercer y cuarto capítulo se exploran herramientas de medición y análisis con las cuales se podrían mejorar los sistemas de detección del insecto y de las condiciones que favorecen su incidencia y daño en los cultivos. En el tercer capítulo se aplicó la espectroscopía NIR como una herramienta para detectar la presencia del insecto *E. colombianus* en cultivos de mora sin alterar el ambiente edáfico, ni destruir las plantas. En el cuarto capítulo, apoyado en experimentación directa en el campo y por medio de análisis multivariado, se identificaron siete condiciones de suelo rizosférico y cuatro de las plantas de mora que explicarían la incidencia del insecto en doce de los catorce cultivos de mora analizados. Para el desarrollo de éstos dos capítulos se emplearon seis fincas ubicadas en cinco municipios del Oriente Antioqueño. Cada finca contaba con al menos dos lotes cultivados con mora de la misma edad y variedad, donde uno de ellos registraba la presencia del insecto en las raíces de las plantas y el otro no.

Aunque esta tesis utilizó el enfoque agroecológico sobre un componente en particular de las fincas (los cultivos de mora), sus resultados contribuirán al conocimiento de los procesos ecológicos que suceden tanto en la parcela de producción como en el agroecosistema al que pertenecen.

Objetivo General

Desarrollar elementos técnicos que permitan reorientar el manejo de *Eurhizococcus colombianus* en cultivos de mora del Oriente Antioqueño hacia un enfoque agroecológico.

Objetivos específicos

Evaluar nuevas herramientas de medición y análisis suficientemente robustas y sensibles que permitan identificar condiciones de vulnerabilidad de cultivos de mora del Oriente Antioqueño al daño por *E. colombianus*.

Identificar en fincas del Oriente Antioqueño condiciones asociadas con la presencia de *E. colombianus* en cultivos de mora.

1. Manejo agroecológico de plagas (MAP), vulnerabilidad y métodos para su cuantificación

La expansión de la agricultura y su intensificación con el uso de variedades de alto rendimiento, fertilización, riego y pesticidas no solo ha contribuido sustancialmente al aumento en la producción de alimentos en los últimos 50 años (Matson *et al.*, 1997), también se han alterado interacciones bióticas y patrones de disponibilidad de recursos en los ecosistemas con graves consecuencias ambientales locales, como aumento de la erosión, reducción en fertilidad del suelo y biodiversidad; regionales como contaminación de aguas subterráneas y eutrofización de ríos y lagos, y globales a través de impactos atmosféricos y climáticos (Matson *et al.*, 1997).

Las plagas, definidas por Villalobos y Núñez (2010) como todo aquel organismo que afecta negativamente los intereses del hombre, se encuentran según Pimentel (2009) entre los factores más limitantes de la agricultura intensiva mundial, al ser estos los responsables del 40% de las pérdidas en productividad. De ese total, se estima que el 14% es causado por insectos y está determinado según diversos autores por variables específicas asociadas con el clima, la biodiversidad funcional representada en la composición de plantas, la calidad o salud del suelo, así como por el diseño (temporal y espacial) y las prácticas agronómicas y fitosanitarias empleadas en un agroecosistema (Tabla 1-1).

Tabla 1-1: Principales causas por las que los insectos se convierten en plagas en un agroecosistema.

Componente	Causas	Mecanismo	Consecuencia	Referencias
Suelo	Bajos contenidos de materia orgánica Baja actividad biológica	Condiciones no óptimas de agua, aire y nutrientes Menor ocupación de nichos Menor dinámica predador – presa	Plantas débiles y menos tolerantes al daño por plagas	Altieri y Nicholls (2003) Magdoff y Vans (2000) Villalobos y Núñez (2010)

Tabla 1-1: Continuación.

Componente	Causas	Mecanismo	Consecuencia	Referencias
Plantas	Inadecuados arreglos espaciales y temporales de la vegetación Baja diversidad vegetal Uniformidad genética	Fuentes alimenticias ilimitadas Simplificación biológica Menor población de enemigos naturales Menor interacción planta-polinizador Menor efecto disuasivo sobre las plagas (alelopatía) Pérdida de resistencia ecológica y genética	Escasa diversidad funcional Desequilibrio ecológico incapaz de controlar una plaga	Altieri y Nicholls (2004) Risch (1987) Risch <i>et al.</i> (1983)
Clima	Cambio en los patrones climáticos (temperatura, lluvias)	Incremento de nitrógeno disponible en los tejidos de plantas Alteración en la tasa reproductiva de los insectos Expansión del área geográfica de las plagas Afectaciones a los reguladores naturales de plagas	Plantas con desequilibrios metabólicos Selección natural de insectos Introducción y dispersión de plagas exóticas	Ferro (1987) Risch (1987) White (1984)
Prácticas agronómicas y fitosanitarias	Uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas) Sustitución de variedades nativas por transgénicas Aumento en el uso de equipos de mecanización	Alteración en la tasa reproductiva de los insectos (hormoligosis) Afectaciones a los reguladores naturales de plagas Afectación en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo Alteración en la bioquímica nutricional de las plantas (trofobiosis) Incremento en la implementación de monocultivo a gran escala	Brote y/o resurgencia de plagas principales y/o secundarias Disminución de enemigos naturales Disminución de insectos competidores Aumento en la capacidad de adaptación de los insectos plaga a los pesticidas o al rasgo insecticida del material mejorado	Chaboussou (2004) Gould (1998) Risch (1987)

Para contrarrestar las pérdidas causadas por insectos, se han desarrollado programas de manejo integrado de plagas (MIP) que influenciados por las actuales exigencias del mercado sobre maximización de los rendimientos, eliminación de residuos de plaguicidas y consumo de productos limpios, han contribuido al desarrollo de una perspectiva ecológica para la protección de las plantas, a través de la teoría y la práctica del control biológico (Vásquez, 2008). No obstante, la falta de resultados satisfactorios en condiciones de campo ha hecho que muchos agricultores sigan haciendo uso de plaguicidas como única táctica (Vásquez, 2008). Al analizar esta situación desde la óptica agroecológica, se podría afirmar que el error estratégico del actual MIP, ha sido pretender controlar las plagas y no las causas que las originan, superando el factor limitante (la plaga) a través de la introducción continua de nuevas tecnologías biológicas, químicas o físicas sin previo conocimiento del impacto ecológico que estas tecnologías generan, favoreciendo la susceptibilidad de los sistemas agrícolas al daño por las plagas (Nicholls, 2010; Vásquez, 2008).

El manejo agroecológico de plagas (MAP), tecnología que se fundamenta en el concepto de sistemas socio-ecológicos (arreglo de componentes humanos y biofísicos que funcionan como una unidad) (Gallopín, 2006), ha redimensionado la visión de la sanidad vegetal, al dejar de percibir las plagas como centro del problema a tratar, para convertirlas en indicadores de agroecosistemas disfuncionales (Vásquez, 2008; Villalobos & Núñez, 2010). Su objetivo es entender y atender las causas que provocan los brotes poblacionales mediante la integración de todos los componentes del sistema bajo estudio y generar estrategias que minimicen los costos económicos, ambientales y sociales derivados de la acción y el manejo de estos organismos (Barrera, 2007; Vásquez, 2008; Villalobos & Núñez, 2010). Para alcanzar dicho objetivo el MAP propone diversas alternativas, entre ellas, determinar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas al daño por plagas (Nicholls, 2010).

1.1 El concepto de vulnerabilidad

La vulnerabilidad en su sentido más básico transmite la idea de susceptibilidad o propensión al daño. Ha sido usado ampliamente dentro del contexto del cambio climático, como herramienta para tomar decisiones de manejo en función de los cuatro elementos que integran el concepto, denominados perturbación, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Gallopín, 2006; Gómez, 2001; Luers *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2003). De esta manera a mayor exposición y sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad de un sistema al daño y menor su resiliencia o capacidad de adaptación. (Gallopín, 2006; Gómez, 2001; Luers *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2003). Para el desarrollo de este estudio se empleó la definición de vulnerabilidad propuesta por Gallopín (2006) quien la describe como propensión de un sistema a sufrir transformaciones significativas, consecuencia de su interacción con procesos o acontecimientos externos o internos.

Para Luers *et al.* (2003), a través de un análisis de vulnerabilidad no solo es posible determinar el grado al cual un sistema esta propenso a experimentar un daño debido a una perturbación o conjunto de perturbaciones determinadas, también es posible identificar qué condiciones del sistema limitan o facilitan su capacidad para responder, adaptarse o recuperarse, permitiendo a los tomadores de decisiones aplicar estrategias

de manejo oportunas. Para el caso del MHP y el MAP el concepto de vulnerabilidad es empleado (vagamente) como herramienta para tomar decisiones de manejo, solo que estas decisiones ya no se toman únicamente en función de la densidad de la plaga como sucede en el MIP con el nivel de daño económico (NDE) (Barrera, 2007), sino en función de los cuatro elementos que integran el concepto de vulnerabilidad (perturbación, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación). No obstante, para su aplicación en situaciones particulares se requiere de un adecuado conocimiento y cuantificación de dichos elementos, pues de lo contrario el concepto es inaplicable.

La perturbación es definida por Gallopín (2006) y Gómez (2001) como todo elemento o conjunto de elementos que están fuera de control por parte de un sistema. Según su origen, puede clasificarse de varias formas: a) origen natural, se basan en la dinámica propia de la tierra (geológica, geomorfológica, atmosférica, hidrometeorológica, oceanográfica, entre otras); b) origen sicionatural, expresada a través de fenómenos de la naturaleza pero relacionadas con la intervención del hombre (deslizamientos, avalanchas, entre otras); c) origen biológico, corresponden a fenómenos o procesos orgánicos que pueden ocasionar muerte, enfermedad, daños a la propiedad, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (toxinas, patógenos, entre otras) y d) origen tecnológico, atribuibles directamente a la actividad humana (contaminaciones, incendios, entre otras) (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas [UNISDR], 2009).

La exposición hace referencia al grado de contacto de la perturbación con el sistema. Esta puede medirse en términos de tiempo, modo de sometimiento o de distribución de la perturbación en el sistema bajo estudio (Gómez, 2001; Smith *et al.*, 2000).

La sensibilidad es definida como el grado de afectación del sistema por la perturbación (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2001). Para Smith *et al.* (2000), la sensibilidad de un sistema está determinada por factores intrínsecos tales como los límites fisiológicos de tolerancia, los rasgos ecológicos (por ejemplo, comportamiento) y la diversidad genética. Sin embargo, algunos de estos factores no son fácilmente identificables debido a la escasa información que en ocasiones se tiene de ellos.

La capacidad de adaptación hace referencia a la capacidad del sistema para ajustarse a la perturbación, moderar los daños potenciales, aprovechar las oportunidades o hacer frente a las consecuencias a través de adaptaciones ecológicas (cambios fisiológicos y/o de plasticidad conductual) o evolutivas (selección natural que actúa sobre los rasgos cuantitativos) (IPCC, 2001; Smith *et al.*, 2000). Otros autores utilizan el término resiliencia con un significado parecido: facilidad y rapidez del sistema para recuperarse de la perturbación (Astier *et al.*, 2008; Füssel, 2007). Teniendo en cuenta que la vulnerabilidad es un proceso relativo y dinámico (Gómez, 2001), la capacidad de adaptación de un sistema tendrá éxito, siempre y cuando exista conectividad biogeográfica que permita un hábitat apropiado y tiempo suficiente para permitir los cambios adaptativos (Smith *et al.*, 2000). Para Luers *et al.* (2003) la capacidad de adaptación también hace referencia al potencial de un agricultor para enfrentar una

perturbación a través de la adopción de nuevas prácticas agronómicas que minimicen el grado de exposición y sensibilidad del sistema a una perturbación.

De acuerdo con Vogel *et al.* (2007), la interacción de esos cuatro componentes determina la vulnerabilidad de un sistema. Por lo tanto, aunque diferentes sistemas enfrenten un mismo riesgo, ellos no son igualmente vulnerables. Por ejemplo, al comparar la vulnerabilidad de los habitantes de Miami y un municipio de Honduras frente un mismo huracán, se observa que el número de víctimas en Miami es menor (menor sensibilidad) y su capacidad de recuperación mucho mayor (mayor resiliencia) debido a que en Miami la infraestructura (viviendas, servicios básicos, drenaje, entre otros) tiene mayor capacidad de resistencia, existen mejores sistemas de alerta, información y rehabilitación de servicios básicos (agua potable, energía eléctrica) y además cuentan con seguros que cubren la mayor parte de los daños materiales (Gómez, 2001). Otro ejemplo a citar es un estudio de la Universidad de Stanford en el que se demuestra que el riesgo de desastres por terremotos en la ciudad de Jakarta fue aproximadamente el mismo que en San Francisco, pero significativamente menor que en Tokio. La razón, es que mientras el riesgo en Jakarta se dio como resultado de la alta sensibilidad de la infraestructura, la respuesta insuficiente a las emergencias y la incapacidad de recuperación, el riesgo en San Francisco se debió principalmente a la alta frecuencia de terremotos y el riesgo en Tokio estuvo determinado por la cantidad de personas y estructuras expuestas (United Nations Environment Programme [UNEP], 2002).

Si bien la integración y cuantificación de los elementos exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, contribuyen a la medición de la vulnerabilidad de una manera sólida (Smith *et al.*, 2000), encontrar un método que tenga en cuenta todos los elementos discutidos aquí no es tarea fácil y representa un reto significativo de investigación para cualquier área del conocimiento que desee abordar este tema.

1.2 Métodos para determinar la vulnerabilidad de un sistema.

De acuerdo con UNEP (2002), la vulnerabilidad es un concepto multidimensional, intuitivamente simple de entender pero extremadamente difícil de cuantificar, si no se cuenta con algún criterio claro por el cual pueda medirse. Para Luers *et al.* (2003), la definición de criterios para la cuantificación de la vulnerabilidad es difícil, por el hecho de que ésta no es un fenómeno directamente observable.

Existen una gran variedad de métodos propuestos en la literatura para determinar la vulnerabilidad de un sistema humano, ambiental o ambos (Füssel, 2007). Dichos métodos varían según el país, la cobertura, el número y tipo de variables utilizadas, los métodos de escalado, la ponderación y otros factores metodológicos. En la mayoría de ellas, se involucran análisis estadísticos, modelos matemáticos, desarrollo de indicadores compuestos o el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (UNEP, 2002). La medida de vulnerabilidad más usada por investigadores y entidades gubernamentales, ha sido el uso de indicadores. No obstante, su aplicación ha tenido grandes limitaciones, debido a la considerable subjetividad en la selección de variables y sus pesos relativos,

la disponibilidad de datos en diversas escalas, la dificultad de la prueba o validación de las diferentes mediciones, así como la dificultad de aplicación en diversos entornos (Luers *et al.*, 2003).

Con respecto a la variación de la vulnerabilidad a escala espacial o temporal, la fuerte variación observada a escala local, ha llevado a muchos investigadores a realizar los análisis "basados en el lugar" (Füssel, 2007; Turner *et al.*, 2003). Si bien estos análisis han ofrecido valiosa información sobre una serie de procesos que ayudan a identificar condiciones de vulnerabilidad, a menudo sólo representan hallazgos conceptuales generales que pueden ser difíciles de traducir en políticas o decisiones de manejo en lugares específicos (Luers, 2005).

Según Luers *et al.* (2003) ninguna propuesta metodológica es lo suficientemente completa como para capturar la vulnerabilidad de un lugar, ya que hasta el sistema más simple es tan complejo, que es difícil explicar todas las variables, los procesos y las perturbaciones que lo caracterizan. Por lo tanto, Luers *et al.* (2003) sugieren alejarse de intentar cuantificar la vulnerabilidad de un lugar, para centrarse en la vulnerabilidad de variables respuesta de interés de un grupo particular o unidad de estudio, a través del uso de modelos matemáticos como este:

$V = f\{\text{sensibilidad/estado de la variable de interés con respecto a un umbral de bienestar}\} \text{ exposición,}$

$$V = f\left(\frac{|\partial W / \partial X|}{W/W_0}\right) P_X dX,$$

Dónde:

V es la función de vulnerabilidad

W es una variable de interés o de bienestar humano sobre la que se desea medir la vulnerabilidad (ejemplo, rendimiento, ingresos)

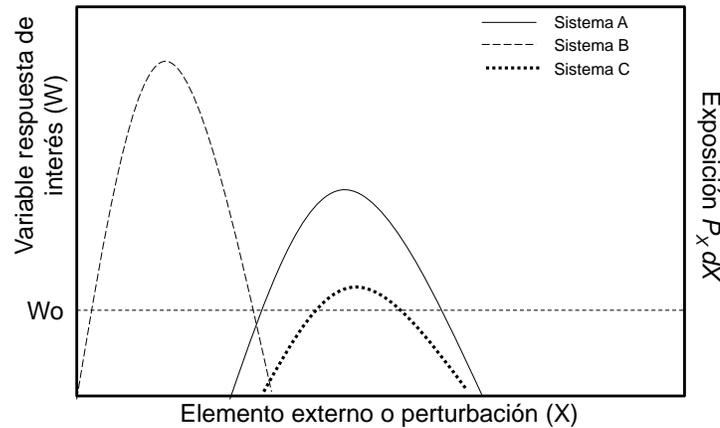
X es el elemento externo o interno, la perturbación o conjunto de perturbaciones de interés asociadas a un cambio ambiental o social (ejemplo, temperatura, fluctuaciones del mercado)

W_0 hace referencia a un umbral de daño. Representa un valor a partir del cual la variable de interés seleccionada genera bienestar o beneficios. Por debajo de este valor se dice que el sistema o unidad de análisis no está funcionando correctamente.

$P_X dX$ es la probabilidad de exposición al elemento externo o perturbación.

En la Figura 1-1 se representa una forma de aplicar la ecuación, donde cierta medida de bienestar (W) es una función parabólica de una variable independiente (X). Aquí pequeños cambios en los valores de sensibilidad o exposición a la perturbación, pueden cambiar la proximidad relativa del sistema o unidad de análisis al umbral de daño (W_0) y por lo tanto, cambiar el grado de vulnerabilidad al daño. Es así como a mayor proximidad al umbral, mayor es la vulnerabilidad del sistema o unidad de análisis en estudio.

Figura 1-1: Representación gráfica de la ecuación de vulnerabilidad propuesta por Luers *et al.* (2003)



Revisiones hechas por Füssel (2007) y Luers *et al.* (2003) dan cuenta de otros métodos en los que también se ha propuesto modelar la relación entre una variable respuesta de interés y un conjunto específico de perturbaciones, a través del uso de medidas genéricas tales como “la variabilidad de una variable respuesta” o “la probabilidad de que una variable de interés cruce un umbral”. La principal ventaja de estos métodos es que la forma funcional de medir la vulnerabilidad genéricamente sigue siendo la misma a pesar de que las variables y los factores de estrés seleccionados están propensos a cambiar con el tiempo y el espacio, dando cambios en la vulnerabilidad relativa.

Con base en la información anterior, es posible afirmar que los análisis de vulnerabilidad ideales son aquellos que consideran la totalidad del sistema tanto humano como ambiental; sin embargo, esto no es realista. La vulnerabilidad requiere una evaluación “reducida”, pero que incluya el carácter sistémico más amplio del problema (Luers *et al.*, 2003). Para ello, los marcos metodológicos propuestos por Astier *et al.* (2008), Barrera *et al.* (2007) y Turner *et al.* (2003) pueden servir como guía, ya que su recomendación general es evaluar los sistemas complejos a través de los siguientes pasos:

- Delimitar el sistema bajo estudio mediante la selección de los componentes a evaluar y la delimitación de escalas espaciales y temporales con respecto a las interacciones a estudiar.
- Describir los aspectos más relevantes del sistema delimitado mediante recolección de información socioeconómica, ambiental y biofísicas de los sistemas.
- Definir indicadores o variables estratégicas a evaluar.
- Medir, integrar y monitorear las variables o indicadores seleccionados a través del diseño de herramientas de medición y análisis apropiadas.
- Presentar conclusiones y recomendaciones para quienes toman decisiones.

1.3 Métodos para determinar la vulnerabilidad de los agroecosistemas al daño por plagas

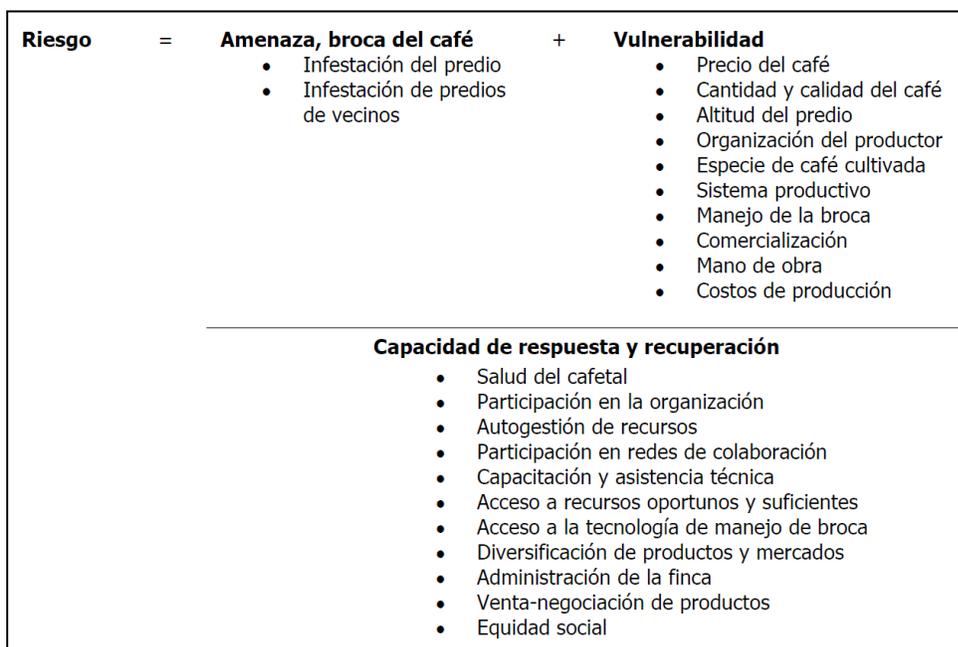
Teniendo en cuenta que investigar un sistema complejo, significa estudiar un “trozo de la realidad” con todos sus aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos (García, 2006), el estudio de las plagas según Barrera (2007), no debe limitarse a estudios específicos sobre su biología, o control, sino también a establecer las relaciones causales entre las plagas y otros componentes del sistema.

Con respecto a su cuantificación, existen en la literatura métodos o marcos conceptuales con los cuales se ha buscado determinar la vulnerabilidad de los agroecosistemas al daño por plagas y sus posibles causas. Uno de ellos es el propuesto por Fraser (2003), en el cual se integran el marco de “El derecho” de Sen (1983) y el modelo “Panarquía” propuesto por Gunderson y Holling (2002). El objetivo de esta propuesta es identificar con el marco de “El derecho” las razones socioeconómicas por las que una persona o grupo puede llegar a ser dependientes de sistemas ecológicos y vulnerables al hambre; y con el modelo de “Panarquía” buscan caracterizar la vulnerabilidad de los sistemas ecológicos a una perturbación, basados en la conectividad, riqueza y diversidad de los ecosistemas.

Para Fraser (2003), la aplicación de dicho método sobre los agroecosistemas que se desarrollaron en Irlanda antes de la hambruna de la papa, originada por el patógeno *Phytophthora infestans* en 1845, permitió evidenciar una fuerte relación entre vulnerabilidad, sociedad humana y condiciones ambientales. En este evento se evidenció cómo las fuerzas sociales y económicas hicieron a la población irlandesa dependiente de la papa y vulnerable a cualquier cosa que interrumpiera este cultivo. También ilustra cómo el manejo agronómico hizo al cultivo de la papa en sí, vulnerable a un brote de plagas. Algunas de las características de vulnerabilidad identificadas por Fraser (2003) fueron: las comunidades tenían pocas oportunidades de participar en la economía de mercado, la población rural tenía pocas opciones en los tipos de cultivos a sembrar, los campos de cultivo estaban muy juntos, la biodiversidad era baja (los clones de papa sembrados tenían poca diversidad genética y eran susceptibles a la pudrición causada por el patógeno) y la gran cantidad de biomasa generó una gran exposición al patógeno. Una condición que no fue tenida en cuenta por Fraser (2003) en su análisis, fue la condición climática. Aunque *Ph. infestans* llegó a Irlanda a mediados de 1800, este patógeno permaneció relativamente inactivo hasta el verano de 1845. En ese verano el clima cambió repentinamente de muy caliente a muy húmedo, sombrío y con fuertes lluvias diarias; condición que benefició el ciclo de vida del patógeno, al favorecer la germinación indirecta de sus esporangios, la formación de estructuras infectivas llamadas zoosporas (5 a 10 por esporangio) y su dispersión en pocos días (Dando, 2012). Este ejemplo cuyas consecuencias políticas y sociales son ampliamente conocidas, ilustra la necesidad de medir los cuatro elementos que integran un análisis de vulnerabilidad para enfrentar de manera integral el manejo de una perturbación en un cultivo, pero la omisión por el autor, del papel crítico del clima, también ilustra la dificultad para recoger en un solo marco rígido y en forma precisa, todos los factores que interactúan en un agroecosistema para tener plantas menos vulnerables al ataque de plagas y enfermedades.

Otro método propuesto es el de Barrera *et al.* (2007), quienes incorporan el concepto riesgo – vulnerabilidad, proveniente de la gestión de riesgo de desastres, en la toma de decisiones para el manejo de plagas bajo el enfoque holístico. La aplicación de este marco conceptual se ilustra para el caso de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Chiapas México, donde definieron el objeto de estudio con la pregunta “¿Cuáles son los principales problemas que limitan producir el aromático grano de manera sustentable?”. Al abordar esta pregunta, evidenciaron que el subsistema “plagas y enfermedades” era uno de los principales limitantes. Para manejarlo fue necesario estudiar y resolver otros subsistemas como la organización de productores, la capacitación y la asesoría técnica. Adicionalmente, el riesgo que representaba el insecto para los productores lo expresaron en función de tres elementos: la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta o recuperación, donde los productores de café estarán en mayor riesgo de tener pérdidas económicas en la medida que la amenaza y la vulnerabilidad son mayores y su capacidad de respuesta y recuperación es menor (Figura 1-2).

Figura 1-2: Elementos y variables que participaron en la definición del riesgo que representa la broca a los productores de café en Chiapas, México (Barrera *et al.*, 2007).

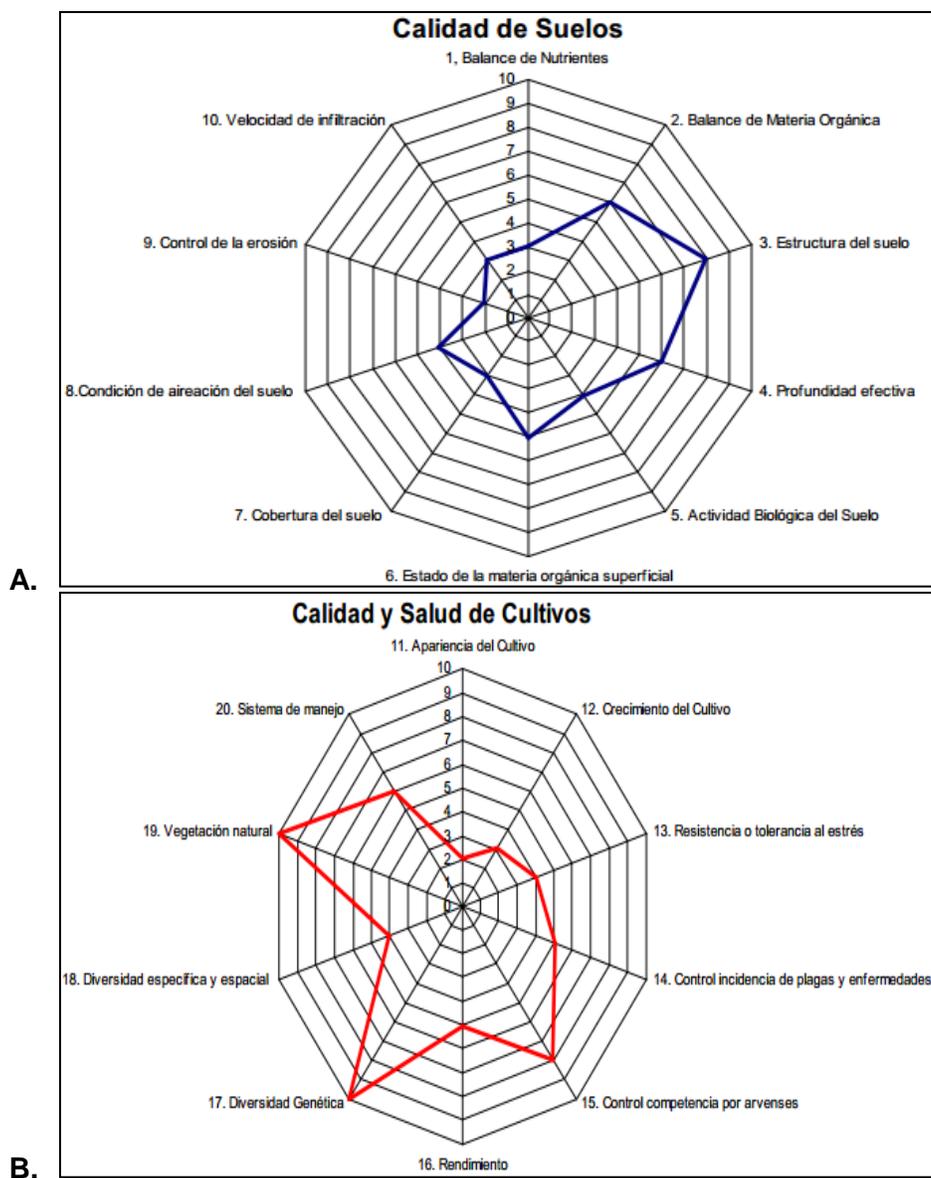


Aunque en este estudio se identificaron y priorizaron las variables que describen los elementos amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta o recuperación, no se definieron los indicadores ni los procedimientos a través de los cuales se podrían medir dichas variables.

Finalmente, para Nicholls (2010) y Villalobos y Núñez (2010) la mejor forma de abordar el tema de vulnerabilidad a plagas es considerando estos organismos como indicadores de agroecosistemas disfuncionales, pues de esta manera la toma de decisiones de manejo estará enfocada en recuperar el equilibrio entre los diferentes elementos que conforman

un sistema. En este sentido, el método propuesto por Pérez (2010) podría ser de utilidad. Dicho método consiste en valorar la calidad del suelo y la salud de los cultivos a partir de 20 indicadores. Una vez medidos e integrados los indicadores, los agricultores pueden visualizar el estado de sus cultivos en una escala de 1 a 10 observando que atributos del suelo o de las plantas “andan bien” (valores altos) o “mal” (valores bajos) en relación a un umbral establecido por ellos mismos y a partir de allí generar alternativas de manejo que minimicen por ejemplo la vulnerabilidad de los cultivos al daño por plagas (Figura 1-3).

Figura 1-3: Representación gráfica de los indicadores “calidad de suelos” y “salud de los cultivos” usados como referente para identificar posibles causas de vulnerabilidad al daño por plagas (Pérez, 2010). **A.** Calidad de suelos; **B.** Salud de los cultivos.



Al analizar todos los métodos antes mencionados, es posible evidenciar que para cuantificar la vulnerabilidad de un sistema al daño causado por plagas o al menos identificar los elementos que la favorecen, es preciso centrarse en la delimitación del sistema bajo estudio, identificación de posibles causas de vulnerabilidad y variables a medir, así como en explorar herramientas de medición y análisis que permitan materializar los elementos exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, ajustarlos a las características específicas de cada situación y que sean lo suficientemente robustas y sensibles como para determinar interacciones multitróficas.

Con el fin de identificar posibles causas de vulnerabilidad de las fincas productoras de mora del Oriente al daño por *E. colombianus* se analizaron aspectos socioeconómicos, ambientales y biofísicos de la producción de mora a escala mundial, nacional y local, así como del insecto *E. colombianus*, las cuales describen los elementos perturbación, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación para este caso particular.

2. Situación actual de la producción de mora mundial, nacional y local y descripción de la perla de tierra colombiana como limitante fitosanitario

2.1 Producción mundial

En los últimos 20 años las importaciones frutícolas han aumentado su participación dentro de la importación mundial de alimentos, debido a la creciente valoración social y científica de las propiedades nutricionales y funcionales de las frutas (Miranda, 2011). A partir de 2005, el mercado mundial de fruta fresca, incluida la fruta mínimamente procesada (congelada, deshidratada y preservada), registró un crecimiento del 37,2%. Los principales mercados importadores son Alemania, Estados Unidos, Federación Rusa, Holanda y Reino Unido (Miranda, 2011).

Los países en desarrollo contribuyen con cerca de 98% de la producción mundial de frutas tropicales, mientras que los países desarrollados absorben el 80% del comercio mundial de importación (Miranda, 2011). En 2010, las principales regiones productoras fueron Asia y el Pacífico (56%), América Latina y el Caribe (32%) y África (11%); Los Estados Unidos, Europa y Oceanía representaron el 1% restante de la producción mundial. El mango (*Mangifera indica* L.) es la principal variedad de fruta tropical que se produce en el mundo, seguido de la piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.), la papaya (*Carica papaya* L.) y el aguacate (*Persea americana* Mill.) (Miranda, 2011). La mora (*Rubus* spp.) se ha convertido en una fruta común en los canales de comercialización de Norte América y la Unión Europea (U.S. Agency for International Development [USAID] - Programa Más Inversión para el Desarrollo Alternativo Sostenible [MIDAS] - Acción Social, 2009).

La mora conocida internacionalmente como “blackberry” es una fruta o baya de la familia Rosaceae que se le asigna botánicamente al género *Rubus* (The Plant List, 2013). Se encuentra distribuida en África, América, Asia y Europa (Alvarado, 2002). De ella existen 331 especies descritas y aceptadas mundialmente (The Plant List, 2013), constituyéndose en uno de los géneros de mayor diversidad genética del reino vegetal (Alvarado, 2002). Según su hábito de crecimiento, la planta puede ser de tipo erecta, semi-erecta o rastrera (Strik *et al.*, 2007). Los humanos la han empleado como cerca viva, planta medicinal o fuente de alimento saludable desde hace más de 2.000 años (USAID – MIDAS – Acción Social, 2009).

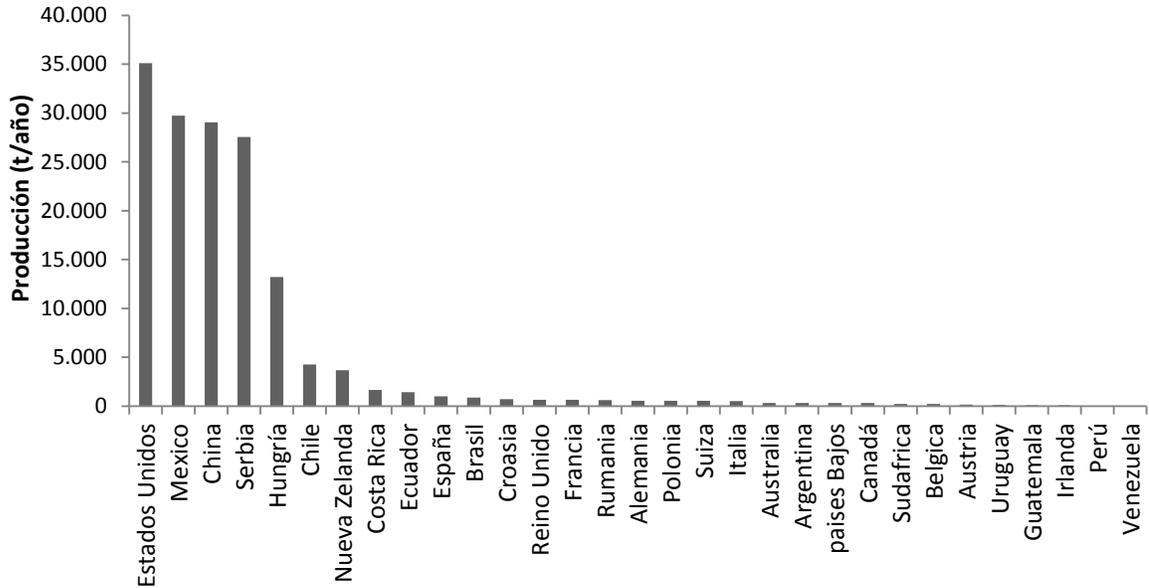
Los cultivos de mora en el mundo se localizan en zonas templadas y en tierras altas del trópico (USAID – MIDAS – Acción Social, 2009). Entre 1995 y 2005 se estimó un crecimiento del 44% de la superficie plantada comercialmente con mora (Strik *et al.*, 2007). Este incremento en área se da gracias a una combinación de factores que incluyen cultivares mejorados, esfuerzos de comercialización, disponibilidad de fruta y aumento general del consumo de bayas en muchos países, especialmente como fruta fresca. Hasta el 2005 el área mundial plantada comercialmente como mora fue de 20.035 ha (Tabla 2-1) sin incluir la producción de moras silvestres (entre ellas *Rubus glaucus*), la cual hizo una importante contribución a la producción mundial con 8.000 ha y 14.837 t cosechadas provenientes principalmente de Chile, Ecuador, México, Rumania y Venezuela, siendo el principal exportador Chile (Strik *et al.*, 2007).

Los principales países productores de mora comercial para en 2005 se observan en la Figura 2-1. Las variedades más cultivadas provienen de las especies *Rubus occidentalis* L. o de hibridaciones con *Rubus ideaus* L. (USAID – MIDAS – Acción Social, 2009). Para el año 2015 se espera que el área sembrada en el mundo sea de 27.032 ha. Las proyecciones para el mayor crecimiento se esperan en Rumania (900%), Polonia (200%), México (117%), Chile (76%), Hungría (50%), China (42%) y los Estados Unidos (20%) (Strik *et al.*, 2007).

Tabla 2-1: Áreas cultivadas comercialmente con mora y producción mundial en el año 2005 (Strik *et al.*, 2007).

Región	Área plantada (ha)	Producción (t)
Europa	7.692	47.399
América del Norte	7.159	65.171
América central	1.640	1.753
América del Sur	1.597	7.033
Asia	1.550	23.905
Oceanía	297	4.023
África	100	220
Total mundial	20.035	154.644

Figura 2-1: Principales países productores de mora comercial en 2005 (Strik *et al.*, 2007).



En relación a la tecnología empleada en los sistemas de producción mundial de mora, éstos difieren según los métodos históricos de producción, cultivo y cosecha de cada país (Strik *et al.*, 2007). No obstante, en los últimos 10 años se han dado grandes cambios, entre ellos, tendencia hacia plantaciones de mayor densidad, mayor uso de máquinas cosechadoras para los mercados de procesados, mayor uso de fertilización foliar, empleo del material de podas como capa vegetal, uso de líneas de empaque con baño de agua, sistemas de producción orgánica (1.550 ha en Costa Rica, 893 ha en Sur América (la mayoría en Ecuador), 73 ha en Norte América (la mayoría en los Estados Unidos), y 11 ha en Europa), adopción de normas EurepGAP e ISO 22000 y empleo de túneles o invernaderos para proteger los cultivos del clima, de problemas fitosanitarios, o para adelantar o retrasar la fructificación (Strik *et al.*, 2007). Los principales limitantes para producir mora en el mundo se presentan en Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Principales limitantes para la producción comercial de mora en el mundo (Adaptada de Strik *et al.*, 2007).

Limitantes	Países afectados
Necesidad de cultivares más resistentes al frío y de buena calidad para garantizar la estabilidad de los mercados.	Alemania, Estados Unidos (Oregon), Hungría, Polonia, Rumania, Serbia.
Lluvias en la época de cosecha.	Costa Rica, Estados Unidos (Arkansas, Georgia).
Manejo de malezas.	Todas las regiones productoras
Pérdidas de producción causadas por enfermedades e insectos plaga (varían según la región y cultivar de mora sembrado).	Todas las regiones productoras
Drupas blancas, debido a los rayos ultravioleta.	Estados Unidos
Reversión de color de negro a rojo.	Brasil, algunas regiones de Estados Unidos, México.
Mano de obra costosa y/o escasa.	Chile, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Rumania.
Competencia de otras regiones de producción.	Chile, Costa Rica, Estados Unidos.
Bajos precios en el mercado para el cultivador de mora.	Estados Unidos, México.
Alto costo en el cumplimiento de la legislación medioambiental local; manejo de aguas subterráneas; invasión de la zona urbana; falta de tierras adecuadas y alto costo de la tierra.	Nueva Zelanda.
Manejo de químicos o residuos de plaguicidas en la fruta exportada.	China, México
Incapacidad para cumplir con los requisitos para la certificación orgánica EurepGAP.	Costa Rica
Incapacidad para mostrar la trazabilidad o la fuente de la fruta en los mercados procesados.	Chile
Falta de organización, apoyo técnico, plantas certificadas, e infraestructura comercial.	Costa Rica, Venezuela
Falta de procesadores para manejar el aumento de producción.	Brasil, Venezuela
Necesidad de cultivares con mejor sabor o mejor adaptados a la zona local.	Muchas regiones
Falta de sensibilización de los consumidores de moras por la producción limpia.	América del Sur
Necesidad de ampliar los mercados.	China, Estados Unidos, México.

Para superar las limitantes antes mencionadas, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] advierte que deben generarse programas de desarrollo científico-tecnológico con alta demanda de innovación. Para ello, los países necesitan adoptar una perspectiva integral de la cadena de suministros, desde la semilla

hasta la mesa, mejorando las prácticas de producción y distribución, ya que así se logrará incrementar la oferta y generar ingresos extras para los productores rurales y para otros pequeños operadores de la cadena (Miranda, 2011).

2.2 Producción nacional

2.2.1 Los cultivos de mora en Colombia

Del mundo, Colombia es uno de los países con mayor oferta de suelo y clima para el cultivo de frutas tropicales durante todo el año (Plan Frutícola Nacional [PFN], 2006). En las últimas cuatro décadas el área sembrada con frutas expresa una dinámica de constante aumento. Esto representa para el país una importante fuente de crecimiento de la agricultura, de generación de empleo rural y de desarrollo con equidad para las distintas regiones (Miranda, 2011). De acuerdo con el PFN (2006), el sector frutícola en Colombia está conformado en un 92,4% por pequeños productores que usan poca tecnología, en un 5,3% por aquellos que usan algo de tecnología y solamente en un 2,3% por productores ó empresarios con cultivos tecnificados.

El gobierno nacional como propuesta de planificación de la fruticultura colombiana creó las denominadas “organizaciones de cadena por producto” cuyo objetivo es la modernización y la especialización de las estructuras productivas y el fortalecimiento del sistema sanitario y fitosanitario como elementos fundamentales para garantizar el acceso real de los productos colombianos a los mercados internacionales (Miranda, 2011). 15 productos entre ellos la mora (*Rubus glaucus* Benth.) hacen parte de esta propuesta para el periodo 2006-2020 (Miranda, 2011; PFN, 2006).

La mora es considerada como la tercera especie transitoria más importante de Colombia (PFN, 2006). La principal variedad cultivada es mora de Castilla *Rubus glaucus* Benth. (Figura 2-2), por su gran adaptabilidad a las condiciones climáticas del país. Se encuentra distribuida desde el Putumayo hasta el Magdalena Medio y se siembra entre los 1.600 y 2.400 msnm (USAID – MIDAS – Acción Social, 2009). Tiene como centro de origen la zona andina tropical alta de América y se localiza principalmente en países como Colombia, Ecuador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, México, Panamá y Salvador (Franco y Giraldo, 2001). Su fruto es un agregado de drupas pequeñas, cada una con una semilla en su interior. Al madurar el fruto se torna rojo oscuro o vino tinto y se consume principalmente preparado o procesado debido a su bajo registro en grados brix que le determina un sabor ácido. Se obtiene de una planta perenne, arbustiva, de porte semierecto constituida por tallos (con o sin espinas) que emergen de la base de la planta; por lo general se presentan tallos machos, hembras y látigo que pueden alcanzar más de dos metros de altura; presenta floración y fructificación permanente, observándose picos de producción cada cinco o seis meses (Angulo, 2003; Franco y Giraldo, 2001; USAID – MIDAS – Acción Social, 2009). Otras variedades cultivadas en el país son la mora negra *Rubus bogotensis* Kunth, la mora de páramo *R. giganteus* Benth., la mora pequeña *R. megalococcus* Focke y la mora grande *R. nubigenus* Kunth (USAID – MIDAS – Acción Social, 2009).

Figura 2-2: *Rubus glaucus*, principal especie de mora cultivada en Colombia. Fotos por Elizabeth Meneses O.



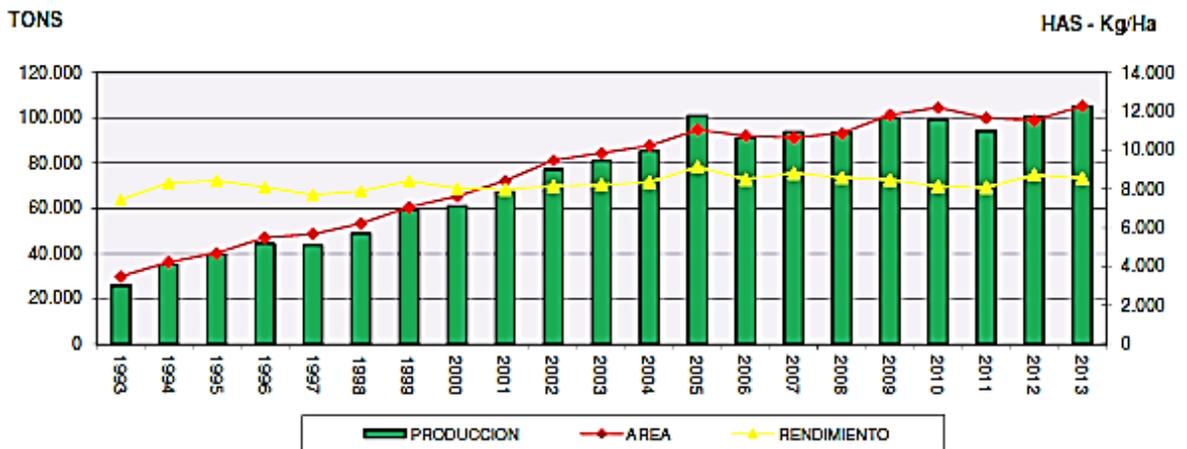
La producción de mora (*Rubus glaucus*) en Colombia ha sido un renglón importante dentro de la tradición frutícola del país, donde el productor predominante es el de economía campesina. Para este tipo de productor, el cultivo de mora se constituye en su principal fuente de ingresos económicos, ya que una vez el cultivo inicia su etapa productiva, genera ingresos semanales que contribuyen en un 70% a la economía familiar, creando arraigo en las zonas productoras, disminuyendo el desplazamiento. La rentabilidad del cultivo está muy asociada al uso de mano de obra familiar, donde las mujeres juegan un papel fundamental en la preparación del material de siembra y participan activamente en la cosecha y comercialización de la producción (Tafur, 2006).

Los cultivos de mora en Colombia se encuentran localizados en la región Andina (Figura 2-3), principalmente en zonas de ladera (Angulo, 2003). De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la producción de mora se ha venido incrementando durante los últimos 20 años, debido a un aumento en la demanda y en el área cosechada (Figura 2-4) (Escobar, 2014). Para el año 2013, el área de siembra nacional se estimó en 12.281 ha, con una producción de 105.218 t/año, una generación de 3,4 empleos por ha y un rendimiento de 8,5 t/ha/año (Escobar, 2014), el cual se ha mantenido constante en los últimos 20 años (Figura 2-4). De los 20 departamentos productores los mejor posicionados son en orden de importancia Cundinamarca, Santander, Antioquia y Huila, con cerca del 63% en área y el 69% de la producción nacional (Escobar, 2014).

Figura 2-3: Región andina (color café), zona productora de mora en Colombia y principales de partamentos productores (adaptado de Escobar, 2014). Imagen tomada de Wikimedia Commons (2014)



Figura 2-4: Área, producción y rendimientos de la mora en Colombia entre 1993 y 2013 (Tomado de Escobar, 2014)



Se estima que aproximadamente el 55% de la producción nacional se ofrece en fresco en supermercados y plazas de mercado para el consumo de los hogares, mientras que cerca del 10% se vende a la agroindustria. Una mínima proporción de la producción se exporta procesada o congelada en razón a la alta perecibilidad que presenta la fruta en fresco. Para el mercado institucional (hoteles, colegios, restaurantes, hospitales) se destina cerca del 5% de la fruta y las pérdidas postcosecha se sitúan alrededor del 30% (USAID – MIDAS – Acción Social, 2009).

En cuanto a los precios en el mercado, estos son inestables, pues dependen de la oferta y la demanda, el valor agregado, además de factores como la especulación por parte de los comercializadores, el incremento en los precios de los insumos, el transporte y la mano de obra (Escobar, 2014; PFN, 2006; USAID – MIDAS – Acción Social, 2009). Para el año 2013, el costo de producción por kg de fruta fue de \$1096, su precio en el mercado industrial fue de \$1300/kg y en fresco de \$2000/kg. Aunque para este mismo año se exportó fruta a Australia, España, Estados Unidos, Panamá, Reino Unido y Rusia por un valor de USD\$2,68/kg, esta no ha alcanzado el nivel esperado, debido a varias limitaciones, dentro de las que se destacan: aumento en la utilización de insumos agrícolas no permitidos por los mercados internacionales (trazas de pesticidas), susceptibilidad fitosanitaria y bajo contenido de grados Brix (Escobar, 2014).

En cuanto a la tecnología en los sistemas de producción nacional de mora, las etapas de: producción del material vegetal, preparación del terreno, siembra, manejo y sostenimiento del cultivo, cosecha y comercialización varían según la región. No obstante, uno de los principales obstáculos para la mayoría de zonas productoras del país es la dependencia a un número reducido de variedades y la baja calidad genética del material de siembra. Como consecuencia de esto, se diseminan algunas enfermedades y plagas; las plantaciones establecidas no son homogéneas, lo que dificulta el manejo de los cultivos y el acceso a mercados (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2013; Miranda, 2011).

Miranda (2011) también afirma que “la nueva agricultura migratoria”, caracterizada por la explotación de áreas agrícolas nuevas (ubicadas en zonas de sotobosque, bosques húmedos o con trayectoria productiva tradicional) con cultivos alternativos y aparentemente promisorios como aguacate (*Persea americana* Mill.), granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.), gulupa (*Passiflora pinnatistipula* Cav.), lulo (*Solanum quitoense* Lam.), mora (*Rubus glaucus* Benth.), tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) y uchuva (*Physalis peruviana* L.), ha sido un grave problema para la fruticultura del país. En estas nuevas explotaciones se emplean prácticas altamente contaminantes que deterioran el ambiente, bien sea por el alto uso de insumos fertilizantes y plaguicidas de síntesis química, o por aumento en la incidencia de patógenos del suelo. Dichos factores han originado una agricultura que “explota, deteriora, contamina y migra”, en ocasiones con grandes inversiones por parte de los productores y grandes fracasos (Miranda, 2011).

Con la creación de la Cadena de la mora, la Asociación Hortofrutícola de Colombia [Asohofrucol] (2010) afirma que el sector morero ha dado un gran paso en su propósito

de comenzar a resolver de manera integral los principales problemas que la aquejan, los cuales son identificados por Escobar (2014) como: dispersión de la producción, deficientes organizaciones de productores, excesiva intermediación, descoordinación de entidades del Estado, falta de recurso humano capacitado, falta de investigación, transferencia, capacitación y fomento, falta de oportunidades de mercados nacionales e internacionales, insuficiente crédito y asistencia técnica, desinterés en el manejo del cultivo más limpio por parte de los agricultores, aumento de enfermedades y mala calidad de la fruta por exceso de lluvias. Por lo anterior Escobar (2014) afirma que la cadena buscará intervenir el sector morero mediante un sistema de alianzas productivas que permitan producir mora de una forma económica, social y ambientalmente sostenible. Las medidas para lograrlo son: financiamiento y cobertura de riesgos; investigación, innovación y transferencia de tecnología; manejo sanitario y fitosanitario y desarrollo de mercados (Escobar, 2014).

2.2.2 Los cultivos de mora en el departamento de Antioquia – Colombia

Antioquia se caracteriza por una gama muy diversa de actividades agropecuarias, agroindustriales, industriales, mineras, comerciales, recreativas y de turismo, sin embargo, la producción agropecuaria es el sector primario de la economía en este departamento, ya que combina la producción parcelaria de subsistencia, que es la predominante, con actividades agrícolas de realce nacional tales como el cultivo y comercialización de hortalizas, frutales, tubérculos y leguminosas. Adicionalmente, junto a la minería, la producción agropecuaria es el sector que más empleo genera ya sea de manera directa en la producción, o de manera indirecta en el transporte, la industria, el mercadeo mayorista y minorista que se hace de él. Otro sector importante en la economía del departamento son los cultivos agroindustriales, en especial la producción de flores para exportación, los cuales representan el 80% del total cultivado en Antioquia y el 10% de la producción nacional (Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño [CCOA], 2014; Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [CORNARE], 2014; Plan Estratégico del Oriente Antioqueño [PLANEAO], 2009).

La producción frutícola en Antioquia ha presentado una tendencia creciente en los últimos años. Para el año 2004 la producción fue de 204.174 toneladas de fruta. La mayor participación en área sembrada para el departamento la presentó el tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) con un 21,63% del total del área, seguido del mango (*Mangifera indica* L.) 18,62%; aguacate (*Persea americana* Mill.) 11,45%; bananito (*Musa paradisiaca* L.) 8,78%; naranja valencia (*Citrus sinensis* Osbeck) 7,41% y mora (*Rubus glaucus* Benth.) 7,29% (PFN, 2006).

Antioquia es el tercer departamento con mayor producción de mora en el país (PFN, 2006). En el Oriente Antioqueño, específicamente en la subregión del altiplano (Figura 2-5), el cultivo de mora resurgió tras la caída de precios y altos costos de producción de cultivos tradicionales como la papa, el frijol, el maíz, el fique y a los buenos precios que aparentemente se venían dando para frutas como fresa y mora, convirtiéndose para los pequeños productores de la región en una de sus principales actividades económicas (Fundación Codesarrollo, 2007). Actualmente existen cerca de 2.876 productores de

mora, que en su mayoría cultivan el ecotipo mora de Castilla, con un área sembrada a 2013 de 1.430 ha, un volumen de producción de 13.728 ton/año y rendimientos promedios de 9,6 ton/ha/año (Escobar, 2014). Los municipios con mayor producción son La Ceja y Envigado, los cuales representan el 53% de la producción total del departamento (Escobar, 2014). Aunque en el Oriente Antioqueño, este frutal es sembrado en pequeñas parcelas, su resurgimiento ha conllevado a siembras sin planificación y sin conocimiento de las labores agronómicas del cultivo, causando disminuciones en los rendimientos de producción entre 7 y 8 kg por planta. Este hecho induce a los productores a realizar aplicaciones indiscriminadas de agroquímicos, que conlleva al aumento de los costos de producción y a la no preservación del medio ambiente y la salud de los productores y consumidores (Fundación Codesarrollo, 2007).

Actualmente, algunas de las principales asociaciones de productores del departamento (MORAS DE ORIENTE, ASPROMOEN, ASOAGRICULTORES, APROGUARNE, FRESAS Y FRUTOS) (Escobar, 2014), manifiestan tener muchas limitaciones para la producción de mora. Algunas de ellas (en orden de importancia) son: problemas fitosanitarios, alto precio de los insumos, labores culturales, falta de capital de trabajo, condiciones agroclimáticas de los últimos años y bajos precios de la mora en el mercado (Ríos *et al.*, 2010). La cadena de la mora, espera superar estas limitaciones con las estrategias ya mencionadas anteriormente por Escobar (2014).

2.2.3 Exploración inicial en búsqueda de condiciones asociadas con la presencia de *Eurhizococcus colombianus* Jakubski en fincas productoras de mora (*Rubus glaucus* Benth.) del Oriente Antioqueño

Entre los meses de septiembre y noviembre de 2012, se realizaron 22 salidas de campo a la zona del altiplano Oriente Antioqueño y se visitaron 35 fincas productoras de mora en los municipios de El Retiro, Envigado, Guarne, Granada, La Ceja, La Unión, Rionegro y San Vicente, de las cuales seis fincas fueron seleccionadas para la realización de este estudio, por presentar cada una de ellas al menos dos lotes cultivados con mora (*Rubus glaucus*) de la misma edad y ecotipo, donde uno de ellos registraba la presencia del insecto perla de tierra colombiana en las raíces de las plantas y el otro no, evitando así efectos indeseables por diferencias en altura u otros factores de confusión. Esta sección presenta los análisis de la información recogida en esas excursiones, así como la información existente sobre la presencia y manejo de *Eurhizococcus* spp. en moras u otros cultivos. El área de influencia comprendió fincas entre los 06°17'39,7" (Guarne – Antioquia) y 05°57'33,7" (La Ceja – Antioquia) de latitud norte (Figura 2-5).

Figura 2-5: Ubicación geográfica de la subregión altiplano – Oriente Antioqueño y de las fincas productoras de mora seleccionadas para este estudio. **A.** Colombia. **B.** Antioquia. **C.** Subregión Altiplano (1. Finca La Frijolera (Guarne); 2. Finca La Selva (Rionegro); 3. Finca El Encanto (La Ceja); 4. Finca La Torre (El Retiro); 5. Finca El Reposo (Envigado); 6. Finca Campo Alegre (El Retiro)). Imágenes obtenidas a través de Google Earth, (2015).



De acuerdo con Jaramillo (1995), en el altiplano Oriente Antioqueño el rango altitudinal es de 1550 – 2570 msnm. La zona presenta precipitaciones anuales entre 1400 - 3125 mm, una condición de exceso de humedad disponible en el suelo y bajas temperaturas promedio (16°C). Su zona de vida, bosque húmedo montano bajo (bh- MB) y bosque muy húmedo montano Bajo (bmh-MB), se caracteriza por poseer topografía ondulada con ligeras praderas (pendientes que van desde menores de 3% hasta mayores de 75%, siendo las más frecuentes entre 12 y 25%) (Jaramillo, 1995). En la zona predominan suelos del orden Andisol (clasificados de manera general por Jaramillo (1995) en tres grandes grupos Melanudand, Fulvudand y Hapludand) los cuales se caracterizan por ser de origen volcánico de diferente grado de evolución, predominantemente ácidos, con alta capacidad de intercambio aniónico, alta fijación de fosfatos, altos contenidos de materia orgánica, bajos contenidos de bases intercambiables, desbalance entre las bases y con media a baja fertilidad natural (Jaramillo, 1995).

Luego de visitar las fincas y hablar con los productores de mora se observó el siguiente patrón de producción:

Las seis fincas se encuentran ubicadas entre los 2100 y 2390 msnm, presentan generalmente buenas vías de acceso y paisajes montañosos. Cinco de los seis productores entrevistados son los propietarios de las fincas, todos ellos hijos de agricultores. Las funciones que desempeñan en las fincas son principalmente administrativas y de manejo de cultivos, su nivel de escolaridad es hasta primaria y en dos de ellos hasta secundaria, su experiencia en el cultivo de mora es igual o mayor a 10 años.

Con respecto al nivel de organización, no todos los productores pertenecen a asociaciones ya que en algunas regiones éstas se han acabado. Los que si pertenecen lo hacen porque encuentran más alternativas de comercialización y beneficios económicos (préstamos). Todos los productores han recibido alguna vez capacitación en el cultivo de mora a través de asociaciones de productores, UMATAS o entidades como universidades y centros de investigación de la región principalmente en temas como identificación y manejo de plagas y enfermedades. Según ellos, esto ha incidido favorablemente en la rentabilidad de sus cultivos y en la conservación del medio ambiente ya que han aprendido a racionalizar el uso de agroquímicos. Solo han recibido asistencia técnica aquellos que pertenecen a asociaciones de productores. La mano de obra empleada es contratada y familiar.

En cuanto a las características biofísicas de las fincas se observa que la mayoría de ellas tienen aproximadamente dos o tres hectáreas, la actividad económica principal es agrícola con un manejo convencional de los cultivos. El cultivo principal es la mora, del cual cada finca siembra generalmente una sola variedad y ecotipo. Estos cultivos ocupan entre el 25 - 50% del suelo en las fincas. Los suelos en que han establecidos estos cultivos fueron empleados anteriormente para el cultivo de hortalizas, papa criolla, maíz, café, mora, pasto o simplemente eran rastrojo. Los cultivos secundarios son empleados para el consumo familiar y se caracterizan por ser frutales de clima frío moderado (aguacate *Persea americana* Mill., brevo *Ficus carica* L., fresa *Fragaria vesca* L., lulo *Solanum quitoense* Lam. y tomate de árbol *Solanum betaceum* Cav), y cultivos

papa criolla *Solanum phureja* Juz. & Bukasov. Como cultivos aledaños a las fincas se observan papa criolla, frutales, pastos y flores para exportación, todos manejados bajo una orientación convencional. En todas las fincas hay presencia bosques naturales, los cuales usan como cerca viva, barrera cortavientos, para obtener madera o para proteger los nacimientos de agua. Ninguno de los productores conoce el efecto que pueden tener estos bosques en la dinámica poblacional de los insectos benéficos o plagas.

Los arreglos espaciales de los elementos del paisaje para cada finca se observan en la Figura 2.6. En estas imágenes satelitales obtenidas a partir de coordenadas geográficas en Google Earth, se observa como las fincas presentan un patrón general en cuanto al entorno de los cultivos de mora con presencia de perla de tierra colombiana. En estos lotes al menos uno de sus lados está rodeado por bosque natural, cultivos de mora de la misma variedad y ecotipo o cultivos reportados como hospederos de perla de tierra colombiana (aguacate *Persea americana* Mill., brevo *Ficus carica* L., lulo *Solanum quitoense* Lam., papa criolla *Solanum phureja* Juz. & Bukasov y tomate de árbol *Solanum betaceum* Cav), según Castrillón *et al.* (1998) y Carvajal (2002).

Figura 2-6: Arreglos espaciales de los elementos del paisaje para cada una de las fincas del Oriente Antioqueño seleccionadas. **A.** Finca La Frijolera (Guarne); **B.** Finca La Selva (Rionegro); **C.** Finca El Encanto (La Ceja); **D.** Finca La Torre (El Retiro); **E.** Finca El Reposo (Envigado); **F.** Finca Campo Alegre (El Retiro). Imágenes obtenidas con Google Earth, (2015).

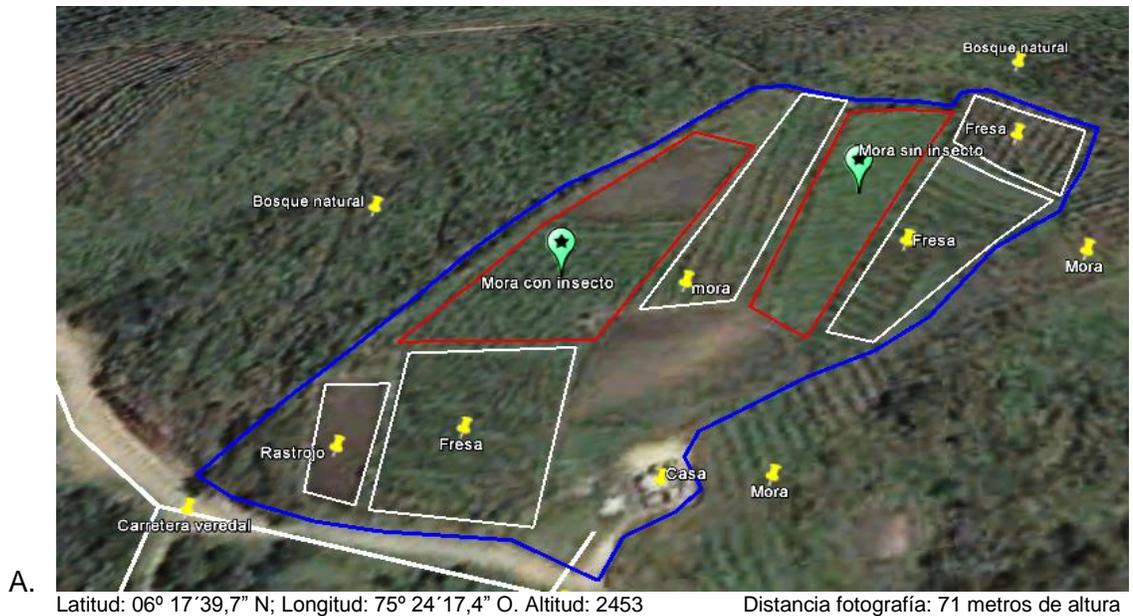
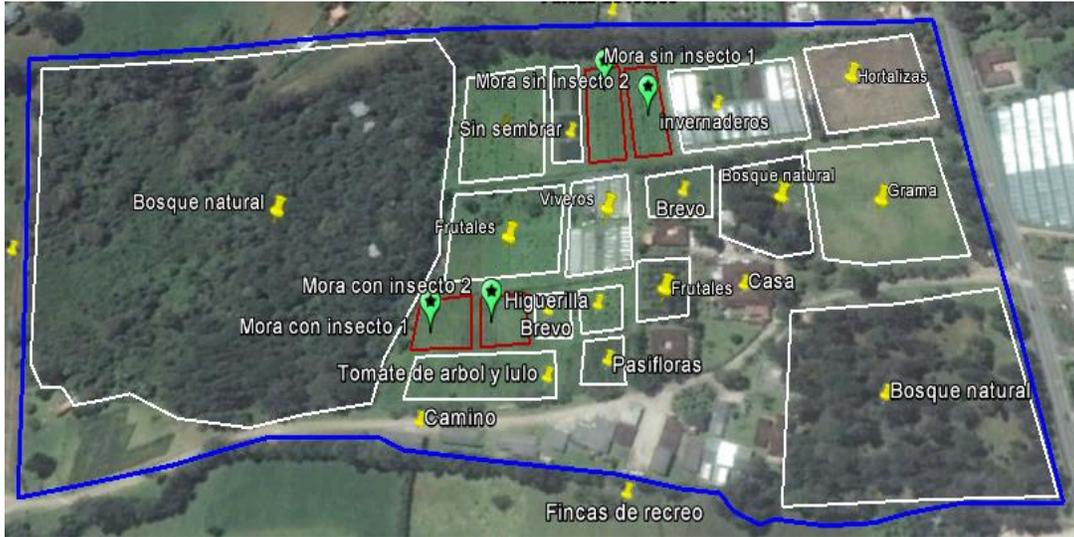


Figura 2-6: (Continuación)



B.

Latitud: 06° 08' 04,3" N; Longitud: 75° 25' 02,7" O. Altitud: 2143

Distancia fotografía: 238 metros de altura



C.

Latitud: 05° 57' 33,7" N; Longitud: 75° 27' 28,4" O. Altitud: 2304

Distancia fotografía: 70 metros de altura

Figura 2-6: (Continuación)



D.

Latitud: 06° 00'22,1" N; Longitud: 75° 29'01,1" O. Altitud: 2382 Distancia fotografía: 90 metros de altura



E.

Latitud: 06° 11'06,8" N; Longitud: 75° 29'41,6" O. Altitud: 2364 Distancia fotografía: 43 metros de altura



F.

Latitud: 05° 58'53,1" N; Longitud: 75° 30'14,9" O. Altitud: 2133 Distancia fotografía: 49 metros de altura

En relación a la tecnología empleada en los cultivos de mora, la preparación del suelo la realizan principalmente limpiando el lote con azadón y 15 a 20 días antes de la siembra aplican gallinaza y cal sin ningún criterio técnico o en algunos casos según recomendación del asistente técnico. Los ecotipos de mora sembrados son Mora de Castilla, San Antonio y Sin espinas. El material de siembra es obtenido en las mismas fincas o a través de viveros certificados de la región, los cuales no inspeccionan (sanitariamente) antes de sembrar. La edad de estas plantas oscila entre dos y siete años. No utilizan ningún tipo de riego. La fuente de agua es la lluvia. La fertilización que se aplica al cultivo es predominantemente química cada tres meses y algunas veces biológica cada seis meses. La proporción de insumos orgánicos que producen en la finca es menor al 5%. Solo algunos productores realizan análisis de suelos una vez al año, ninguno realiza análisis foliares. Con respecto a los arreglos de los cultivos de mora, se observan generalmente en monocultivo y algunas veces asociados con aguacate. Algunos agricultores realizan rotaciones mora – fresa – uchuva, para evitar “que la tierra se canse”. Todos realizan podas de mantenimiento, formación o sanitaria.

En el tema fitosanitario, las arvenses son manejadas cuando están muy altas por métodos manuales, mecánicos (guadaña) o químicos. Las principales arvenses observadas son lengua de vaca *Rumex crispus* L. y corazón herido *Polygonum nepalense* Meisn. Para el monitoreo de plagas y enfermedades todos recorren los cultivos una vez a la semana, algunos de ellos acompañados por un asistente técnico. Las plagas y enfermedades más habituales, dañinas y que requieren control son: barrenador del cuello de la planta, pasador de tallos, áfidos, cucarrones del follaje, ácaros, botrytis y antracnosis. Los métodos de control son principalmente químicos y los realizan cuando observan las plagas o las enfermedades en las plantas. Las dosis aplicadas son las recomendadas por el asistente técnico o el vendedor de agroquímicos. Los productores no tienen claro como favorecer el control biológico en sus fincas, aunque sabe que existen “insectos buenos” como los polinizadores y en alguna oportunidad han aplicado microorganismos entomopatógenos por recomendación de su asistente técnico, un vecino o amigo. Algunos productores consideran que el cambio hacia prácticas más ecológicas (empleo de residuos de cosecha, cultivos trampa, diversificación de la vegetación, control natural) es posible siempre y cuando sea rentable y se cuente con mano de obra capacitada, otros por su parte lo consideran muy difícil ya que les han dicho que esas prácticas no funcionan porque aumentan los problemas de plagas y disminuye la producción.

En cuanto a la percepción que tienen los productores sobre la perla de tierra colombiana en sus cultivos de mora, la mayoría no saben hace cuánto tiempo tienen el insecto en sus fincas, ni en qué tipo de cultivos o coberturas lo pueden encontrar, pocos conocen el insecto y sus diferentes estados de desarrollo. Todos consideran negativa la presencia del insecto en los cultivos de mora ya que han observado que las plantas infestadas se debilitan, disminuyen la producción y con el tiempo mueren sin que se pueda hacer nada al respecto, pero solo uno de los productores tiene estimaciones de pérdidas de producción. Según él la producción en el cultivo afectado por perla de tierra colombiana bajó de 700 a 120 g de frutos/planta/semana. Entre las condiciones que consideran los productores como favorables para la presencia del insecto se encuentran la edad de las plantas, la presencia de arvenses como lengua de vaca, la presencia de hormigas, suelos “arenosos” y la variedad de mora empleada (*Rubus glaucus*). Ninguno de los

productores tiene idea de cómo prevenir la llegada del insecto a los cultivos, para ellos eso es inevitable. Consideran que ningún método es efectivo contra el insecto, sin embargo ocasionalmente aplican Furadan (carbamato) al suelo sin ningún criterio técnico pero con la idea de disminuir su población. En general los productores desconocen los enemigos naturales del insecto por lo tanto no los emplean como alternativa de manejo.

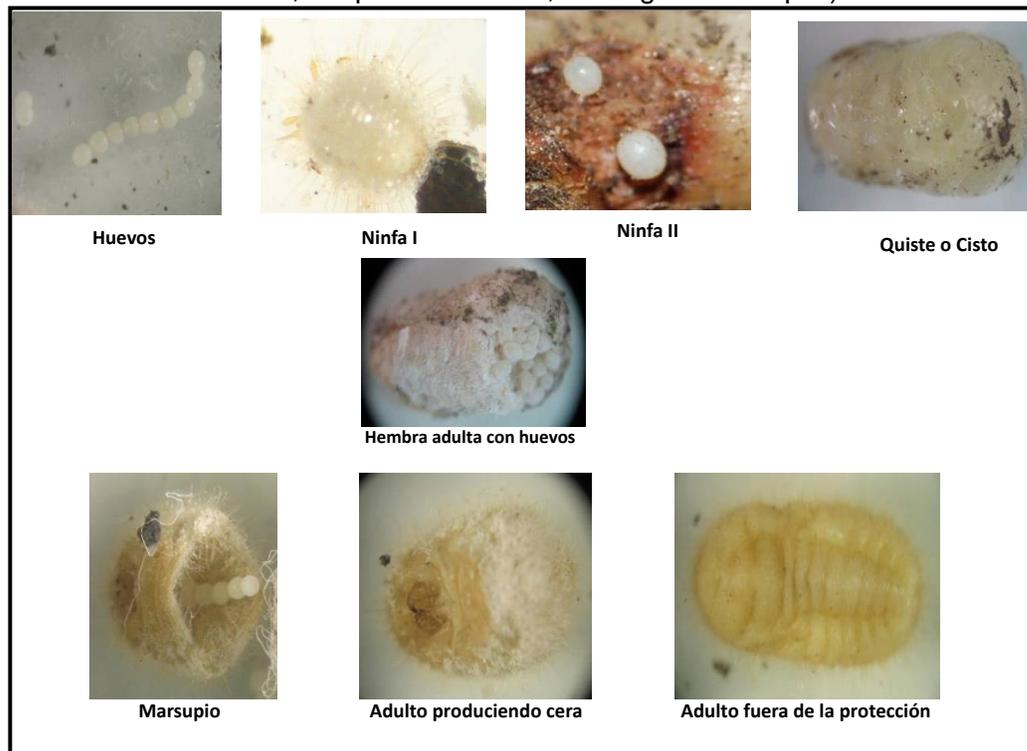
Con respecto a los datos de producción, la mora la venden a intermediarios o a las asociaciones de productores. Ninguno selecciona la fruta para la venta, pues la calidad de la fruta no es tenida en cuenta al momento de pagárselas. El precio de venta es muy variable (\$400 – 2000 kg). El ingreso que obtienen del cultivo lo emplean en un 60% aproximadamente para comprar los insumos agrícolas de la finca y pagar la mano de obra; el 40% restante para alimentación y gastos familiares. Solo algunos productores llevan registros de las labores del cultivo la cosecha y las ventas. Consideran como principal limitante para la producción de mora la comercialización, el alto precio de los insumos, las pérdidas en productividad por plagas y enfermedades.

2.3 La perla de tierra colombiana *Eurhizococcus colombianus* Jakubski como limitante fitosanitario para la producción de mora en Colombia.

Diversos factores bióticos en campo y en poscosecha han ocasionado pérdidas en el 40% de la producción de mora en el país; dentro de esos factores se encuentran las plagas y las enfermedades. Las plagas más frecuentes en mora son: Barrenador del tallo y ramas (*Hepialus* sp.) (Lepidoptera: Hepialidae), Burrito de la virgen o picudo de la mora (*Compsus* sp.), Barrenador de cuello de la planta (*Zascelis* sp.) (Coleoptera: Curculionidae), babosas (*Milax gagates* (Draparnaud)) (Gastropoda: Stylommatophora: Milacidae), mosca de la fruta *Anastrepha* sp. (Diptera: Tephritidae) y la perla de tierra colombiana *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) (Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, 2011).

El insecto escama *Eurhizococcus colombianus* Jakubski, 1965 (Hemiptera: Margarodidae), más conocido como “perla de tierra colombiana” fue registrado como plaga de importancia económica en los cultivos de mora del país desde hace más de 30 años (Figuroa-Potes, 1946 (como *E. brasiliensis*); Jakubsky, 1965; Kondo & Gómez, 2008; Posada *et al.*, 1978). Este insecto chupador se alimenta de las raíces de un amplio rango de hospederos y tiene hábitos subterráneos (Figuroa-Potes, 1946 (como *E. brasiliensis*); Jakubsky, 1965; Kondo & Gómez, 2008; Posada *et al.*, 1978). Su reproducción es posiblemente partenogénica de tipo telitoquia, es decir, las hembras se reproducen sin intervención de los machos y la progenie obtenida son hembras como es el caso de la especie cercana *E. brasiliensis* (Foldi & Soria, 1989). En su ciclo de vida este insecto pasa por los estadios de huevo, ninfa, quiste y adulto con una duración total del ciclo de aproximadamente un año y duraciones parciales de: $35,03 \pm 9,35$ días para el estadio de huevo, $144,8 \pm 5,98$ días para los estadios ninfales y quiste, $53,45 \pm 5,98$ días para el adulto móvil (sin ovisaco) y $69,78 \pm 20,28$ días para el estadio adulto con ovisaco (Londoño *et al.*, 2010) (Figura 2-7).

Figura 2-7: Estadíos de desarrollo de perla de tierra colombiana *E. colombianus*. (Fotos por Juan Humberto Guarín, Corpoica La Selva, Rionegro - Antioquia).



Estudios realizados por Castrillón *et al.* (2000b) en Caldas, permitieron conocer que en esta zona el 70% de las plantaciones de mora se encuentran afectadas por el insecto. Allí, ha causado disminución en la producción de 1 a 2 toneladas de fruta/ha/año, sin tener en cuenta la mala calidad de ésta por su reducción en el tamaño. Así mismo, estos autores reportan la muerte del 20% de las plantas en el cultivo. En cuanto a tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), brevo (*Ficus carica* L.) y lulo (*Solanum quitoense* Lam.), para el departamento de Caldas, se reportan pérdidas hasta del 50% de la producción potencial.

En Antioquia, Carvajal (2002) reporta pérdidas completas de lotes cultivados con mora a causa del daño de este insecto. Esta situación ha hecho que en ocasiones, los agricultores cambien de actividad o tengan que rotar con cultivos poco rentables (Castro *et al.*, 2008). Una encuesta realizada en el Oriente Antioqueño en 2005, reveló umbrales de daño para el cultivo de mora que estaban en un rango entre medio y alto. En el municipio de Marinilla se encontraron pérdidas en los rendimientos cercanos al 47%, mientras que para Guarne fue del 40%. Las fincas que no reportaron daño fueron en su mayoría cultivos nuevos, lo cuales no sobrepasaron el año de establecidos (Castro *et al.*, 2008). Una nueva evaluación de incidencia realizada en el año 2010 en seis municipios del Oriente Antioqueño, reportó que los municipios de Envigado, Guarne, Rionegro y San Vicente presentan los mayores porcentajes de incidencia del insecto de la zona (49,1%, 25,7%, 18,7% y 15,8% respectivamente) (Ríos *et al.*, 2010).

Carvajal (2002), afirma que el estadio de quiste en las perlas de tierra es el que más daño causa a las plantas, ya que al permanecer por largo tiempo adherido a la raíz, alimentándose del floema, disminuye la absorción de nutrientes por las raíces, provocando desordenes en la planta que finalmente le causan la muerte. Adicionalmente, el quiste está recubierto de una capa cerosa, que lo impermeabiliza y aísla del medio ambiente, incluyendo posibles insecticidas empleados para su control (González *et al.*, 1969; Soria & Dal Conte, 2000). Observaciones hechas por Castro *et al.* (2008) señalan que en suelos ricos en materia orgánica, la capa cerosa del quiste es más densa que en suelos arcillosos. Autores como González *et al.* (1969) y Foldi y Soria (1989), afirman que los quistes (de otras especies de perlas de tierra) pueden mantenerse viables de 8 a 12 años y ser capaces de originar adultos hembras si se presentan condiciones adecuadas. La cantidad de huevos ovipositados por hembra depende directamente del tamaño corporal del individuo al momento de pasar de estadio de quiste a adulto. Según Castrillón *et al.* (2000a), el promedio de posturas por hembra a 20°C y suelos a humedad de campo del 10%, es de 140 huevos.

Con respecto a los síntomas de daño, hasta el momento no se han logrado establecer correlaciones entre la población del insecto en las raíces y los síntomas de daño en la parte aérea de las plantas. La razón, es que mientras algunas plantas de mora infestadas con el insecto se observan aparentemente sanas (Osorio, 2005), otras igualmente infestadas, se observan débiles, cloróticas, con disminución del crecimiento y la producción, hasta que se palotean y mueren (Carvajal, 2002). Según Castaño (2000) también pueden observarse plantas con menor emisión de tallos, escasa floración, frutos que no cuajan o se quedan pequeños y secos. Adicionalmente, al observar las raíces estas presentan nudosidades (Castaño, 2000), o pérdida de raíces secundarias y terciarias (Castrillón *et al.*, 2000a), que poco a poco le impiden a la planta la respiración y la nutrición. Lo anterior indica que si no se hacen muestreos destructivos para confirmar la presencia del insecto en las raíces, este podría pasar desapercibido o los síntomas podrían confundirse con problemas de disponibilidad de agua o nutrientes, o con la acción de otros invertebrados como nematodos, hongos, entre otros, orientando el manejo del cultivo de manera equivocada, asumiendo costos innecesarios.

Pese a que se desconoce gran parte de la ecología del insecto, algunos autores han reportado condiciones que podrían favorecer la incidencia de éste en los cultivos de mora. Dichas condiciones no han sido evaluadas con precisión debido a los hábitos subterráneos del insecto y al complejo ciclo de vida que presenta. Para Castrillón *et al.* (2000a), las condiciones edafoclimáticas de la cordillera central colombiana son óptimas para el desarrollo de *E. colombianus*, al ser la zona la más afectada por el insecto. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto Colombiano Agropecuario (IGAC-ICA, 1985) esta zona clasificada como unidad agroecológica Fn, pertenece al piso térmico frío (2000 – 3000 msnm), el cual se caracteriza por temperaturas entre 12 a 18°C, precipitación promedio anual entre 500 y 3.000 mm, relieves escarpados, pendientes mayores a 50%, suelos con influencia de cenizas volcánicas de baja evolución, generalmente superficiales, de baja fertilidad, con alta fijación de fósforo y susceptibles a la erosión.

Otra condición importante es la asociación mutualista entre la perla de tierra colombiana con las hormigas. Esta asociación se ha observado en los municipios de la Ceja y San Vicente, Antioquia, en cultivos de mora y brevo, donde la detección de hormigas en las áreas de plateo se asoció con la presencia de *E. colombianus* en dichas plantas (Lopera, 2001). Posiblemente esta asociación sea similar a la de perla de tierra de Brasil *E. brasiliensis* con la hormiga *Linepithema humile* (Mayr) (Hymenoptera: Formicidae) reportada en Brasil por Hickel (1994). Las ninfas de las perlas de tierra durante su alimentación eliminan sustancias azucaradas producto de su metabolismo, las cuales son utilizadas por la hormiga como alimento. Por otro lado, las ninfas recién eclosionadas son transportadas por las hormigas de un lugar a otro, multiplicando así los puntos de infestación en el sistema radical. Lo interesante aquí es que la hormiga *L. humile*, es uno de los ejemplos mejor estudiados de especies introducidas, donde la distribución espacial de sus nidos está muy relacionado con la distribución de alimento, la disponibilidad de sustratos para la nidificación, así como las características físicas y químicas del suelo, siendo su hábitat de preferencia el urbano (Ipinza *et al.*, 2010). Estos mismos autores demostraron que a medida que disminuye la distancia entre las viviendas humanas y la cobertura vegetal, aumenta la densidad de nidos de *L. humile* en las coberturas vegetales, especialmente de tipo arbustiva (Ipinza *et al.*, 2010).

Con respecto a las estrategias empleadas actualmente para el manejo de *E. colombianus* y otras especies de la familia Margarodidae, la literatura reporta diversas tácticas enmarcadas en los componentes genético, cultural, microbiológico, biológico y químico. (Tabla 2-3).

Tabla 2-3: Estrategias empleadas actualmente en diferentes cultivos para el manejo de *E. colombianus* y otras especies de la familia Margarodidae.

Componente	Táctica	Resultados obtenidos
Genético	Emplear variedades resistentes	En Australia Allsopp y McGill (1996), obtuvieron resultados positivos al evaluar variedades de caña de azúcar de alto rendimiento, en donde se da resistencia horizontal poligénica, disminuyendo el impacto detrimental del complejo <i>Margarodes</i> spp. en las socas.
		En Colombia, por observaciones en plantas de mora silvestre, se ha detectado cierta tolerancia a problemas con <i>E. colombianus</i> . No obstante, dicha información no pudo ser corroborada por Castro <i>et al.</i> (2008) en un estudio realizado con cultivos de mora (<i>Rubus glaucus</i>), utilizando variedades silvestres (<i>R. robustus</i> C. Presl; <i>R. boliviensis</i> Focke y <i>R. urticifolius</i> Poir), como patrones.
Cultural	Controlar hospederos alternos	En Colombia, para el control de <i>E. colombianus</i> según observaciones de Castrillón <i>et al.</i> (2000a), es recomendable controlar la presencia de arvenses como lengua de vaca <i>Rumex crispus</i> L. y sangretoro <i>Rumex acetocella</i> en los cultivos de mora ya que estos también son hospederos de <i>E. colombianus</i> .
		Según Castrillón <i>et al.</i> (1998) y Lopera (2001), también deben evitarse asociaciones entre cultivos de mora y alguna las siguientes especies vegetales: tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav), lulo (<i>Solanum quitoense</i> Lam.), manzano (<i>Malus</i> sp.), brevo (<i>Ficus carica</i> L.), aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.), feijoa (<i>Feijoa sellowiana</i> (O. Berg) O. Berg), durazno (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch), fresa (<i>Fragaria vesca</i> L.), curuba (<i>Passiflora mollisima</i> (Kunth) L.H. Bailey), cítricos (<i>Citrus</i> spp.), arracacha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr.), ciprés (<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.), yuca (<i>Manihot utilisima</i> Pohl) y sorgo (<i>Sorghum vulgare</i> L.) ya que también son plantas hospederas del insecto.
	En Antioquia, Carvajal (2002) reporta como hospederas las siguientes plantas: San Joaquín (<i>Hibiscus</i> sp.), besito (<i>Impatiens balsamina</i> L.), jazmín de noche (<i>Jasminum sambac</i> (L.) Aiton), pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst. ex Chiov.) y papa criolla (<i>Solanum phureja</i> Juz. & Bukasov).	
	Reducir sombra en la zona de plateo	En Colombia, según observaciones de Castrillón <i>et al.</i> (1998) es recomendable hacer podas de las ramas bajas de la planta y ampliar el área de plateo, reduciendo así la humedad que favorece a <i>E. colombianus</i> . Sin embargo, no se cuenta con datos que apoyen esta recomendación.
	Preparar el terreno	En Australia, Allsopp y McGill (1996) recomiendan para el manejo de la perla de tierra rosada <i>Eumargarodes laingi</i> Jakubski preparar el terreno de los viñedos mediante una arada temprana y profunda, dejar los terrenos afectados en barbecho durante un periodo de seis meses, labrándolos o roturándolos con azadón por lo menos tres veces.
		En Brasil, Soria y Gallotti (1986), recomiendan hacer encalado profundo a los viñedos antes de la siembra o en los momentos de roturación del suelo para así propiciar la deshidratación de las ninfas del insecto <i>E. brasiliensis</i> .

Tabla 2-3: (Continuación)

Componente	Táctica	Resultados obtenidos
	Fertilizar adecuadamente los cultivos.	Para <i>E. brasiliensis</i> , Soria y Gallotti (1986) recomiendan mantener la planta afectada en buen estado nutricional mediante la aplicación de materia orgánica y fertilizantes químicos. Sin embargo, no se cuenta con datos que apoyen estas recomendaciones.
	Emplear medidas preventivas	En Brasil, para <i>E. brasiliensis</i> , Soria y Gallotti (1986), recomiendan evitar la utilización sin medidas preventivas, de maquinaria y equipos procedentes de localidades donde se tiene conocimiento de la existencia de la plaga. Efrom <i>et al.</i> (2012) también sugieren no establecer cultivos de frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.), mora (<i>Rubus</i> spp.) o arándanos (<i>Vaccinium</i> spp.), en áreas infestadas con <i>E. brasiliensis</i> ya que estos son hospederos del insecto. En Colombia, para <i>E. colombianus</i> la táctica preventiva se realiza a través de acciones como: no utilizar lotes infestados con perla de tierra, utilizar botas plásticas desechables antes de ingresar a lotes infestados con el insecto, mantener desinfectado las herramientas de trabajo, no transportar material vegetal, ni suelo procedente de áreas infestadas con el insecto.
	Manejar la vegetación dentro y alrededor del cultivo Realizar rotaciones de cultivos	Para <i>E. colombianus</i> , algunos productores de mora del Oriente Antioqueño (Colombia) recomiendan establecer y conservar barreras vivas en barbecho en las orillas de los cultivos, rotar cultivos en lotes afectados y diversificar las especies vegetales en los predios (Castro <i>et al.</i> , 2008). Sin embargo, no se cuenta con datos que apoyen estas recomendaciones.
Biológico	Emplear hongos entomopatógenos	En Brasil, Carneiro <i>et al.</i> (1994) obtuvieron bajo condiciones de laboratorio una mortalidad del 94% sobre quistes de <i>E. brasiliensis</i> a los 28 días de aplicado el aislamiento CG259 de <i>Paecilomyces fumoroseus</i> (Wize) a una concentración de 10^6 conidias/ml. En Colombia, Lopera (2001), encontró que cinco aislamientos nativos de <i>Metharizium anisopliae</i> (Metsch.) Sorokin (CLS 101, CLS 104 y CLS 115) evaluados bajo condiciones semicontroladas sobre adultos en plantas de mora, causaron mortalidad a los 70 y 85 días después de aplicado los tratamientos. Adicionalmente observó que los aislamientos evaluados no causaron mortalidad sobre el estadio de quiste. Carvajal (2002), encontró que el aislamiento "La Piñera" de <i>Paecilomyces</i> sp. evaluado bajo condiciones de laboratorio sobre quistes de <i>E. colombianus</i> , a una concentración de 10^7 esporas/ml, redujo la población en un 85.7%, a los 42 días después de la inoculación. Ardila <i>et al.</i> (2013) y Zapata, (2013) encontraron que los aislamientos "A778" y "Portugal" de <i>Metarhizium anisopliae</i> evaluados bajo condiciones de laboratorio sobre ninfas de <i>E. colombianus</i> , a una concentración de 10^7 y 10^{10} esporas/ml respectivamente, causaron mortalidad del 100% a los dos y cinco días después de inoculados respectivamente.

Tabla 2-3: (Continuación)

Componente	Táctica	Resultados obtenidos
	Emplear nematodos	En Brasil, Hickel y Schmitt (1997), encontraron que el nematodo entomopatógeno <i>Steinernema carpocapsae</i> Weiser, proporciona 100% de control en adultos hembras de <i>E. brasiliensis</i> bajo condiciones de laboratorio. Sin embargo, solo el 25% de los quistes se convierten en adultos hembras, situación que impide la implementación de este método de control en condiciones naturales.
	Emplear predadores y/o parasitoides	En Brasil, Soria y Mello (1998) recomiendan usar la mosca <i>Prolepsis lucifer</i> (Wiedemann) (Diptera: Asilidae), ya que la larva de primer instar ataca los quistes, devorando a hembras y huevos.
	Emplear combinaciones de extractos, tensoactivos y hongos entomopatógenos	En Colombia, Meneses <i>et al.</i> (2012) evaluaron la mortalidad de ninfas de <i>E. colombianus</i> al emplear combinaciones de extractos vegetales, jabones, aceites, tensoactivos y hongos entomopatógenos. Según los resultados, la combinación extracto de solanáceas y liliáceas Capsialil®+ tensoactivo Cosmoflux® + aislamiento 778 de <i>Metarhizium anisopliae</i> ; aplicados bajo condiciones de laboratorio sobre estacas de brevo (<i>Ficus carica</i> L.) infestadas con ninfas, causó repelencia (ninfas ambulantes) a la estaca y 12 días después de la aplicación, mortalidad del 100% de las ninfas.
Químico	Emplear insecticidas de síntesis química	<p>En Sudafrica, De Klerk (1987), determinó que el hexaclorobutadieno es específico para el control de hembras adultas de <i>Margarodes prieskaensis</i> (Jakubski) en dosis de 12 ml/m². El autor recomienda que este tratamiento sea aplicado por dos años sucesivos, debido a que no todos los quistes se convierten anualmente en hembras y además porque se desconoce la residualidad del producto en el suelo (De Klerk, 1987). Sobre el estado de quiste no obtuvieron resultados positivos.</p> <p>En Chile, González <i>et al.</i> (1969) determinaron en condiciones de laboratorio que el Diazinon (insecticida de contacto o ingestión, categoría toxicológica IB – altamente peligroso), es efectivo para el control de hembras adultas de <i>M. vitis</i> (Philippi), en dosis de 0,516 mg por individuo, ya que la mortalidad de las hembras antes de la oviposición fue del 100%.</p> <p>Otros productos de contacto evaluados en Chile por González <i>et al.</i> (1969) i.e., (Dioxathion, Disulfoton, Phorate, Parathion y Carbophenothion) a la misma dosis, no mataron todas las hembras, pero se observó un efecto inhibidor en la eclosión de ninfas. Para el estado de quiste, de los 37 insecticidas probados, ninguno produjo buenos resultados a las dosis empleadas. Para los estados ninfales, los mejores tratamientos correspondieron a los productos de contacto Mocap, Metomil, Carbofuran, Metil – Parathion, Propoxury Diazinon, en dosis de ingrediente activo entre 0.01 a 10% disueltos en acetona, ya que produjeron una alta mortalidad a las 24 horas, sin embargo, ensayos preliminares en campo indicaron que al inyectar al suelo los insecticidas en dosis de 0,1% de ingrediente activo en agua, no se obtuvieron resultados positivos (González <i>et al.</i>, 1969).</p> <p>En Brasil, Grigoletti y Soria (1999) determinaron que en condiciones de campo el insecticida sistémico Dissulfotom aplicado en cultivos de vid de la región de Rio Grande do Sul, Brasil redujo en la población del insecto <i>E. brasiliensis</i> en un 60%.</p>

La falta de validación de algunas de las tácticas de control para especies de perlas de tierra antes mencionadas en condiciones de campo, han dejado al productor sin más opción que continuar con la aplicación de insecticidas altamente tóxicos al suelo (fosforados, clorofosforados y carbamatos), táctica que no ha tenido resultados satisfactorios (debido características propias del insecto y a su hábito subterráneo), pero si ha representado riesgos para la salud humana, incrementos del 15% en los costos de producción, así como residualidad en la fruta cosechada y en los componentes ambientales (Castrillón *et al.*, 2000a; Soria & Gallotti, 1986). Este último efecto colateral, es posiblemente uno de los principales responsables de que los procesos de regulación biótica se interrumpan, quedando muchos nichos y microhábitat desocupados, favoreciendo así fenómenos de resurgencia cíclica de plagas resistentes a insecticidas o la posible aparición de nuevas plagas consideradas hasta ahora como de menor importancia o secundarias (Pérez, 2004).

De acuerdo con el DANE (2013), para lograr un cultivo de mora con rendimientos óptimos (18 a 20 t/ha/año), sostenidos y de calidad, es de gran importancia aplicar las buenas prácticas agronómicas (BPA), durante la vida vegetativa del cultivo, significando con esto mejores ingresos al productor. Las BPA incluyen la selección de material vegetal sano y libre de enfermedades al momento del establecimiento, así como la ubicación del terreno donde se va a establecer el cultivo, teniendo en cuenta las condiciones del clima y suelo, la topografía, el uso previo del suelo, la disponibilidad del agua y las actividades agrícolas del entorno (ICA, 2011). No obstante, al analizar los resultados de la más reciente caracterización biofísica y socioeconómica realizada por Ríos *et al.*, (2010) a 90 productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje cafetero, así como la información contenida en el plan de gestión ambiental regional 2013-2032 (Cornare, 2014), el plan estratégico para el Oriente Antioqueño (PLANEO, 2009) y el diagnóstico de competitividad del Oriente Antioqueño (CCOA, 2014), se observan las siguientes situaciones:

- **Uso inadecuado de suelo.**

Estudios realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) sobre aptitud de uso del suelo, indican que aproximadamente el 60% del Oriente Antioqueño es de Aptitud Forestal, sin embargo, solo el 40% se encuentra bajo coberturas boscosas. El 20% restante es convertido principalmente a pastos para actividades de ganadería extensiva, o es usado para la expansión de frentes de colonización postconflicto, o como mosaicos heterogéneos de rastrojos, áreas de cultivos lícitos o ilícitos, minería, entre otros, que sumado al modelo agrícola de revolución verde han traído como consecuencia que el estado de conservación de la biodiversidad del Oriente Antioqueño esté clasificado “en peligro” (EP), con una pérdida de hábitat del 74,01%, lo que indica un alto grado de alteración del paisaje. Dicha situación ha limitado funciones ecológicas tales como la regulación biótica, al obligar a la fauna silvestre a desplazarse a otras áreas cercanas, por ejemplo los cultivos, con el fin de asegurar su supervivencia y al provocar la destrucción del hábitat natural de la fauna benéfica con la consiguiente reducción de sus fuentes de alimento y una disminución en la reproducción de la misma (CCOA, 2014; CORNARE, 2014; Pérez, 2004; PLANEO, 2009).

Debido al gran desarrollo de la región, en 1996 el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria determinó el área que deben tener los predios para cada subregión del Oriente Antioqueño. Dichas áreas denominadas Unidades Agrícolas Familiares (UAF) tendrían distintas extensiones según la potencialidad de explotación. Para el Altiplano, zona de estudio de la tesis, la extensión de la UAF debe ser: para explotación agrícola: 3–5 hectáreas; ganadera: 27–37 hectáreas y mixta: 12–16 hectáreas. No obstante, al comparar esta información con un análisis realizado en el Sistema de Información Geográfica de CORNARE, se evidenció que el 70% de los predios de esta subregión tienen áreas inferiores a las UAF, lo que indica que el modelo de la UAF no se está aplicando, convirtiendo la subregión en un mosaico de parches con muchas formas y tamaños algunos de ellos altamente explotados, acentuado los procesos de degradación del suelo, los cuales se reflejan en una pérdida de productividad agropecuaria y consecuente dependencia de insumos externos (CCOA, 2014; CORNARE, 2014; PLANEAO, 2009).

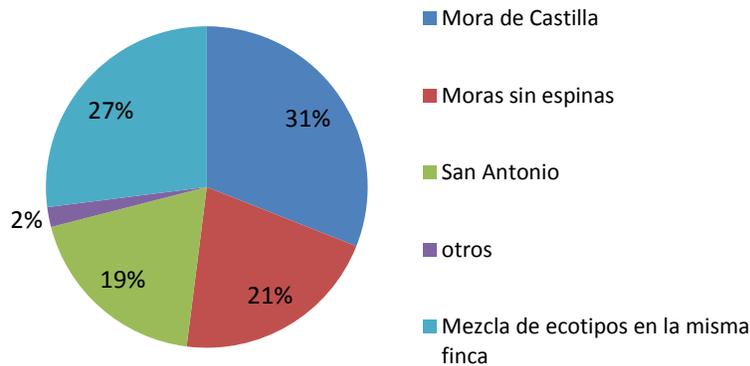
En los departamentos de Antioquia y Caldas la producción de mora se ha venido incrementando en los últimos años, debido a que las condiciones naturales de suelo y clima en estos departamentos son óptimas para este frutal. Actualmente, la región cuenta con 13.240 hectáreas aptas para el cultivo de la mora (Ríos, *et al.*, 2009). No obstante, de acuerdo con el Plan Nacional Frutícola (PFN, 2006) la mayoría de las especies hortofrutícolas cultivadas en el departamento de Antioquia están ubicadas en zonas sin potencial apto para su cultivo, es decir, están ubicadas en suelos con limitantes físicas, químicas o estructurales para el desarrollo de especies frutícolas, tornándolas más vulnerables al daño por plagas y enfermedades.

Según Ríos *et al.* (2010), el 80% de los cultivos de mora del Oriente Antioqueño y Eje cafetero están ubicados a la altitud recomendada para el óptimo desarrollo del cultivo (2000 – 2400 msnm), pero en terrenos con pendientes entre 25 – 75%. La presencia del insecto *E. colombianus* en estos cultivos fue observada en el 48% de ellos, donde los mayores porcentajes de incidencia (49,1%) se evidenciaron en los cultivos ubicados a altitudes superiores a 2400 msnm, correspondiente al municipio de Envigado. Esto sugiere que la ampliación de las zonas productoras de mora hacia sectores de mayor altitud y pendiente, ha hecho que algunos cultivos se establezcan en condiciones edafoclimáticas inadecuadas para su óptimo desarrollo, pero no necesariamente desfavorables para el desarrollo de *E. colombianus*, como lo sugieren Castrillón *et al.* (2000a) al plantear que las condiciones edafoclimáticas de la cordillera central Colombiana son óptimas para el desarrollo del insecto.

- **Dependencia de un número reducido de materiales de mora**

Los principales ecotipos de mora (*Rubus glaucus*) sembrados en el Oriente Antioqueño y Eje cafetero según Ríos *et al.* (2010) se observan en la Figura 2-8. Al evaluar la presencia de *E. colombianus* en estos ecotipos en términos de incidencia baja (0,1 – 6%), media (6,1 – 10%) y alta (>10%), los investigadores encontraron que la mora de Castilla y la mora Sin espinas presentan un grado alto de incidencia del insecto (28 y 12,5% respectivamente) y la mora San Antonio un grado medio de incidencia (10%).

Figura 2-8: Ecotipos de mora (*Rubus glaucus*), sembrados en el Oriente Antioqueño y Eje Cafetero (Tomado de Ríos *et al.*, 2010).



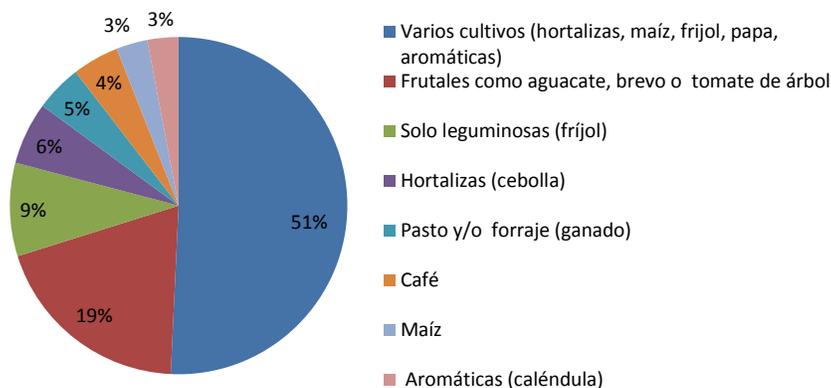
Aunque Ríos *et al.* (2010) no hacen referencia al criterio con el cual los productores eligen el material de siembra, es preciso tener presente que si lo hacen basados únicamente en el factor “palatabilidad”, o “rendimiento” exigido por el mercado, se corre el riesgo de emplear materiales de siembra con una reducida capacidad de defensa química y morfológica a un brote poblacional (Risch, 1987).

- **Diseños agroecológicos inadecuados**

Altieri (1997) afirma que es posible estabilizar las poblaciones de insectos en los agroecosistemas si se diseñan y construyen espacial y temporalmente arquitecturas vegetales que favorezcan las poblaciones de enemigos naturales y tengan efectos disuasivos sobre los fitófagos. Para el caso de las fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero, se podría pensar que esta estrategia no sido puesta en práctica ya que en estas fincas se generan hábitats apropiados para el establecimiento de *E. colombianus*. Según Ríos *et al.* (2010) además de la mora, el 69% de los productores encuestados manifestaron tener otros cultivos en sus predios (Figura 2-9), algunos de ellos reportados como hospederos de *E. colombianus* (aguacate *Persea americana* Mill., brevo *Ficus carica* L. y tomate de árbol *Solanum betaceum* Cav.). Con respecto al arreglo de los cultivos, los autores señalan que el 80% de los cultivos de mora se encontraban en monocultivo, lo que aumenta la disponibilidad de fuentes de alimento para el insecto. En algunas fincas observaron otros arreglos como intercalamiento con frutales, frijol, arveja, hortalizas y/o maíz, pero no se especifican las ventajas o desventajas de estos arreglos con respecto a la incidencia de plagas y

enfermedades. Los autores también reportan que el 67% de las fincas encuestadas tienen áreas en bosque natural y el 13% áreas en bosque plantado; sin embargo, no dan información sobre cómo están distribuidos espacialmente estos bosques en las fincas, ni tampoco su grado de diversificación, conexión con los cultivos, o la presencia del insecto *E. colombianus* en ellos.

Figura 2-9: Otros cultivos establecidos en fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero (Tomado de Ríos *et al.*, 2010).



- **Nutrición inadecuada de las plantas de mora**

Si se tiene en cuenta que para realizar una fertilización eficiente es necesario conocer el nivel de extracción de nutrientes, la etapa de crecimiento del cultivo y lo reportado en el análisis de suelos y foliar, se podría pensar que en el Oriente Antioqueño y Eje Cafetero la fertilización de los cultivos de mora es inadecuada. Según Ríos *et al.* (2010), el 46% de los productores de mora encuestados en el Oriente Antioqueño y Eje Cafetero no realizan análisis de suelos, el 54% restante lo realiza al menos una vez al año, ninguno de ellos realiza análisis foliares y solo el 44% lleva registros de fertilización. La fertilización aplicada a los cultivos de mora es la siguiente: 150 gr/planta/año de Nitrógeno, 180 gr/planta/año de P_2O_5 y 198 gr/planta/año K_2O . La moda para la fertilización con elementos secundarios (Ca, Mg,) y menores (S, B, Mo, Zn, Fe, Cu y Mn) fue de cero (0 gramos/planta /año). Algunos productores utilizan productos como la urea y formulas compuestas como el 15 -15 -15 o el 10 - 30 – 10 en la etapa de desarrollo del cultivo, sin ningún criterio técnico de aplicación. Aunque el 72% de los productores pertenecen a asociaciones de productores el 47% no recibe asistencia técnica.

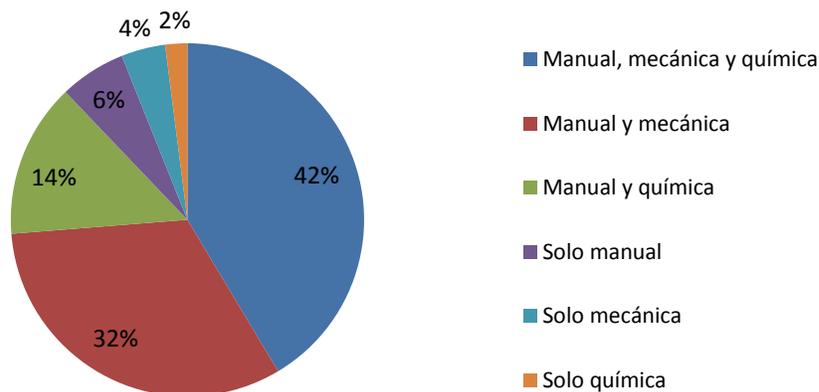
Lo anterior concuerda con lo planteado por Navas *et al.* (2010), quienes aseguran que la fertilización del cultivo de mora ha sido muy empírica, presentándose una desproporcionada información en cuanto a formas y cantidades de aplicación de nutrientes. Para Díaz *et al.* (2010), esta situación se da en razón a que los pocos trabajos de investigación, no han generado con certeza los conocimientos sobre requerimientos nutricionales del cultivo; sin embargo, dichos conocimientos son transferidos a los productores como alternativa de fertilización a través de manuales técnicos. Lo grave de esta situación es que aquellos productores que no realizan análisis de suelos o foliares, están empleando protocolos de fertilización provenientes de

experiencias o investigaciones anteriores, olvidando que aunque son realizadas en condiciones geográficas “aparentemente similares”, cada lugar y cultivo tiene sus propias exigencias nutricionales. Para el caso del Oriente Antioqueño, emplear este tipo de recomendaciones sin tener en cuenta la alta variabilidad espacial de las propiedades del suelo en esta zona (Jaramillo, 2012), puede ocasionar cambios funcionales en las propiedades del suelo, en respuesta a un estrés inducido por dichas prácticas, afectando el buen desarrollo de la planta favoreciendo a los insectos (Altieri & Nicholls, 2003).

- **Manejo fitosanitario inadecuado**

Diversos autores afirman que el uso indiscriminado de agroquímicos es una de las causas más directas para el resurgimiento de plagas, ya sea por aumento en la tasa reproductiva de los insectos (hormoligosis), por selección de insectos resistentes a los productos químicos, por eliminación de enemigos naturales o al inducir transformaciones físico – químicas en las plantas (Altieri, 1997; Pérez, 2004; Vásquez, 2008). Para el caso de los productores de mora del Oriente Antioqueño, es factible pensar que su alta dependencia por este tipo de productos para el manejo fitosanitario de los cultivos, ha contribuido a que los insectos incrementen sus niveles poblacionales y de daño. Según Ríos *et al.* (2010), las principales arvenses encontradas en los cultivos de mora del Oriente Antioqueño y Eje cafetero son: kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.), lengua de vaca (*Rumex crispus* L.) y helecho (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) reportadas como hospedera de *E. colombianus*. Las arvenses son controladas por los productores de la zona por diversos métodos (Figura 2-10). Aunque la recomendación es emplear métodos manuales, los productores que usan métodos químicos aplican paraquat (herbicida de contacto de categoría toxicológica I) o glifosato (herbicida sistémico de categoría toxicológica III) en una dosis de 720 ml/ha.

Figura 2-10: Métodos empleados por los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero para el control de arvenses (Tomado de Ríos *et al.*, 2010).



Con respecto a las plagas y enfermedades Ríos *et al.* (2010) reportan que el 66% de los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje cafetero no lleva ningún registro sobre este control. El 96% de los productores les manifestó tener problemas con diferentes tipos de insectos que afectan sus cultivos de mora. El 93% identificaba correctamente los daños causados por dichos insectos, más no se menciona si reconocen también sus enemigos naturales y la forma de conservarlos. Para el caso de las enfermedades el 100% de los productores las reportaron como problema en sus cultivos de mora. Los métodos de control más empleados para el manejo de plagas y enfermedades se observan en las Figuras 2-11 y 2-12 respectivamente.

Figura 2-11: Métodos empleados por los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero para el control de plagas (Tomado de Ríos *et al.*, 2010).

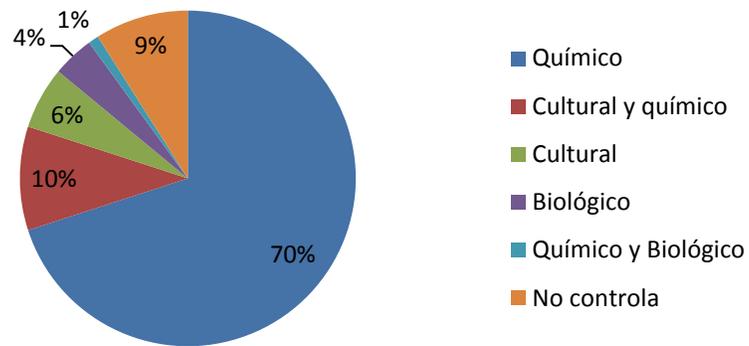
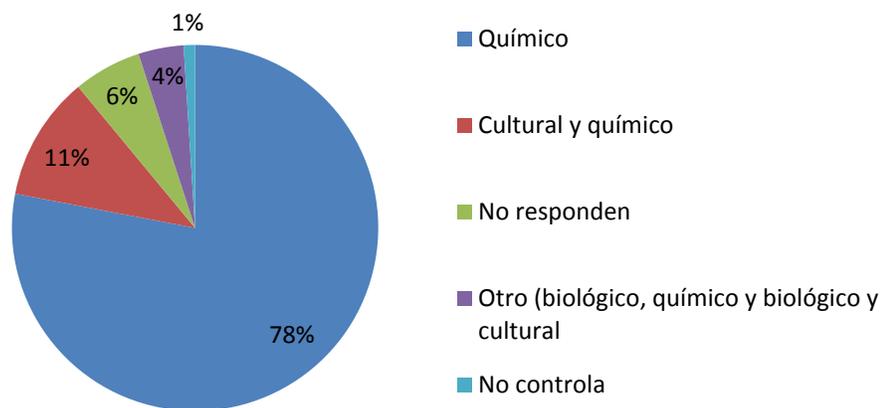


Figura 2-12: Métodos empleados por los productores de mora del Oriente Antioqueño y Eje Cafetero para el control de enfermedades (Tomado de Ríos *et al.*, 2010).



Los ingredientes activos más utilizados para el control químico de las plagas y enfermedades según Ríos *et al.* (2010) son (Tabla 2-4):

Tabla 2-4: Ingredientes activos empleados para el control de plagas y enfermedades en cultivos de mora en el Oriente Antioqueño y Eje Cafetero (Adaptado de Ríos *et al.*, 2010).

Ingredientes activos usados para el control de plagas	Categoría Toxicológica
Carbofurán (carbamato)	I
Cipermetrina (piretroide)	II
Abamectina (avermectina)	II
Malathion (organofosforado)	III
Clorpirifos (organofosforado)	II
Ingredientes activos usados para el control de enfermedades	
Metalaxyl (fenilamina)	III
Fluopicolide (benzamida) + Propined (ditiocarbamato)	III
Azufre	IV
Mancozeb (ditiocarbamato)	IV
Carbendazim (benzimidazoles)	III
Clortalonil (clortalonilo)	IV

Con respecto al uso de los productos químicos empleados para el manejo fitosanitario Ríos *et al.* (2010) afirma que estos son aplicados fuera de los parámetros técnicos establecidos para su uso y manejo, incrementando muchas veces la concentración del ingrediente activo y por ende sobrepasando los Límites Máximos de Residualidad (LMR). Lo grave de esta situación, es que al desconocer los efectos que pueden tener los pesticidas sobre el nitrógeno, los carbohidratos y el metabolismo de los minerales de la planta, se corre el riesgo de causar cambios en la composición química de ésta, alterando la susceptibilidad de la planta al ataque por plagas (principales o secundarias) y enfermedades, o alterando la composición química del producto cosechado (en este caso el fruto), lo que puede afectar la aceptación del producto en el mercado (National Academy of Sciences, 1994). Adicionalmente, los productos químicos con alto poder residual en el suelo generan un impacto mayor sobre los organismos benéficos, los cuales son más susceptibles o precisan de más tiempo para recuperarse, transformando así el ambiente edáfico en un medio propicio para las plagas (Pérez, 2004).

Para el caso de *E. colombianus*, Ríos *et al.* (2010) también reportan que el 64% de los productores encuestados manifestaron no conocer el insecto. De los 17 productores que señalaron la perla de tierra colombiana como plaga principal, siete aplicaban carbofurán al suelo para su control, los demás, aplicaban clorpirifos (organofosforado), tricoderma (biofungicida), metalaxyl (fenilamina) o veterina en dosis que no se indicaron en forma precisa. Lo anterior sugiere que el manejo del insecto es incorrecto, ya sea porque se confunde el insecto con otros organismos; se desconoce su hábito subterráneo y sus múltiples defensas, entre ellas, la cobertura coriácea del quiste, la cual es hermética y

permanece durante la mayor parte de su ciclo de vida (Soria y Gallotti 1986); o porque se emplean productos que van en contravía de la producción limpia como el carbofuran, producto sistémico que puede traslocar el fruto y contaminar el medio ambiente, al ser de categoría toxicológica I y efecto residual prolongado (Nufarm, sin fecha).

2.4 Posibles causas de vulnerabilidad al daño por *Eurhizococcus colombianus* Jakubski en fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño

Con base en la revisión de literatura y en la información recolectada en las seis fincas de la zona, se podría considerar al insecto *E. colombianus* como una **perturbación** de origen biológico para las fincas productoras de mora en el Oriente Antioqueño ya que una vez este insecto logra llegar a los cultivos de mora permanece por largo tiempo adherido a las raíces de las plantas, alimentándose del floema, disminuyendo la absorción de nutrientes por las raíces, provocando desordenes en la planta que finalmente le causan la muerte (Carvajal, 2002).

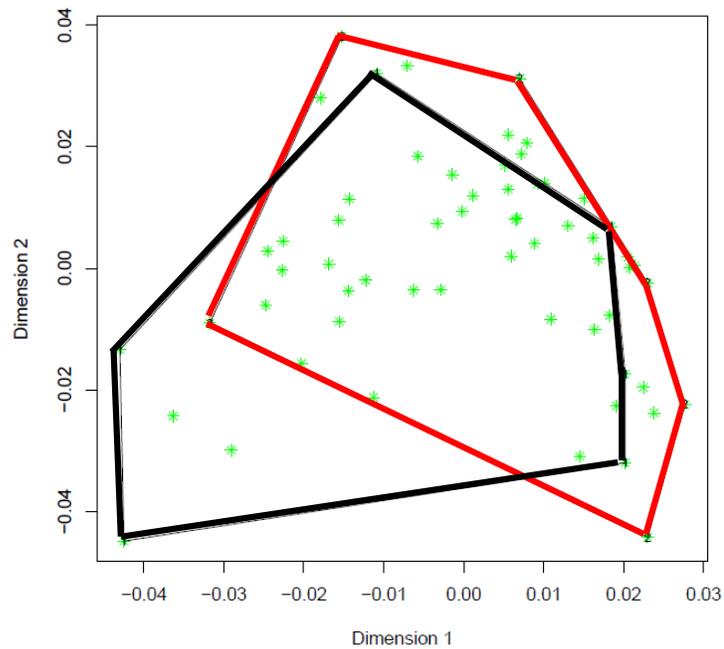
La **exposición** de los cultivos de mora del Oriente Antioqueño al daño por el insecto es alta debido a un uso inadecuado de suelo, al establecer los cultivos de mora en zonas de ladera, áreas de bosque natural o en altitudes mayores a las óptimas para el buen desarrollo del cultivo. Se percibe además inadecuados diseños espaciales de las fincas donde los cultivos secundarios y aledaños e incluso los que en algunas oportunidades asocian con la mora también han sido reportados como hospederos del insecto favoreciendo así su dispersión. Así mismo, la **sensibilidad** de los cultivos de mora al daño es alto, debido a la dependencia a un número reducido de materiales de mora todos ellos susceptibles a la perla de tierra colombiana; una inadecuada nutrición de las plantas ya que al no conocer las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo donde se establecen los cultivos, ni los rangos de tolerancia fisiológica de las plantas, los productores no pueden garantizar plantas bien nutridas y productivas; prácticas fitosanitarias realizadas bajo una orientación convencional e inadecuada ya que no se tiene criterios claros para su aplicación causando posiblemente efectos inadvertidos en las interacciones insecto – planta que pueden favorecer a *E. colombianus* u otros insectos del suelo. Aunque los productores son conscientes de la importancia de los componentes ambientales en sus fincas tienen una escasa o nula adopción de tecnología orientada a la producción limpia y sostenible ya sea porque desconocen cómo aplicarla o porque temen perder rentabilidad. Adicionalmente, se percibe un gran desconocimiento del insecto y de sus características por parte de algunos productores; hay dificultad para correlacionar la presencia del insecto con los síntomas de daño en las plantas, lo que dificulta su identificación temprana en los cultivos; faltan estudios sobre la biología del insecto, la relación del insecto con los demás componentes del sistema y falta investigación relacionada con la identificación de mecanismos naturales de regulación biótica en los cultivos de mora.

Si se tiene en cuenta que a mayor exposición y sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad de un sistema al daño y menor su resiliencia o capacidad de adaptación (Gallopín, 2006; Gómez, 2001; Luers *et al.*, 2003; Turner *et al.*, 2003), se podría afirmar que en las fincas

productoras de mora del Oriente Antioqueño la **capacidad de adaptación** de las plantas es y seguirá siendo reducida mientras no cambien las condiciones actuales de establecimiento y manejo de los cultivos. Adicionalmente, desde una perspectiva socioeconómica también se percibe una baja capacidad de adaptación, ya que pese al tejido social con el que cuenta el Oriente Antioqueño (asociaciones de productores, unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria UMATA, universidades, centros de investigación) y la oferta tecnológica que se ha desarrollado para la producción frutícola de la región (PFN, 2006), los productores (principalmente de economía campesina) y sus familias son altamente dependientes del ingreso económico que les generan los cultivos de mora semanalmente, ya sea para comprar el alimento que no obtienen de sus fincas, para comprar los insumos que requieren los cultivos o para otros gastos familiares. Por lo tanto, cualquier situación que les impida hacer de estos cultivos un negocio rentable afectará su calidad de vida. Algunas de las situaciones identificadas son: reducción de los rendimientos (g/planta/semana) por problemas fitosanitarios, alta dependencia a insumos externos como pesticidas y fertilizantes de síntesis química, alto precio de estos insumos, escasas oportunidades de mercado e inestabilidad de los precios de la mora para el productor.

Finalmente, con este análisis, se plantea la posibilidad de que las fincas productoras de mora en el Oriente Antioqueño sean vulnerables al daño por el insecto, por lo tanto, es preciso estudiar desde la perspectiva ecológica las condiciones que favorecerían dicha vulnerabilidad, las cuales estarían representadas por los componentes diseño agroecológico, clima, suelo, plantas y manejo agronómico y fitosanitario. Debido a que estos componentes conforman un grupo amplio y complejo de condiciones, se realizó preliminarmente un análisis de correspondencia múltiple utilizando la información presentada a lo largo del presente capítulo, con el fin de orientar la búsqueda de las variables a medir durante este proyecto. Para ello se emplearon, con autorización de los autores, los datos de 70 encuestas aplicadas a productores de mora del Oriente Antioqueño por Ríos *et al.* (2010), relacionadas con niveles de incidencia y daño de la perla de tierra colombiana, el componente biofísico de dichas fincas, la infraestructura de apoyo a la producción de mora, la tecnología del sistema de producción y la caracterización sanitaria. Debido a que el análisis no arrojó ningún tipo variables que se relacionaran con la incidencia del insecto en las fincas (Figura 2-13), se decidió trabajar a escala de cultivo, explorar nuevas herramientas de medición y análisis con uso potencial no destructivo, que permitieran la detección de *E. colombianus* en cultivos de mora (Capítulo 3) e incorporar múltiples estrategias para medir variables agronómicas, bioquímicas, microbiológicas y biofísicas de suelo rizosférico y plantas de mora. Para la selección de las variables se consideraron dos aspectos fundamentales: 1) las características propias del insecto *E. colombianus* tales como el desarrollo de todo su ciclo de vida en el suelo y la succión de alimento del floema en las raíces de las plantas y 2) factores antropogénicos como el manejo agronómico y fitosanitario, que posiblemente han transformado el ambiente edáfico y las plantas de mora en un medio que propicia la presencia y daños causados por el insecto (Capítulo 4).

Figura 2-13: Mapa de correspondencia múltiple empleando variables evaluadas por Ríos *et al.* (2010). Fincas sin insecto (línea negra), fincas con insecto (línea roja), variables (puntos verdes)



3. Aplicación de la espectroscopía del infrarrojo cercano en la detección de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) en mora

*Este capítulo se encuentra publicado en: Meneses, E.; Arango, G.; Correa, G.; Ruiz, O.; Vargas, L.G.; Pérez, J.C. (2015). Detección de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) en mora por espectroscopía del infrarrojo cercano. Revista Acta Agronómica – Palmira, Colombia. 64 (3):280 - 288.*

3.1 Resumen

La selección de métodos apropiados para muestreo y análisis es un aspecto importante en el estudio de plagas subterráneas. El conocimiento de su biología depende del uso de herramientas sensibles para su detección en el ambiente complejo del suelo y las raíces. Recientemente se ha propuesto el uso de espectroscopia infrarroja cercana (conocida como NIR, por su sigla en inglés) para el diagnóstico fitosanitario no destructivo en cultivos, aprovechando la manifestación de propiedades ópticas únicas para cada grupo de plantas y organismos. El objetivo de este trabajo fue explorar el uso de espectroscopía NIR en muestras de hojas y suelo rizosférico, para detectar la presencia del insecto subterráneo *Eurhizococcus colombianus* en cultivos de mora (*Rubus glaucus*), en la región del Oriente Antioqueño. La información obtenida en seis fincas distribuidas en cinco municipios indica que a través de los patrones espectrales de las hojas y el suelo rizosférico es posible clasificar las plantas con presencia o ausencia del insecto dentro de cada finca. Sin embargo, no fue posible establecer un modelo general para todas las fincas. Los resultados obtenidos permiten vislumbrar una herramienta no destructiva para detectar altos contenidos de sacarosa en hojas de mora, característica de plantas con presencia de *E. colombianus* y entender las condiciones asociadas con su presencia en el cultivo, lo que favorecería el diseño de estrategias de manejo de este tipo de plaga, con base en el conocimiento de su ecología, ayudando así a la toma de decisiones ambientalmente amigables, razonables y oportunas por parte de los agricultores.

Palabras clave: Detección de infestación. Muestreos no destructivos. NIR. Perla de tierra colombiana. *Rubus glaucus* Benth.

3.2 Abstract

A key aspect in the study of underground pests is the selection of appropriate methods for sampling and analysis. Knowledge of the population parameters of such insects depends on the use of highly sensitive tools for its detection in a complex environment as the one of the soil and the roots. Near infrared (NIR) spectroscopy have been suggested as a suitable, non-destructive sampling tool, which takes advantage of specific optical signatures in different groups of plants and organisms. The aim of this study was to explore the use of NIR spectroscopy in leaves and rhizosphere soil samples as an analytical technique to define the presence of the underground insect, the Colombian ground pearl *Eurhizococcus colombianus* in blackberry crops, in Eastern of Antioquia. The information obtained high sucrose content in the leaves, which is a characteristic of blackberry plants infested with *E. colombianus*. However, it was not possible to establish a general model to detect *E. colombianus* with this method using the data gathered from all farms. These results allow us to glimpse a non-destructive tool to understand the conditions accounting for the presence of the insect in the crop. It also would help to build management strategies of such insects based on ecological knowledge, which in turn will help farmers to make sound and timely pest control decisions.

Keywords: Colombian ground pearl. Detection of infestation. NIR. Non-destructive sampling. *Rubus glaucus* Benth.

3.3 Introducción

La mora (*Rubus glaucus* Benth.) es uno de los cultivos más importantes para la economía rural en zonas alto-andinas de Colombia; sin embargo, su desempeño se ve limitado por el daño que causa *Eurhizococcus colombianus* Jakubski, 1965 (Hemiptera: Margarodidae), un insecto de hábito subterráneo, denominado perla de tierra colombiana, el cual fue registrado como plaga de importancia económica desde hace más de 30 años (Figueroa-Potes, 1946 (como *E. brasiliensis*); Jakubsky, 1965; Kondo & Gómez, 2008; Posada *et al.*, 1978). Aunque no se han establecido en forma precisa los síntomas del daño causado por este insecto en la parte aérea de la planta, autores como Castaño (2000), Carvajal (2002) y Osorio (2005) reportan que las plantas de mora infestadas por la perla de tierra colombiana presentan nudosidades en las raíces, que bloquean la respiración y la nutrición. Como consecuencia de ello, algunas plantas exhiben síntomas de clorosis, defoliación, raquitismo, enanismo, menor emisión de tallos, escasa floración o disminución de la producción, frutos pequeños y secos, que finalmente mueren. Un aspecto metodológico importante en el estudio de ésta y otras plagas del suelo es el muestreo en campo o bajo condiciones semicontroladas, ya que el método y las herramientas utilizadas son fundamentales para inferir parámetros poblacionales de las plagas o cuantificar su importancia económica (Rodríguez Del Bosque *et al.*, 2010). En los últimos años, varias investigaciones a nivel mundial se han concentrado en el desarrollo o adaptación de métodos para la detección de insectos en su ambiente natural. Algunos de ellos incluyen el uso de sensores acústicos, microtomografía por rayos-X, radares armónicos, tomografía computarizada, resonancia magnética, ultrasonido y espectroscopia de infrarrojo cercano y visible (Mankin, *et al.*, 2000; Reynolds & Riley, 2002; O'Neal *et al.*, 2004; Johnson, *et al.*, 2007; Kotwaliwale, *et al.*, 2014). La mayoría de equipos empleados para tal fin sólo pueden ser usados a escala

de laboratorio, por lo que es necesario validarlos con el fin de desarrollar equipos portátiles con posibilidad de ser usados directamente en campo.

La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) es una técnica analítica rápida, no destructiva y precisa, que es muy utilizada en la industria y la investigación científica. (Foley, *et al.*, 1998). Esta técnica permite detectar estructuras moleculares de una amplia gama de componentes orgánicos, basándose en el principio de que cada molécula presenta un espectro característico, análogo a una huella dactilar, que se genera por la interacción de luz infrarroja con enlaces específicos de las moléculas presentes en esos compuestos (Roberts *et al.*, 2004; Susurluk *et al.*, 2007). Adicionalmente, mediante técnicas de estadística multivariable y calibraciones apropiadas, los espectros pueden ser usados para desarrollar modelos predictivos o clasificatorios de muestras desconocidas con base en su espectro NIR (Acuña & Murphy, 2007). En entomología, a partir de la premisa de que cada especie y estado de desarrollo de un insecto tiene una composición química única, esta técnica ha sido usada principalmente con fines taxonómicos y para la detección no destructiva de insectos al interior de frutos y granos almacenados (Dowell *et al.*, 1999; Maghirang & Dowell, 2003; Paliwal *et al.*, 2004; Karunakaran *et al.*, 2003). No obstante, su uso en campo para detección de insectos en el suelo es aún incipiente (Foley, *et al.*, 1998; Liu *et al.*, 2009). Con el propósito de evaluar un sistema potencial para detección de *E. colombianus*, que permita emprender otros estudios de ecología y manejo del insecto, este estudio empleó mediciones de espectroscopia infrarroja en muestras de suelo rizosférico y hojas provenientes de cultivos de mora con y sin infestación de *E. colombianus*. Con pocas excepciones, para cada finca evaluada fue posible construir un modelo cualitativo que a partir del análisis espectroscópico de las muestras permite clasificar plantas infestadas o no con el insecto subterráneo *E. colombianus*, sugiriendo la posibilidad de utilizar este método para el diagnóstico del insecto en plantas de mora, de manera rápida y no destructiva.

3.4 Materiales y métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó en la subregión del Oriente Antioqueño, que es la principal zona productora de mora del Departamento de Antioquia (Colombia) y una de la más afectada por *E. colombianus*, según la más reciente caracterización biofísica y socioeconómica realizada a este cultivo por Ríos *et al.* (2010).

Selección de fincas

Para la selección de áreas experimentales se buscaron fincas con al menos dos lotes cultivados con mora (*Rubus glaucus*) de la misma edad y ecotipo, donde uno de ellos registrara la presencia del insecto en las raíces de las plantas y el otro no. Esta estrategia de selección de lotes pareados permite un mejor control de posibles factores de confusión.

Para ello, durante el segundo semestre de 2012 se realizaron visitas semanales a fincas en los municipios de El Retiro, Envigado, Guarne, Granada, La Ceja, La Unión, Rionegro, San Vicente y Santa Elena. Inicialmente se seleccionaron seis fincas en cinco de estos municipios cuyas características se resumen en la Tabla 3-1. Una vez identificadas las fincas, se evaluó la incidencia de *E. colombianus* en los cultivos de mora, utilizando el método propuesto por Osorio (2005).

Tabla 3-1: Información de las fincas seleccionadas para el estudio, edad de las plantas, ecotipo de mora (*Rubus glaucus* Benth.) e incidencia del insecto.

Municipio	Vereda	Finca	Ubicación Geográfica	Ecotipo	Nº de plantas por lote*	Edad de las plantas	Incidencia de <i>E. Colombianus</i> **
Guarne	Guapante Abajo	La Frijolera	Latitud: 06°17'39,7"N Longitud: 75°24'17,4"O Altitud: 2.453 msnm	Castilla	460	7 años	10/10
					260	7 años	0/10
Rionegro	Llanogrande	La Selva 1	Latitud: 06°08'04,3"N Longitud: 75°25'02,7"O Altitud: 2143 msnm	Castilla	248	5 años	0/10
					380	5 años	10/10
Rionegro	Llanogrande	La Selva 2	Latitud: 06°08'04,3"N Longitud: 75°25'02,7"O Altitud: 2.143 msnm	Castilla	248	5 años	0/10
					380	5 años	10/10
La Ceja	San Rafael	El Encanto	Latitud: 05°57'33,7"N Longitud: 75°27'28,4"O Altitud: 2.304 msnm	San Antonio	750	7 años	8/10
					750	7 años	0/10
El Retiro	La Amapola	La Torre	Latitud: 06°00'22,1"N Longitud: 75°29'01,1"O Altitud: 2.382 msnm	San Antonio	700	5 años	0/10
					700	5 años	10/10
Envigado	Pantanillo	El Reposo	Latitud: 06°11'06,8"N Longitud: 75°29'41,6"O Altitud: 2.364 msnm	Castilla	1200	7 años	0/10
					1500	7 años	8/10
El Retiro	Pantallio	Campo Alegre	Latitud: 05°58'53,1"N Longitud: 75°30'14,9"O Altitud: 2.133 msnm	San Antonio	200	4 años	8/10
					400	4 años	0/10

*Distancia de siembra: 3 m entre calles y 2 m entre plantas

**Número de plantas con presencia de *E. colombianus* en las raíces/número de plantas evaluadas

Toma y procesamiento de muestras

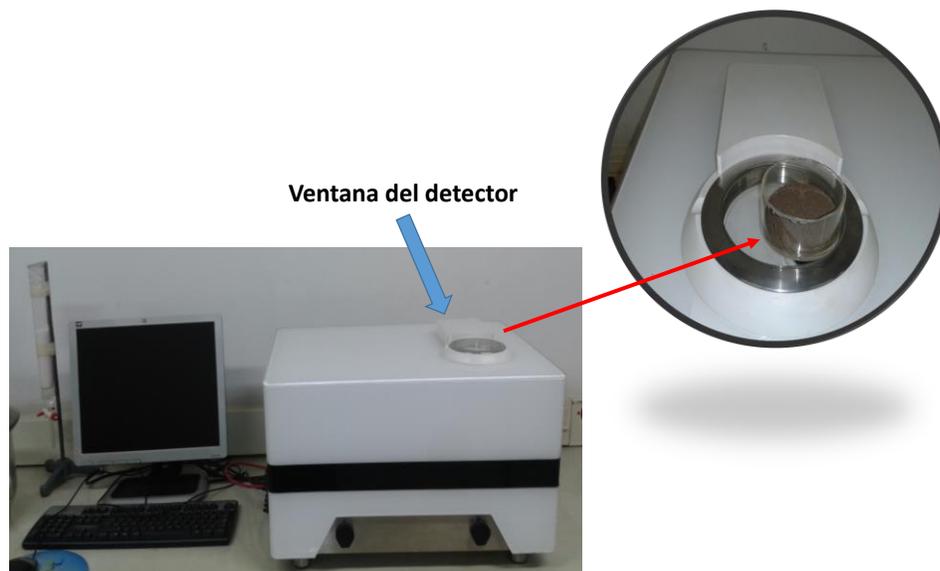
De cada lote se seleccionaron 10 plantas al azar, siguiendo una trayectoria en zig-zag, para tomar muestras de 20 plantas por finca y 140 en total. En cada planta se tomaron muestras de hojas (10 a 12 hojas desde la base hasta los ápices) y entre 50 a 100 gramos de suelo rizosférico seco. Para el transporte hasta el laboratorio las muestras de hojas se envolvieron en papel absorbente y se colocaron dentro en una bolsa plástica. Luego se dejaron secar en estufa a 40 °C, por 5 días, sobre bandejas metálicas. Finalmente fueron acondicionadas en un molino eléctrico Thomas-Wiley con tamiz de 40 μ y se almacenaron en bolsas de papel.

Las muestras de suelo rizosférico fueron tomadas del suelo adherido a las raíces de las plantas; para ello las muestras fueron agitadas fuertemente hasta remover el suelo a analizar por NIR. Posteriormente, en el Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, fueron secadas a temperatura ambiente en bandejas plásticas durante 5 días. Finalmente fueron trituradas con un rodillo de madera y pasadas a través de un tamiz de 500μ antes de almacenarlas en bolsas de papel.

Obtención de espectros NIR

Las 280 muestras procesadas (140 de suelo rizosférico y 140 de hojas) fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, por espectroscopía del infrarrojo cercano - NIR, con el fin de obtener los patrones espectrales de cada una de ellas. Para ello cada muestra fue depositada en un porta muestras de vidrio que luego se ubicaba sobre la ventana de lectura (detector) del espectroscopio (FT-NIR marca Buchi NIRFlex 500) (Figura 3-1). Las lecturas se realizaron en modo de reflectancia a longitudes de onda entre 1000 y 2500 nm, con intervalos de 2 nm. En total se obtuvieron 280 espectros —140 de hojas y 140 de suelo— que cubrieron las dos categorías de incidencia de *E. colombianus*. Cada espectro quedó conformado por 1501 valores de reflectancia, uno por cada longitud de onda medida.

Figura 3-1: Montaje del experimento con espectroscopia NIR en muestras de hojas y suelo rizosférico (Foto por Elizabeth Meneses).



Construcción de un modelo clasificatorio de incidencia del insecto

Para hallar un modelo clasificatorio de la presencia o ausencia de *E. colombianus*, se utilizaron inicialmente los datos espectrales de las hojas o del suelo rizosférico de todas las fincas como un solo conjunto de datos y posteriormente se utilizaron los datos por finca. Para ello se utilizó el análisis cualitativo del software quimiométrico NIRcal®, incorporado en el espectroscopio. El primer paso para crear el modelo general o el modelo por finca consistió en alimentar el sistema con las dos categorías de incidencia medidas en campo (presencia - ausencia), los datos espectrales obtenidos por finca y tipo de muestra y las longitudes de onda utilizadas (1000 a 2500 nm). Luego, con el fin de minimizar la contribución de los efectos físicos de las muestras (tamaño de partícula) sobre los espectros NIR y mejorar los modelos, se usaron los ajustes automáticos del software para parámetros como normalización, corrección de dispersión multiplicativa, variación estándar normal, suavización y derivadas. Para la clasificación de los datos en una de las dos categorías de incidencia con base en los espectros NIR, se utilizó un análisis de conglomerados (Cluster) con análisis de componentes principales (ACP). Finalmente se realizó una selección del modelo clasificatorio con base en el valor 'Q' o atributo de calidad arrojado por el análisis, el cual debía ser cercano a 1.

Selección de posibles variables asociadas con la presencia del insecto

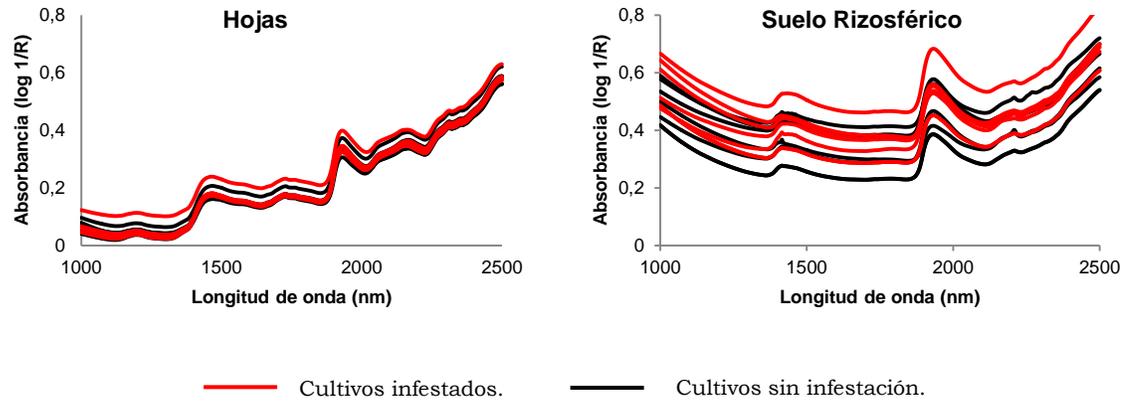
Tanto en hojas como en suelo rizosférico, se seleccionó el componente principal que reunió la mayor variabilidad de los datos. Luego fueron identificadas las variables (longitudes de onda) que conformaban dicho componente y finalmente, con base en las cargas de las variables se establecieron las longitudes de onda que estarían más asociadas con la presencia del insecto.

3.5 Resultados

Modelo general de clasificación de incidencia

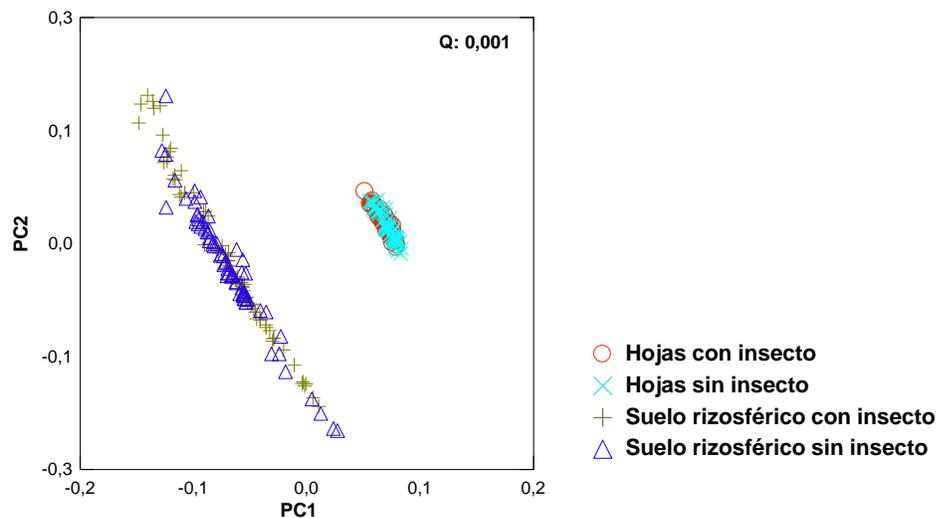
Tanto en muestras de hojas como en suelo rizosférico, se observó un patrón espectral similar entre plantas con o sin insecto (Figura 3-2).

Figura 3-2: Características de espectros infrarrojos de muestras de hojas y suelo rizosférico provenientes de cultivos de mora con (líneas rojas) y sin infestación (líneas negras) por *E. colombianus*.



Al analizar por el método Cluster con ACP los espectros de todas las fincas como un solo conjunto de datos, no se observó ni en muestras de hojas ni en suelo rizosférico diferencias entre plantas con y sin insecto, por lo tanto, no fue posible obtener un modelo clasificatorio general de incidencia para *E. colombianus* (Figura 3-3).

Figura 3-3: Modelo general de incidencia de *E. colombianus* en cultivos de mora del Oriente Antioqueño después del análisis Cluster-ACP.



Modelo para clasificar incidencia por fincas

Los análisis Cluster con ACP para los espectros tomados en muestras de cada finca presentaron 91 y 94% de acierto para las muestras de hojas y suelo rizosférico dentro de sus respectivas categorías (con insecto o sin insecto). Los valores 'Q' o atributos de calidad obtenidos fueron mayores que 0,8 en el 50% de los análisis. Para cada finca y

tipo de muestra se seleccionaron los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) ya que explicaron entre 65% y 100% el comportamiento de las variables originales. Las gráficas para cada finca de las puntuaciones de CP1 y CP2 para las muestras de hojas (Figura 3-4) y de suelo rizosférico (Figura 3-5) mostraron en general una clara diferenciación entre aquellas provenientes de plantas con y sin presencia del insecto.

Figura 3-4: Clasificación de las muestras de hojas después del análisis Cluster-ACP. **A.** Finca La Selva (Rionegro); **B.** Finca La Selva (Rionegro); **C.** Finca La Frijolera (Guarne); **D.** Finca El Encanto (La Ceja); **E.** Finca La Torre (El Retiro); **F.** Finca El Reposo (Envigado); **G.** Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).

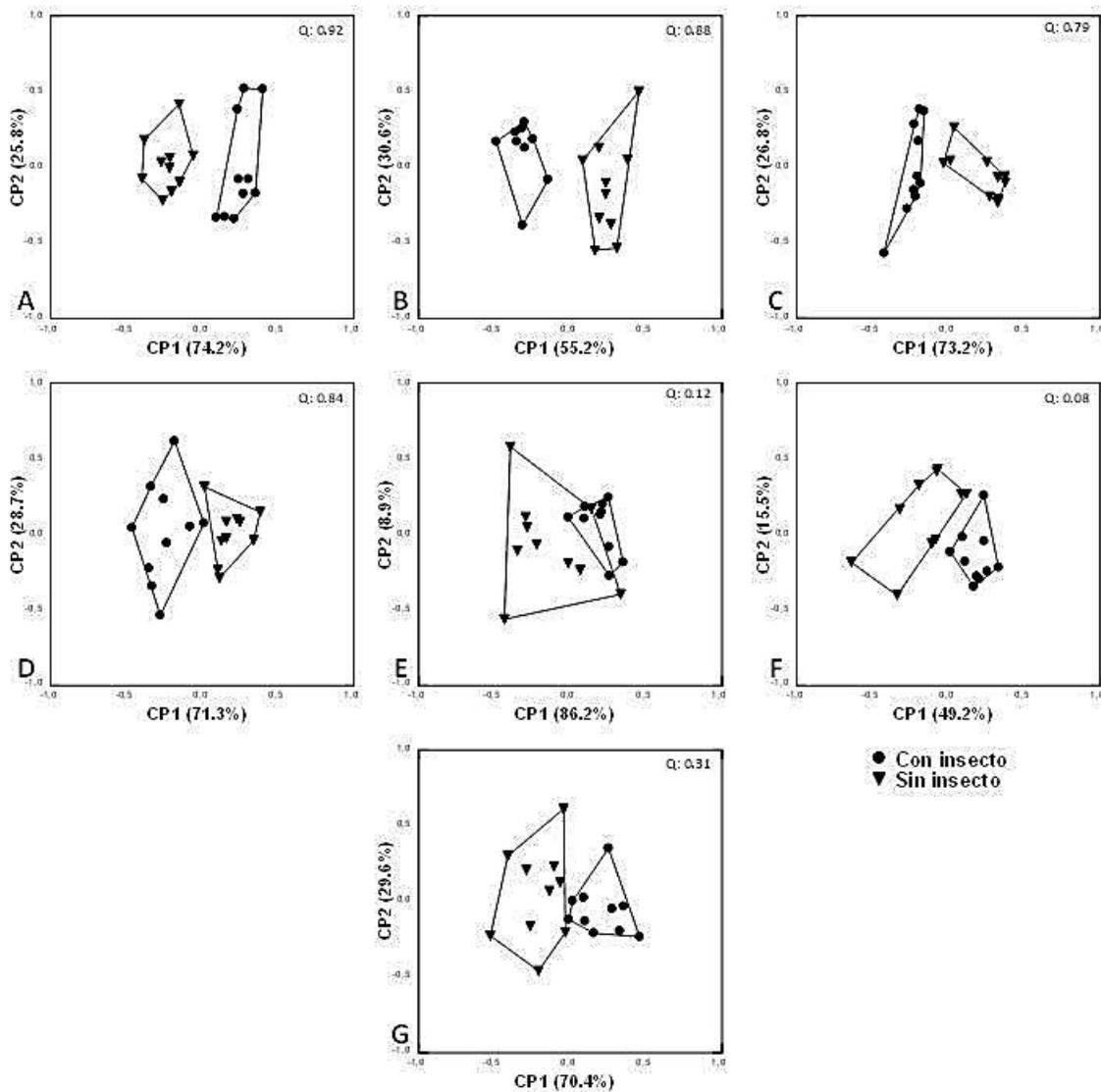
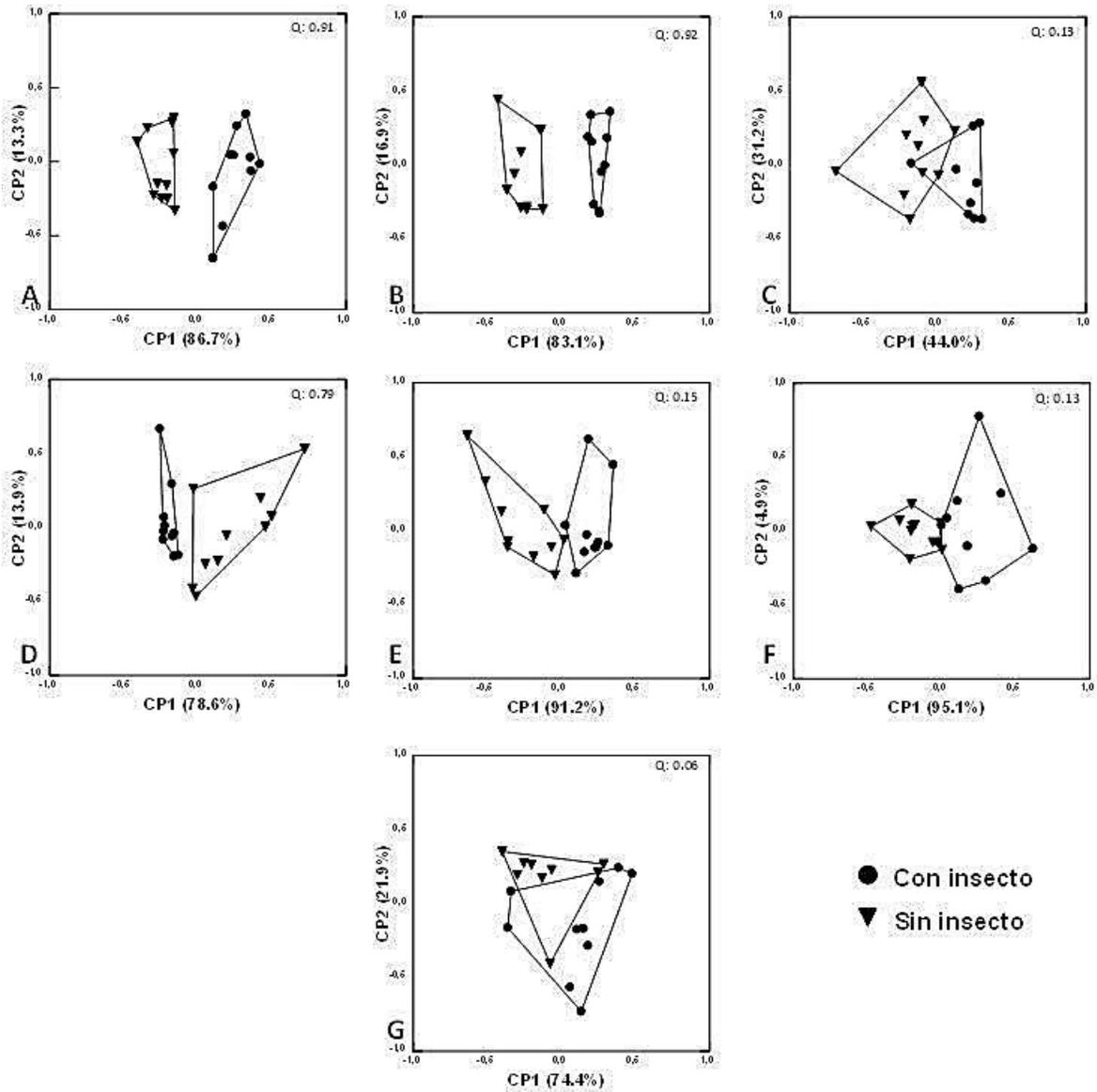


Figura 3-5: Clasificación de las muestras de suelo rizosférico después del análisis Cluster-ACP. **A.** Finca La Selva (Rionegro); **B.** Finca La Selva (Rionegro); **C.** Finca La Frijolera (Guarne); **D.** Finca El Encanto (La Ceja); **E.** Finca La Torre (El Retiro); **F.** Finca El Reposo (Envigado); **G.** Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).



Selección de posibles variables asociadas con la presencia del insecto

Considerando que para las fincas, excepto para Campo Alegre, se observó una buena discriminación sobre el eje de la primera componente principal, se identificaron las regiones del espectro NIR con mayores cargas sobre esta componente, tanto en muestras de hojas (Figura 3-6) como en suelo rizosférico (Figura 3-7). Estas regiones posiblemente se encuentran más asociadas con la presencia del insecto.

Figura 3-6: Regiones NIR que conforman los componentes principales CP1 y CP2, para cada finca en muestras de hojas. Regiones NIR más separadas en la horizontal o vertical contribuyen más a la diferenciación de muestras con o sin presencia de insectos: **A.** Finca La Selva (Rionegro); **B.** Finca La Selva (Rionegro); **C.** Finca La Frijolera (Guarne); **D.** Finca El Encanto (La Ceja); **E.** Finca La Torre (El Retiro); **F.** Finca El Reposo (Envigado); **G.** Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).

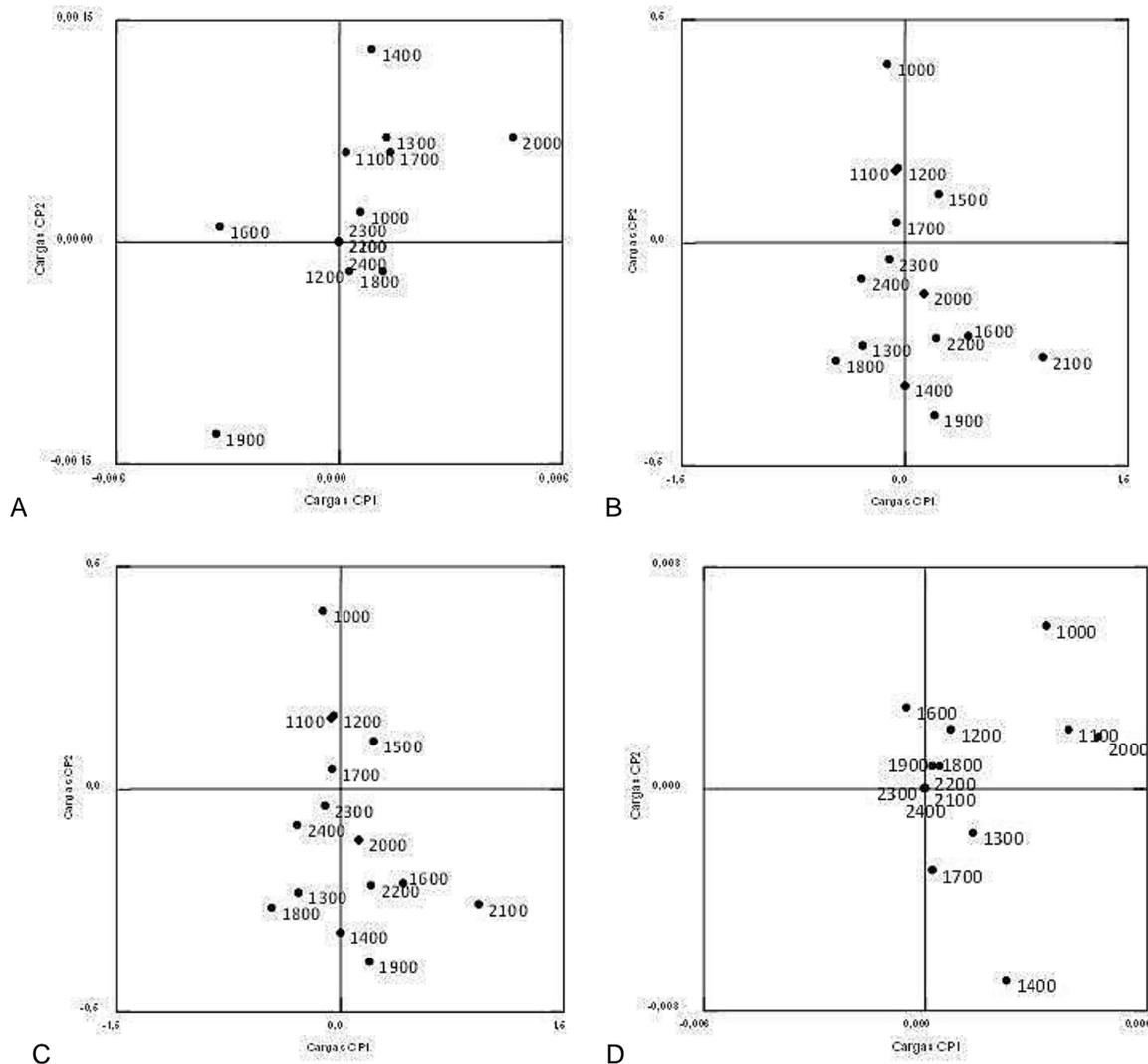


Figura 3-6: (Continuación)

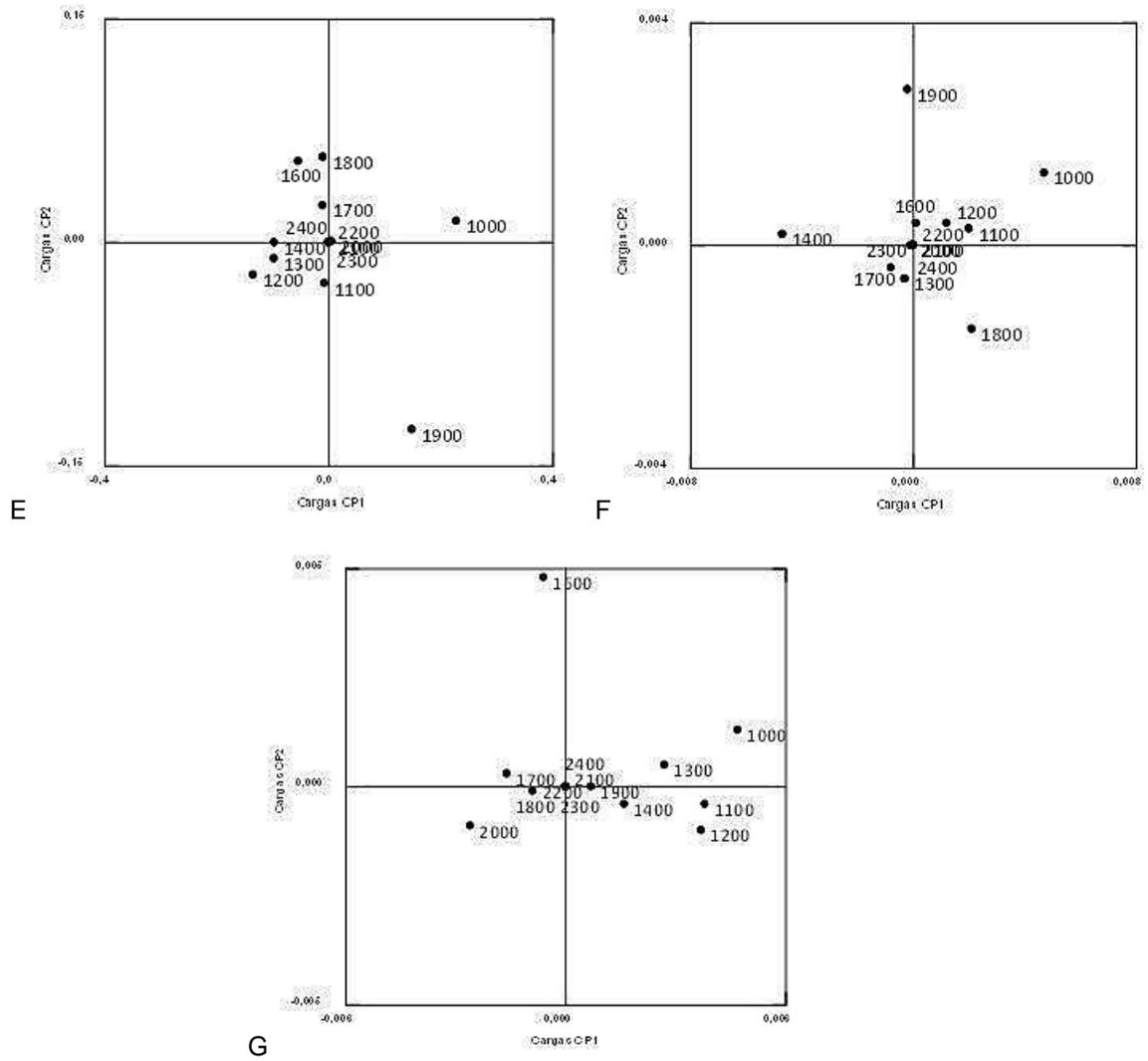


Figura 3-7: Regiones NIR que conforman la CP1 y CP2, para cada finca en muestras de suelo rizosférico. Regiones NIR mas separadas en la horizontal o vertical contribuyen más a la diferenciación de muestras con o sin presencia de insectos: **A.** Finca La Selva (Rionegro); **B.** Finca La Selva (Rionegro); **C.** Finca La Frijolera (Guarne); **D.** Finca El Encanto (La Ceja); **E.** Finca La Torre (El Retiro); **F.** Finca El Reposo (Envigado); **G.** Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).

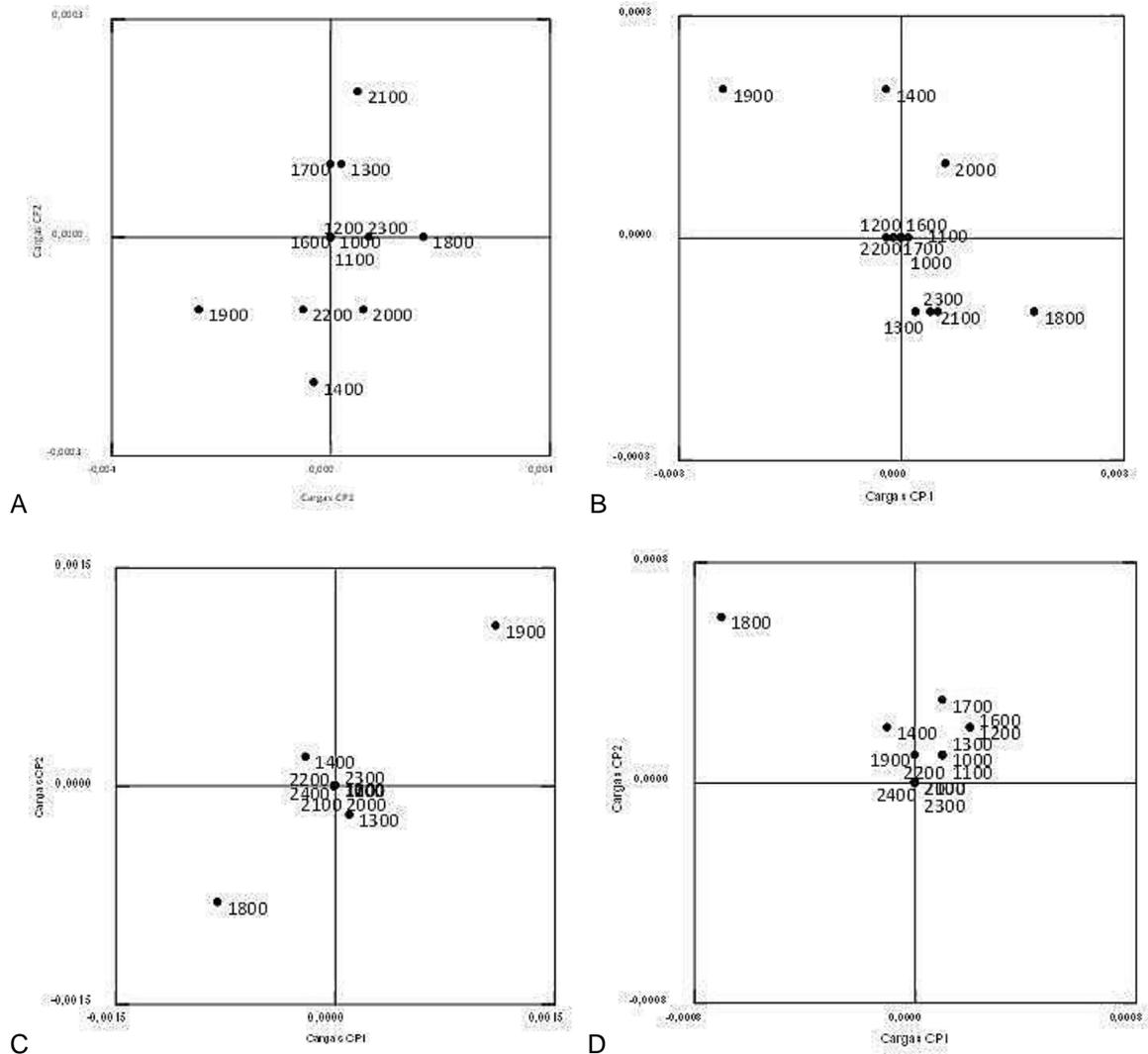
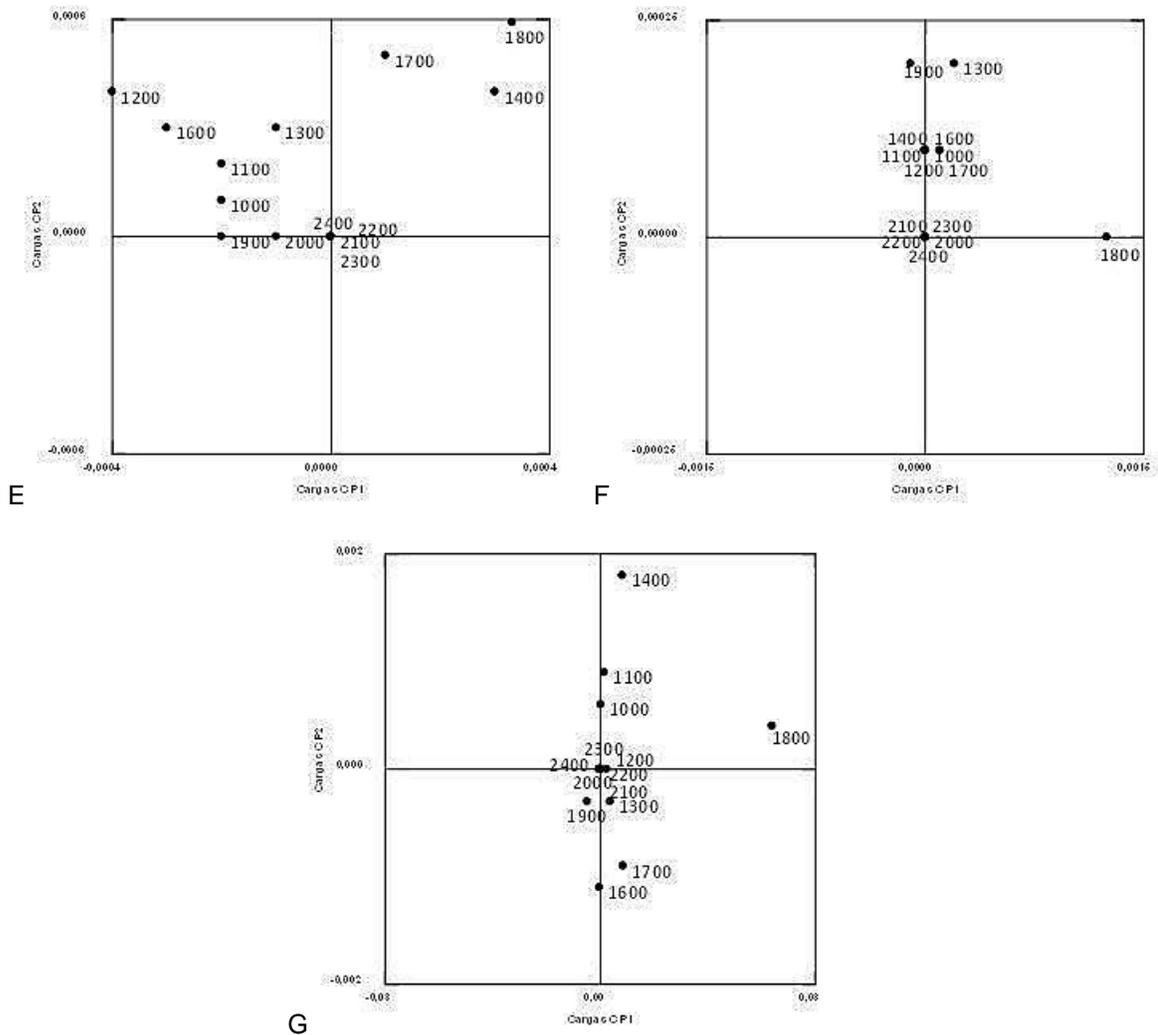


Figura 3–7: (Continuación)



En las Figuras 3-6 y 3-7 es posible observar que, en general, en todas las fincas las muestras de suelo rizosférico exhiben un patrón muy similar con respecto a las regiones responsables de la conformación de la CP1 y por tanto, de la diferenciación de los grupos. Tales regiones aparecen representadas como aquellos puntos más alejados del centro sobre el eje horizontal, es decir, 1400 - 1499 nm, 1800 - 1899 nm y 1900 - 1999 nm. Para el caso de las muestras de hojas, este patrón es cambiante entre fincas.

3.6 Discusión

En este estudio, el uso de espectroscopía NIR permitió clasificar plantas de mora (*R. glaucus*) afectadas o no por perla de tierra colombiana *E. colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) en los huertos estudiados. No obstante, al analizar los espectros obtenidos en las seis fincas como un solo conjunto de datos, no fue posible obtener un modelo clasificatorio general de incidencia para *E. colombianus*. Estos resultados sugieren que los patrones obtenidos en porciones del espectro infrarrojo cercano podrían considerarse como posibles parámetros para la detección de *E. colombianus* en cultivos de mora y también para entender las condiciones generales asociadas con la presencia del insecto en el cultivo. También se evidenció la necesidad de calibrar en cada finca este tipo de herramienta.

La aplicación de espectroscopía NIR ha tenido gran aceptación debido a sus ventajas sobre otras técnicas analíticas convencionales (Blanco & Villarroya, 2002). En consonancia con estos autores, una ventaja observable de esta técnica es la capacidad para generar rápidamente información bioquímica superficial, a partir de muestras sólidas (hojas y suelo rizosférico) mínimamente procesadas, reduciendo así los costos y el tiempo requerido para los análisis.

Según Lavine (1998), una posible desventaja consiste en que las matrices complejas de datos espectrales que se obtienen con el NIR requieren del conocimiento y la aplicación de métodos quimiométricos (procedimientos matemáticos y estadísticos) muy elaborados para extraer información de utilidad. Pero esta dificultad puede ser evitada gracias a los avances en computación y al desarrollo de nuevos algoritmos incorporados a los equipos espectroscópicos. El ACP es un análisis multivariado de gran relevancia para agrupar datos espectrales con características similares y establecer métodos de clasificación para muestras desconocidas (Paliwal *et al.*, 2004; Xing & Guyer, 2008; Liu *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2010). Un ejemplo claro de ello es el trabajo realizado por Maghirang y Dowell (2003) sobre insectos en granos almacenados, donde a través del NIR lograron diferenciar ($P < 0.05$) granos de trigo sanos de aquellos que contenían el insecto *Sitophilus oryzae* L.

Si bien es cierto que en este estudio el análisis Cluster con ACP mostró una clara diferenciación entre muestras provenientes de cultivos con y sin infestación por *E. colombianus*, no se logró establecer un modelo clasificatorio general de incidencia a partir de los datos espectrales conjuntos de las seis fincas. Lo anterior sugiere que los patrones obtenidos para cada finca a través del NIR dependieron de las propiedades físicas y químicas de las muestras analizadas en este estudio, tales como tamaño de partícula y presencia de enlaces químicos C-H, N-H, O-H y S-H (Blanco & Villarroya, 2002), propiedades que podrían ser específicas para cada sitio (Blanco *et al.*, 1998) al estar influenciadas tanto por condiciones naturales, como por condiciones inducidas por el uso de los suelos (Jaramillo, 2009) y el manejo agronómico de las plantas. Al tratarse de muestras complejas (hojas y suelo rizosférico) obtenidas bajo condiciones no controladas, es posible que sus propiedades no lograran ajustarse a un mismo modelo con el sólo pretratamiento de los datos (Candolfi *et al.*, 1999). Por tanto, para estudios posteriores sería conveniente contar con una matriz de datos espectrales más amplia,

que incluya todas las variaciones físico-químicas esperadas en las muestras y con un método de muestreo más riguroso del tipo de hojas y suelo rizosférico que se deba recolectar, que podrían ser incluidas como variables de apoyo en un análisis discriminante.

Algunos investigadores como Smith (1999) afirman que la espectroscopia infrarroja clasifica bien sustancias puras, ya que todas las bandas pueden ser asignadas a una estructura molecular única; sin embargo, Downey y Boussion (1996) probaron que la espectroscopía NIR puede ser usada como herramienta discriminatoria de materiales orgánicos complejos, al lograr diferenciar con un 95% de éxito mezclas de café, tomando como base su concentración de cafeína. Aunque en este estudio no se detectaron compuestos particulares que se relacionen directamente con la interacción insecto - planta, sí se construyó un método que representa en forma de bandas espectrales muy generales los compuestos liberados por la planta, las condiciones del suelo, el insecto o la interacción entre todos ellos. Para identificar los compuestos clave de estas interacciones, será necesario utilizar compuestos puros que se utilicen como patrones de referencia. A partir de este punto y para la detección aún más específica de algunos compuestos podrían usarse otras técnicas analíticas, como la espectroscopía de infrarrojo medio, que presenta bandas espectrales más definidas, aunque requiere una preparación muy elaborada de las muestras para análisis.

De acuerdo con Foley *et al.* (1998) la espectroscopia NIR tiene un enorme potencial como herramienta holística para investigar atributos complejos en sistemas naturales. Un buen ejemplo de este enfoque es el estudio de Rutherford y Van Staden (1996) sobre la resistencia de diferentes cultivares de caña de azúcar al ataque de los barrenadores del tallo. Estos investigadores desarrollaron un modelo sobre datos NIR para predecir la resistencia de cultivares de caña de azúcar al lepidóptero *Eldana saccharina* Walker, encontrando que las longitudes de onda que más contribuyeron a la resistencia en caña de azúcar pertenecían a componentes de la cera (alcoholes y componentes carbonilo) en la superficie de los tallos. Lo anterior sugiere que cuando se estudian muestras o procesos complejos, estos por lo general no están asociados con una única variable sino con un conjunto considerable de ellas (Wold, 1991). Bajo las condiciones evaluadas en este estudio y luego de analizar la amplia información contenida en la CP1 de cada finca (Figuras 3-6 y 3-7), se puede afirmar que existe más de una banda espectral asociada con la presencia del insecto en las muestras de hojas (1000–2099 nm) y en el suelo rizosférico (1400–1499 nm; 1800–1899 nm; 1900–1999 nm).

Una posible explicación del por qué las regiones NIR que conforman la CP1 en las muestras de suelo rizosférico son similares para siete cultivos en las seis fincas (Figura 3-7), independientemente del pretratamiento utilizado, podría hallarse en el tipo de suelo. Al ser todas las muestras del orden Andisol, estas exhibieron características únicas y distintivas de estos suelos, como la alta capacidad de retención de humedad (Jaramillo, 2009). De acuerdo con Cambule *et al.* (2012), la humedad se detecta en un espectro NIR con picos en 1400 y 1900 nm, que corresponden a los grupos OH de la humedad en el suelo; sin embargo, estas interpretaciones deben tomarse con precaución ya que los autores citados hacen referencia a muestras obtenidas en condiciones ambientales diferentes.

Con respecto a las variables responsables de la diferenciación espectral en las hojas, es posible afirmar que la falta de un CP1 similar para todas las fincas es debido a variaciones en los componentes químicos, tanto primarios como secundarios del follaje (Edwards *et al.*, 1993), que si bien no se logran identificar con precisión a través de esta técnica, permitieron desarrollar modelos para explicar un alto porcentaje de la variabilidad en cada finca. Este resultado concuerda con un estudio citado por Foley *et al.* (1998), en el cual a través del NIR se logró desarrollar un modelo que explicó el 88% de la variación en la resistencia a la defoliación de árboles de eucalipto, con base únicamente en los caracteres espectrales del follaje y no en la identificación de las bandas más importantes del espectro.

Por todo lo anterior, es posible pensar que al refinar los análisis espectroscópicos en hojas se podrá monitorear al insecto *E. colombianus* sin necesidad de destruir las plantas. Esto le permitiría al agricultor tomar decisiones oportunas, efectivas y económicas para el manejo del insecto y a su vez generaría menor impacto negativo en el ambiente por las medidas de control tomadas. Adicionalmente, motiva a pensar mejor en la aplicación de fundamentos de espectroscopia NIR para desarrollar equipos portables que identifiquen de manera rápida la presencia o ausencia del insecto en campo, lo que ahorraría tiempo y dinero al agricultor. Si se calibra previamente, esta herramienta podría incorporarse como un nuevo método de diagnóstico fitosanitario no destructivo, que mejoraría el conocimiento y monitoreo sanitario de cultivos de mora en Colombia. Adicionalmente, es aconsejable incluir técnicas analíticas complementarias cuando se desee pasar de estos estudios exploratorios a las pruebas de hipótesis o a la detección de compuestos específicos involucrados en las interacciones planta-insecto.

3.7 Conclusión

La espectroscopia infrarroja usada como técnica analítica comparativa permitió clasificar para cada finca plantas o suelo rizosférico de cultivos de mora por la presencia o ausencia del insecto subterráneo *E. colombianus*. Sin embargo, no fue posible construir un modelo clasificatorio general que involucre todas las fincas.

4. Condiciones del suelo rizosférico y plantas asociadas con la incidencia de *Eurhizococcus colombianus* en cultivos de mora del Oriente Antioqueño

4.1 Resumen

El Oriente Antioqueño, en Colombia, presenta condiciones naturales favorables para la producción de mora; sin embargo, los daños causados por *Eurhizococcus colombianus* en raíces, ocasionan altibajos en productividad y pérdida de cultivos. Para abordar este problema desde un enfoque agroecológico es prerequisite entender y atender las causas del brote poblacional. El propósito de este trabajo fue detectar algunas condiciones asociadas a la presencia de *E. colombianus* en cultivos de mora del Oriente Antioqueño. Para ello, se seleccionaron seis fincas de la región, que presentarán al menos dos lotes cultivados con mora de la misma edad y variedad y donde uno de ellos presentara raíces afectadas por el insecto y el otro no. De cada lote se seleccionaron 10 plantas al azar y se midieron 21 variables que incluyeron condiciones asociadas al suelo rizosférico o las plantas. Un análisis discriminante de estas variables arrojó una función clasificatoria de incidencia de *E. colombianus*, compuesto por cuatro variables medidas en la planta y siete en la rizósfera. La validación de esta función utilizando el mismo conjunto de datos, predijo con 86% de precisión la incidencia de los insectos en las plantas de mora evaluadas. Específicamente, aumentos en contenido de sacarosa en hojas, se asociaron más con la clasificación de plantas con insectos. De ser validada, ésta función contribuirá sustancialmente al entendimiento de las causas del brote poblacional y al desarrollo de estrategias de manejo sostenible para *E. colombianus*, reduciendo el alto consumo de insecticidas empleados para su control y los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

Palabras clave: Análisis discriminante. Manejo agroecológico de plagas. Perla de tierra colombiana. Plantas de mora. Rizósfera.

4.2 Abstract

Blackberry plants are well suited to the natural conditions found in the Eastern of Antioquia (Colombia). However, the damage caused by the Colombian ground pearl *Eurhizococcus colombianus* to plant roots accounts for fluctuations in productivity and crop failure. Understanding and addressing the causes of population outbreaks of this insect are prerequisites to address its management from an agroecological approach. This study addressed the conditions associated with the presence of *E. colombianus* in blackberry crops in the Eastern of Antioquia. In an extensive sampling along the region, six farms were selected, each one with two lots cultivated with blackberry plants of the same age and variety. One of the lots presented plant roots affected by the insect while the other one was healthy. In each lot 10 plants were randomly selected to measure 21 variables that included plant and soil conditions. The discriminant analysis of these variables yielded a classification function of incidence of *E. colombianus*, composed of four plant and seven rhizosphere variables. The auto-validation of this function, predicted with 86% accuracy the incidence of the insect in the blackberry plants tested. Specifically, an increased content of sucrose in the leaves was the most influential variable to classify plants infested by the insect. If validated, this function will contribute to understand the nature of *E. colombianus* outbreaks, and will aid to build sustainable management strategies for the insect. This in turn will reduce the high consumption of insecticides used in this crop, and the negative impacts to human health and the environment.

Key words: Agro-ecological pest management. Blackberry plants. Colombian ground pearl. Discriminant analysis. Rhizosphere.

4.3 Introducción

La cochinilla o perla de tierra colombiana *Eurhizococcus colombianus* Jakubski, 1965, (Hemiptera: Margarodidae) es uno de los limitantes fitosanitarios reportados por la cadena frutícola colombiana (Sistema de Información de Innovación Agropecuaria (Siembra), 2014). Este insecto de hábito subterráneo afecta el sistema radical de un amplio rango de hospederos, siendo la mora (*Rubus glaucus* Benth.), uno de los más afectados, con registros de pérdidas de plantaciones del 70 y hasta 100% en los departamentos de Caldas y Antioquia, respectivamente (Castrillón *et al.*, 2000a; Carvajal, 2002). Todas las estrategias de manejo empleadas hasta ahora han sido ineficientes, incluido el uso intensivo de insecticidas tóxicos (fosforados, clorofosforados y carbamatos), los cuales generan impactos negativos en la salud humana y los componentes ambientales (Castrillón *et al.*, 2000a).

Bajo un enfoque agroecológico para el manejo de plagas, es preciso entender y atender primero las causas que provocan los brotes poblacionales del insecto (Barrera, 2007). Debido a que las causas pueden ser multifactoriales, se hace necesario el uso de métodos de análisis capaces de abordarlas conjuntamente. Para ello se utilizan marcos de evaluación (Altieri & Nicholls, 2002; Galvan *et al.*, 2008; Perez, 2010) y modelos dinámicos (Speelman & García, 2010; Quijano *et al.*, 2010), donde la idea general es alejarse del estudio aislado de los elementos bióticos y abióticos de un sistema, para concentrarse en los patrones de comportamiento que conectan dichos elementos. Pero

el éxito en la aplicación de ese tipo de métodos depende de la calidad de la información que se suministre, es decir, que se incluyan variables que representen aspectos esenciales de la realidad que se desea estudiar (Quijano *et al.*, 2010). Para ello, es necesario el trabajo interdisciplinario y el uso de herramientas de medición y análisis suficientemente robustos y sensibles.

Autores como Altieri y Nicholls (2003), Magdoff y Vans (2000) y Villalobos y Núñez (2010) sugieren que a través del estudio de la calidad del suelo, es posible identificar las condiciones que favorecen la vulnerabilidad de los agroecosistemas al daño por plagas. Esos autores indican que contenidos bajos de materia orgánica y reducida actividad biológica generan condiciones no óptimas de agua, aire y nutrientes en el suelo, así como una menor ocupación de nichos y menor dinámica predador presa, resultando en plantas débiles y menos tolerantes al daño por insectos. En esa misma línea, Risch *et al.* (1983) y Nicholls y Altieri (2002), sugieren que la uniformidad genética, los inadecuados arreglos espacio – temporales de la vegetación y la tecnología empleada (fertilización, control de plagas y enfermedades, labores culturales), tienen un efecto especial sobre la diversidad y abundancia de insectos fitófagos a escala local, ya que pueden generar pérdida de resistencia genética y ecológica, cambios en la arquitectura, tamaño y forma de crecimiento de las plantas, así como cambios en la variedad y cantidad de recursos (metabolitos primarios y secundarios) presentes en las mismas, ofreciendo a los insectos considerados plaga, un ambiente propicio para expresar su estrategia reproductiva y a los enemigos naturales ausencia de refugios que permitan mantener sus poblaciones a niveles adecuados. Aunque el concepto puede ser válido, las dimensiones exactas de esas propiedades, que permitirían plantas menos vulnerables a insectos plaga, dependerían de cada agroecosistema y deberían determinarse localmente.

Como un primer acercamiento al manejo agroecológico de *E. colombianus*, este trabajo planteó como objetivo, conocer algunas condiciones de suelos y plantas que están asociadas con la presencia del insecto en los cultivos de mora del Oriente Antioqueño. Para ello, se incorporaron múltiples estrategias para medir variables agronómicas, bioquímicas, microbiológicas y biofísicas de suelos y plantas. Para su selección se consideraron dos aspectos fundamentales: 1) las características propias del insecto *E. colombianus* tales como el desarrollo de todo su ciclo de vida en el suelo y la succión del alimento del floema en las raíces de las plantas y 2) factores antropogénicos como el manejo agronómico y fitosanitario, que posiblemente han transformado el ambiente edáfico y las plantas de mora del Oriente Antioqueño en un medio que propicia la presencia y daños causados por el insecto.

Debido a la naturaleza multidimensional en esta perspectiva, el análisis estadístico se basó en un análisis discriminante, técnica que ayuda a identificar las variables o conjuntos de ellas, que diferencian dos o más grupos de datos, y permite crear una función clasificadora de los miembros de uno u otro grupo con la mayor precisión posible (Cuadras, 1981; Afifi & Clark, 1996).

4.4 Materiales y métodos

Área de estudio

Esta investigación se realizó en la subregión del Oriente Antioqueño, principal zona productora de mora del Departamento de Antioquia y una de la más afectadas por *E. colombianus* según la más reciente caracterización biofísica y socioeconómica realizada a este cultivo por Ríos *et al.* (2010). El sistema de análisis sobre el cual se realizó el estudio fue constituido por catorce cultivos de mora de la zona.

Selección de fincas

La selección se condicionó a que las fincas presentarán al tiempo dos lotes cultivados con mora (*Rubus glaucus*) de la misma edad y ecotipo, donde uno de ellos registrara la presencia del insecto en las raíces de las plantas y el otro no. Esta estrategia de selección pareada permite un mejor control de posibles factores de confusión. Para ello, durante el segundo semestre del año 2012 se realizaron excursiones semanales a fincas en los municipios de El Retiro, Envigado, Guarne, Granada, La Ceja, La Unión, Rionegro y San Vicente. Finalmente se seleccionaron seis fincas en cinco de esos municipios, cuyas características se resumen en la Tabla 4-1. Una vez identificadas las fincas, se evaluó la incidencia de *E. colombianus* en los cultivos de mora, utilizando el método propuesto por Osorio (2005).

El rango altitudinal de la zona de estudio es de 1550 – 2570 msnm. En esta zona se presentan precipitaciones anuales entre 1400 - 3125 mm, una condición de exceso de humedad disponible en el suelo y bajas temperaturas promedio (16°C). La zona de vida, bosque húmedo montano bajo (bh- MB) y bosque muy húmedo montano Bajo (bmh-MB), se caracteriza por poseer topografía ondulada (pendientes que van desde menores de 3% hasta mayores de 75%, siendo las más frecuentes entre 12 y 25%) (Jaramillo, 1995). En la zona predominan suelos del orden Andisol (clasificados de manera general por Jaramillo (1995) en tres grandes grupos Melanudand, Fulvudand y Hapludand) los cuales se caracterizan por ser de origen volcánico de diferente grado de evolución, predominantemente ácidos, con alta capacidad de intercambio aniónico, alta fijación de fosfatos, altos contenidos de materia orgánica, bajos contenidos de bases intercambiables, desbalance entre las bases y con media a baja fertilidad natural (Jaramillo, 1995).

Tabla 4-1: Información de las fincas seleccionadas para el estudio, edad de las plantas, ecotipo de mora (*Rubus glaucus* Benth.) e incidencia del insecto.

Municipio	Vereda	Finca	Ubicación Geográfica	Ecotipo	Nº de plantas por lote*	Edad de las plantas	Incidencia de <i>E. Colombianus</i> **
Guarne	Guapante Abajo	La Frijolera	Latitud: 06°17'39,7"N Longitud: 75°24'17,4"O Altitud: 2.453 msnm	Castilla	460	7 años	10/10
					260	7 años	0/10
Rionegro	Llanogrande	La Selva 1	Latitud: 06°08'04,3"N Longitud: 75°25'02,7"O Altitud: 2143 msnm	Castilla	248	5 años	0/10
					380	5 años	10/10
Rionegro	Llanogrande	La Selva 2	Latitud: 06°08'04,3"N Longitud: 75°25'02,7"O Altitud: 2.143 msnm	Castilla	248	5 años	0/10
					380	5 años	10/10
La Ceja	San Rafael	El Encanto	Latitud: 05°57'33,7"N Longitud: 75°27'28,4"O Altitud: 2.304 msnm	San Antonio	750	7 años	8/10
					750	7 años	0/10
El Retiro	La Amapola	La Torre	Latitud: 06°00'22,1"N Longitud: 75°29'01,1"O Altitud: 2.382 msnm	San Antonio	700	5 años	0/10
					700	5 años	10/10
Envigado	Pantanillo	El Reposo	Latitud: 06°11'06,8"N Longitud: 75°29'41,6"O Altitud: 2.364 msnm	Castilla	1200	7 años	0/10
					1500	7 años	8/10
El Retiro	Pantalio	Campo Alegre	Latitud: 05°58'53,1"N Longitud: 75°30'14,9"O Altitud: 2.133 msnm	San Antonio	200	4 años	8/10
					400	4 años	0/10

*Distancia de siembra: 3 m entre calles y 2 m entre plantas

**Número de plantas con presencia de *E. colombianus* en las raíces/número de plantas evaluadas

Procesamiento de muestras y toma de datos

De cada lote de mora se seleccionaron al azar 10 plantas en etapa productiva, siguiendo una trayectoria en zig-zag, muestreándose, por tanto, 20 plantas por finca y 140 en total. En cada planta se midieron 21 variables, 12 en la rizósfera (Tabla 4-2) y 9 en la planta (Tabla 4-3).

Tabla 4-2: Variables medidas en las raíces y rizósfera de plantas de mora

Variable	Unidad de medida	Método empleado
Compactación del suelo	PSI	Resistencia a la penetración (Jaramillo, 2011), medidor digital marca FieldScout SC – 900. Spectrum Technologies, Inc.
Densidad aparente	mg m ⁻³	Cilindro biselado (Jaramillo, 2011).
Humedad de la rizósfera	%	Contenido volumétrico de agua (Jaramillo, 2011), medidor digital marca FieldScout TDR 300. Spectrum Technologies, Inc.
Temperatura de la rizósfera	°C	Termómetro digital de 11,5 cm de longitud. Spectrum Technologies, Inc.
pH de la rizósfera	pH	Potenciómetro (Jaramillo, 2011), medidor digital marca IQ 150 con sonda ISFET. Spectrum Technologies, Inc.
Materia orgánica de la rizósfera	%	Método Walkley Black (Jaramillo, 2011).
Colonización de raíces por micorrizas	%	Protocolo de clarificación y tinción de raicillas (Vierheilig <i>et al.</i> , 1998). Estimación de colonización (Giovanetti & Mosse, 1980).
Colonización de raíces por hongos septados oscuros		
Sin colonización de raíces		
Actividad enzimática total en la rizósfera	mg Fluoresceína/ kg suelo/ 3h	Método FDA (proteasas, lipasas, esterasas) (Green <i>et al.</i> , 2006).
Concentración de sacarosa en suelo de la rizósfera (1441 nm)	Absorbancia	Espectroscopia del infrarrojo cercano NIR. (BÜCHI LABORTECHNIK AG, 2013) (Workman & Weyer, 2008)
Concentración de glucosa en suelo de la rizósfera (2273 nm)		

Tabla 4-3: Variables medidas en la parte aérea de plantas de mora

Variable	Unidad de medida	Método empleado
Altura de la planta	Cm	Flexómetro desde la base hasta el ápice de la planta
Número de tallos basales por planta	Unidad	Conteo
Diámetro de tallos basales	Cm	Pie de rey electrónico en la base de los tallos
Tipo de rama	Unidad	Conteo de ramas vegetativas y productivas
Concentración de sacarosa en hojas (1441 nm)	Absorbancia	Espectroscopia del infrarrojo cercano NIR. (BÜCHI LABORTECHNIK AG, 2013) (Workman & Weyer, 2008)
Concentración de glucosa en hojas (2273 nm)		
Apariencia de la planta	%	Nivel de clorosis
Presencia de arvenses en la zona de plateo		Cobertura del suelo en la zona de plateo
Daños por plagas y enfermedades		Signos de daño por plagas y enfermedades.

▪ **Variables medidas en la raíz y suelo de la rizósfera**

Para la medición de materia orgánica, actividad enzimática total y contenidos de glucosa y sacarosa, se tomaron muestras de suelo adherido a las raíces de las plantas; para ello se introdujeron las raíces con suelo en una bolsa plástica, se agitaron fuertemente hasta remover el suelo y obtener una cantidad equivalente a 50-100 gramos de suelo seco. Posteriormente, las muestras se llevaron al laboratorio de Microbiología de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín y se dejaron secar sobre bandejas plásticas, a temperatura ambiente, durante cinco días. Después las muestras se trituraron con un rodillo de madera, se tamizaron en tamiz de 500 μ y se almacenaron en bolsas de papel. Para las variables colonización de raíces por micorrizas y hongos septados oscuros, se recolectaron de cada planta muestras de raicillas, las cuales se introdujeron de manera independiente en bolsas plásticas y se llevaron al laboratorio donde fueron procesadas como lo indica la Tabla 4-2. Las demás variables de rizósfera fueron medidas directamente en campo.

▪ **Variables medidas en la parte aérea de las plantas**

Para los análisis de espectroscopía NIR se recolectaron hojas al azar desde la base hasta los ápices, hasta completar entre 10 a 12 hojas por planta, utilizando tijeras podadoras. En el laboratorio se dejaron secar en estufa a 40°C, por cinco días, sobre bandejas metálicas. Posteriormente, las muestras de hojas se molieron en un molino eléctrico Thomas-Wiley con tamiz de 40 μ y se almacenaron en bolsas de papel. Las demás variables de la planta fueron medidas directamente en campo. Para facilidad en la medición de la variable control de arvenses, cada planta se dividió en cuatro cuadrantes (norte, sur, este, oeste). Para las variables apariencia de la planta y control de plagas y enfermedades, cada planta se dividió en cuatro estratos (raíces, estrato bajo, medio y alto). Las tres variables se valoraron de acuerdo a las escalas de evaluación propuestas por Pérez (2010) (Tabla 4-4).

Tabla 4-4: Escalas de evaluación utilizadas para medir las variables apariencia de la planta, control de arvenses, control de plagas y enfermedades en las plantas de mora. Adaptado de Pérez (2010).

VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
Apariencia de la planta	El 76 -100% de la planta presenta clorosis
	El 51 - 75 % de la planta presenta clorosis
	El 26 - 50% de la planta presenta clorosis
	La planta no presenta clorosis o alcanza el 25%
Control de arvenses	Sin control: Las arvenses cubren un 76 - 100% la zona de plateo
	Control bajo: Las arvenses cubren un 51 - 75% la zona de plateo
	Control medio: Las arvenses cubren un 26 - 50% la zona de plateo
	Control alto: Las arvenses no están presentes o cubren menos del 25% la zona de plateo.
Control de plagas y enfermedades	Sin control: El 76 - 100% de la planta presenta signos de daño por plagas y enfermedades.
	Control bajo: El 51 - 75% de la planta presenta signos de daño por plagas y enfermedades.
	Control medio: El 26 - 50% de la planta presenta signos de daño por plagas y enfermedades.
	Control alto: La planta no presenta signos de daño por plagas y enfermedades o son menores al 25%

Análisis de datos

Análisis multivariante

Para la identificación de las variables más asociadas con la presencia del insecto, se realizó un análisis discriminante con el Software libre Statgraphics Centurion XVI.I, donde la incidencia del insecto se utilizó como variable dependiente y las 21 variables de rizósfera y planta se utilizaron como variables clasificatorias.

Con los datos de 112 plantas, el análisis conformó dos grupos de datos identificados como grupo “sin insecto” (54 plantas sin insecto en sus raíces), y grupo “con insecto” (58 plantas con presencia del insecto en sus raíces). Las 28 plantas restantes fueron excluidas por tener un valor ausente en al menos una de las variables medidas.

Para diferenciar los grupos, el análisis construyó una función discriminante utilizando un modelo de regresión por pasos en el que se probaron una a una las variables clasificatorias que podrían ser de mayor significancia si se ingresaban al modelo.

A partir de los coeficientes estandarizados de las variables clasificatorias que conformaron la función, se valoró la contribución neta de cada variable, donde a mayor peso, mayor era su importancia. Adicionalmente, se analizó el sentido de las variables con respecto a la incidencia, tomando como referencia el punto de corte y el signo de los

centroides obtenidos para cada grupo. Finalmente, el análisis autovalidó la función discriminante sobre las 112 plantas empleadas para generarla.

Análisis descriptivo por finca para variables extraídas del análisis multivariante general

Ya que el análisis discriminante general utiliza en conjunto las observaciones realizadas en todas las fincas, se planeó “*a posteriori*” un análisis descriptivo que permitiera observar posibles relaciones particulares para cada finca, entre variables discriminantes. Para ello se eligió como indicador de incidencia la variable clasificatoria que mayor peso obtuvo en la función discriminante dentro del grupo “con insecto”, y se relacionó en cada finca con las variables clasificatorias restantes, generadas en esa función discriminante general.

4.5 Resultados

Análisis multivariante.

La función discriminante generada explicó el 100% de las diferencias existentes entre los dos grupos de incidencia (“sin insecto” y “con insecto”). Dicha función tuvo un alto poder discriminante (correlación canónica de 0.74) y las diferencias entre los grupos fueron estadísticamente significativas (valor-P 0.000) con un nivel de confianza del 95.0%. El análisis también indicó que la presencia del insecto es explicada significativamente por 11 de las 21 variables medidas (Tabla 4-5).

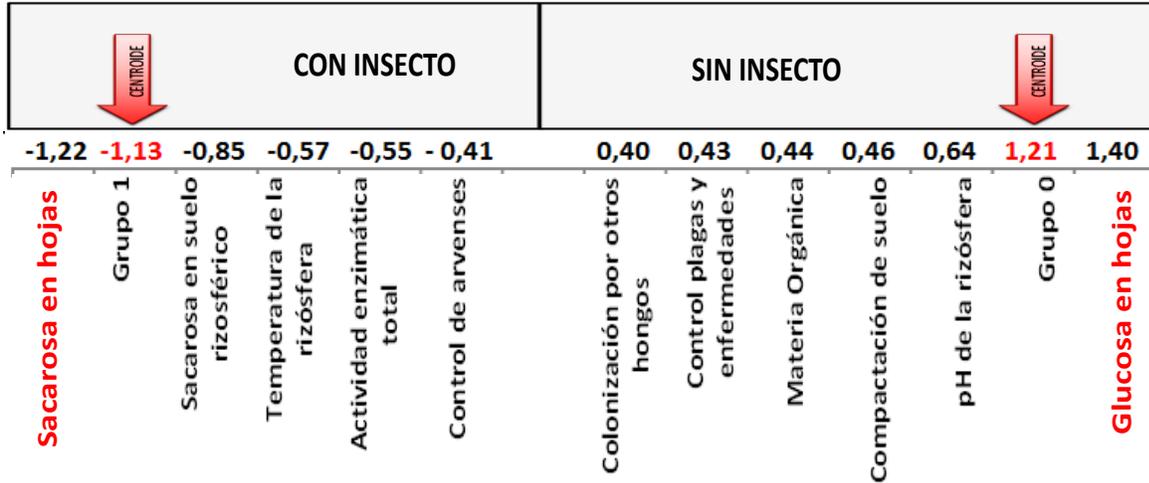
Tabla 4-5: Coeficientes estandarizados de las variables clasificatorias de incidencia de *E. colombianus* en plantas de mora del Oriente Antioqueño.

Variables clasificatorias de incidencia	Coeficientes estandarizados
Control plagas y enfermedades	0,43418
Control de arvenses	-0,40872
Glucosa en hojas	1,39706
Sacarosa en hojas	-1,22122
Compactación de suelo	0,46068
Temperatura de la rizósfera	-0,56518
pH de la rizósfera	0,63796
Materia orgánica de la rizósfera	0,43638
Colonización por otros hongos	0,39697
Actividad enzimática total en la rizósfera	-0,54860
Sacarosa en suelo de la rizósfera	-0,84756

Los coeficientes estandarizados de las variables clasificatorias de incidencia (Tabla 4-5), sugieren que la variable “glucosa en hojas” al presentar mayor peso, fue más importante para predecir el grupo al que pertenecían las plantas. Adicionalmente, los signos y

magnitud de los coeficientes asignaron cada variable en posiciones relativas según su asociación a cada grupos de incidencia “sin insecto” o “con insecto” (Figura 4-1). Las variables con signo negativo, están más asociadas con la presencia del insecto y las de signo positivo con su ausencia.

Figura 4-1: Representación gráfica de las variables clasificatorias que conforman los grupos de incidencia “plantas de mora sin insecto” y “plantas de mora con insecto”.



Finalmente, el análisis autovalidó la función discriminante ($0,434176 \cdot \text{Control plagas y enfermedades} - 0,408719 \cdot \text{Control de arvenses} + 0,460679 \cdot \text{Compactación de suelo} - 0,56518 \cdot \text{Temperatura de la rizósfera} + 0,637956 \cdot \text{pH de la rizósfera} + 0,396968 \cdot \text{Colonización por otros hongos} + 1,39706 \cdot \text{Glucosa en hojas} - 1,22122 \cdot \text{Sacarosa en hojas} - 0,847559 \cdot \text{Sacarosa en suelo de la rizósfera} - 0,548598 \cdot \text{Actividad enzimática total en la rizósfera} + 0,436384 \cdot \text{Materia orgánica de la rizósfera}$) a partir de las 112 plantas empleadas para generarla. De esta manera, de las 112 plantas, 96 fueron clasificadas correctamente (Tabla 4-6).

Tabla 4-6: Clasificación de incidencia de *E. colombianus* en plantas de mora por autovalidación de la función discriminante.

Incidencia real		Incidencia predicha	
Sin insecto	Con insecto	Sin insecto	Con insecto
54 plantas	58 plantas	47 plantas (87,04%)	49 plantas (84,48%)

Análisis descriptivo por finca para variables extraídas del análisis multivariante general

Para entender mejor las condiciones particulares de cada finca asociadas con los contenidos de sacarosa en hojas se realizó un análisis exploratorio “*a posteriori*”, basado en diagramas de dispersión, que presentan los valores de sacarosa en hojas en relación con los valores de las 10 variables restantes generadas en el análisis discriminante (Figuras 4-2 a 4-8). En esos análisis no se observan efectos consistentes de variables que expliquen los cambios en el contenido de sacarosa en hojas. Por ejemplo, para cinco de las fincas los incrementos en temperatura del suelo rizosférico podrían correlacionarse positivamente con contenidos de sacarosa en hojas (Figura 4-2 y Figuras 4-5 a 4-8) Pero este patrón es inexistente en las demás fincas. Otras variables presentan esta misma relación inconsistente con los contenidos de sacarosa.

Figura 4-2: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Selva 1 (Rionegro-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos); Plantas sin insecto (puntos negros).

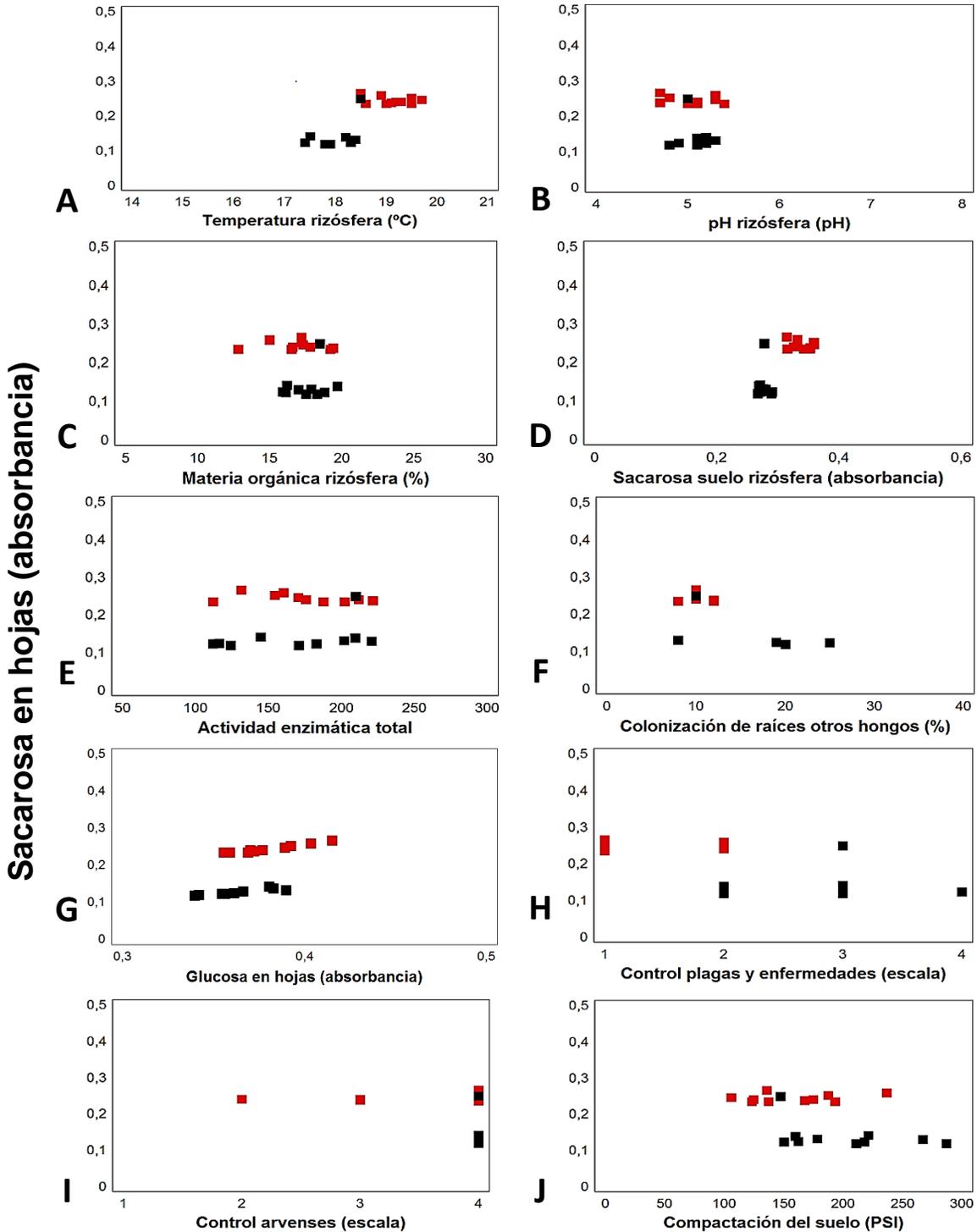


Figura 4-3: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Selva 2 (Rionegro-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos); Plantas sin insecto (puntos negros).

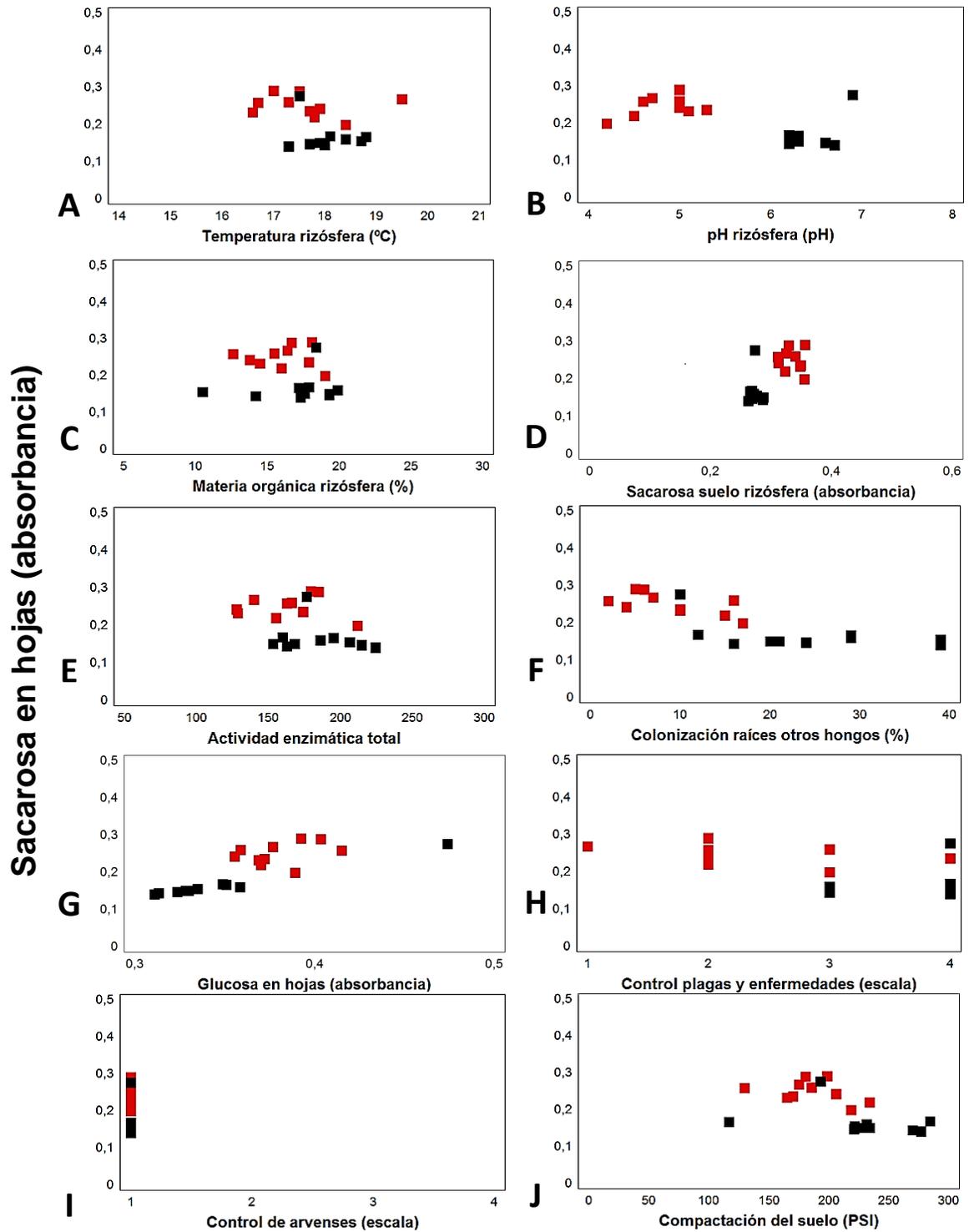


Figura 4-4: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Frijolera (Guarne-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos); Plantas sin insecto (puntos negros).

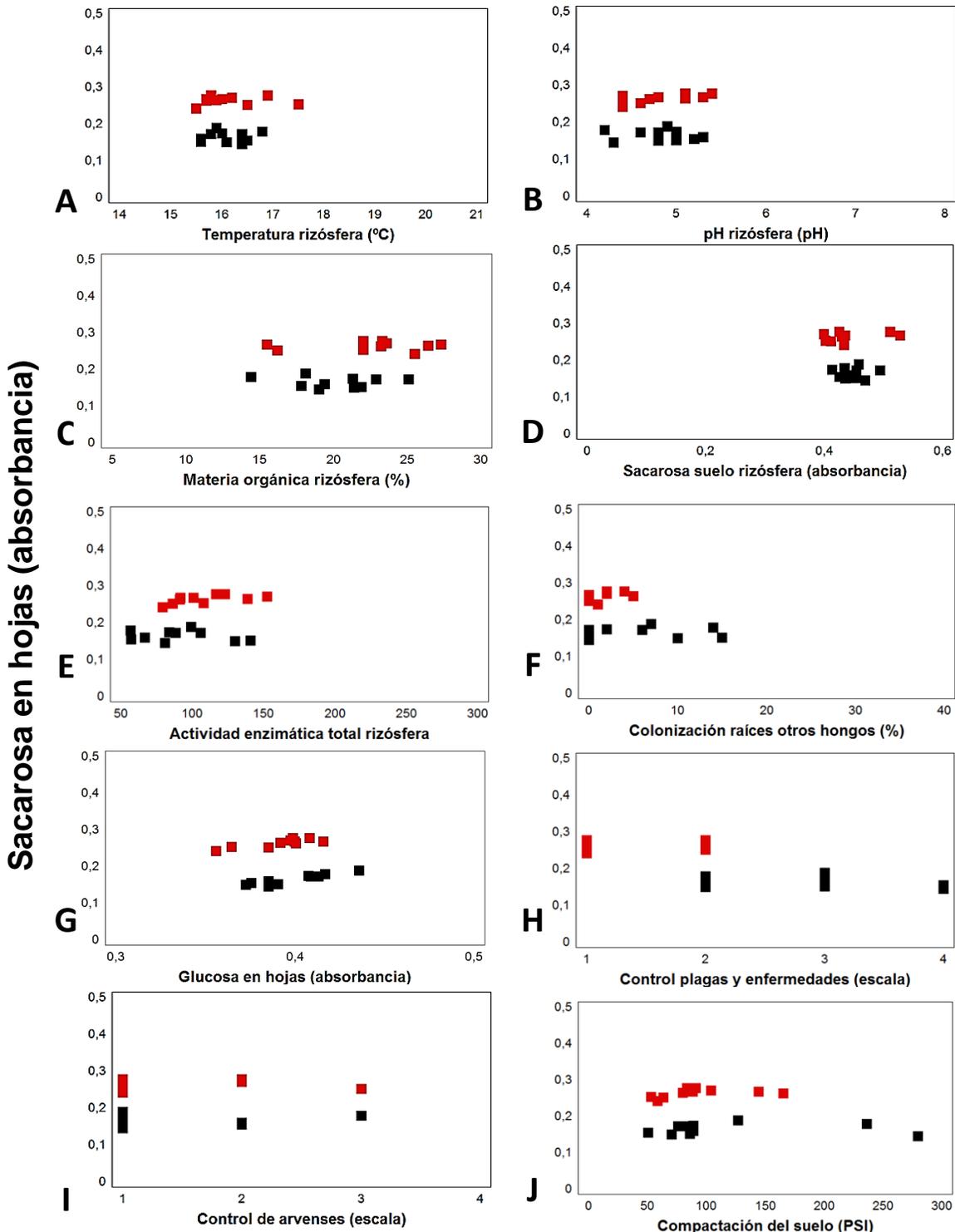


Figura 4-5: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca El Encanto (La Ceja-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos); Plantas sin insecto (puntos negros).

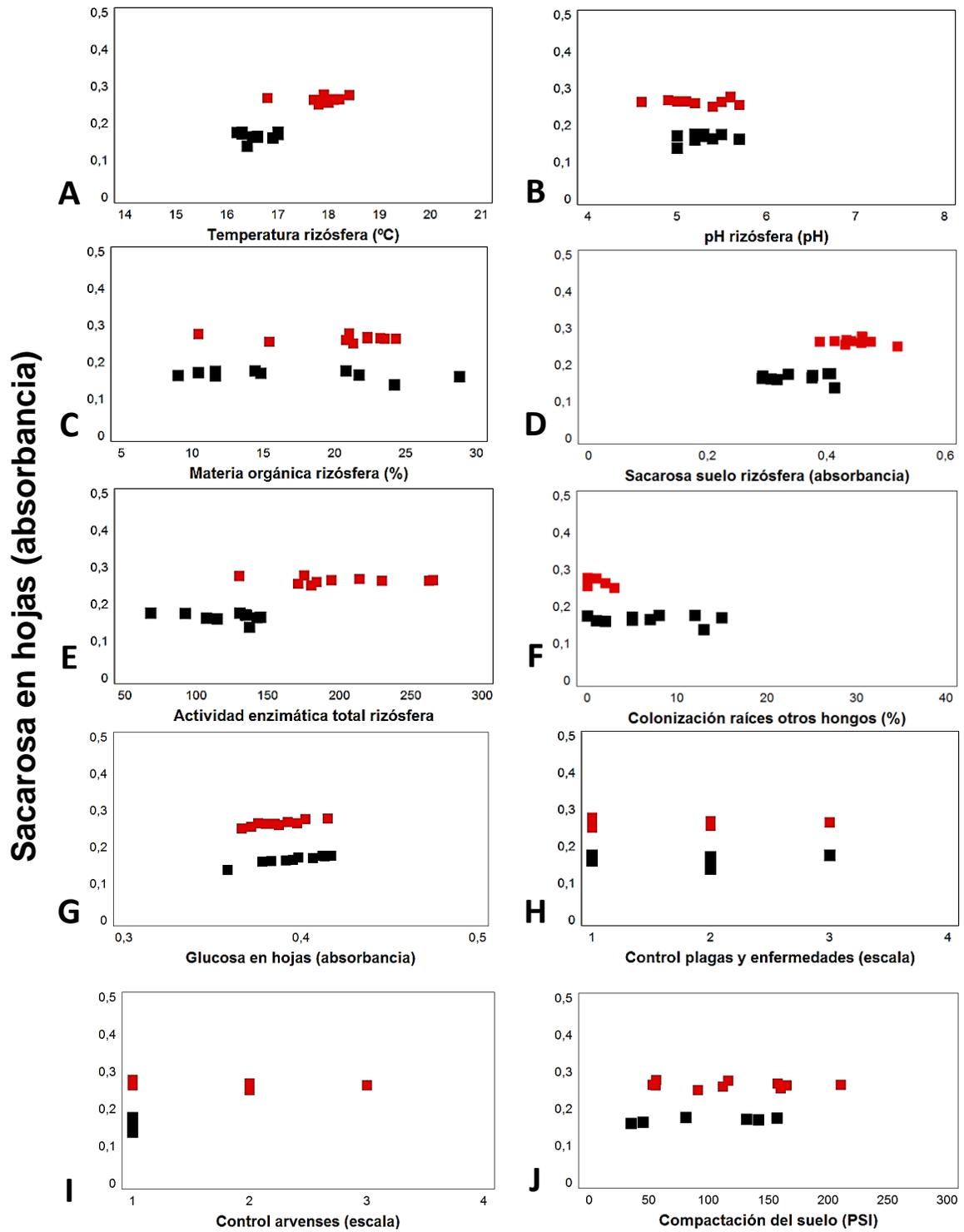


Figura 4-6: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca La Torre (El Retiro-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos); Plantas sin insecto (puntos negros).

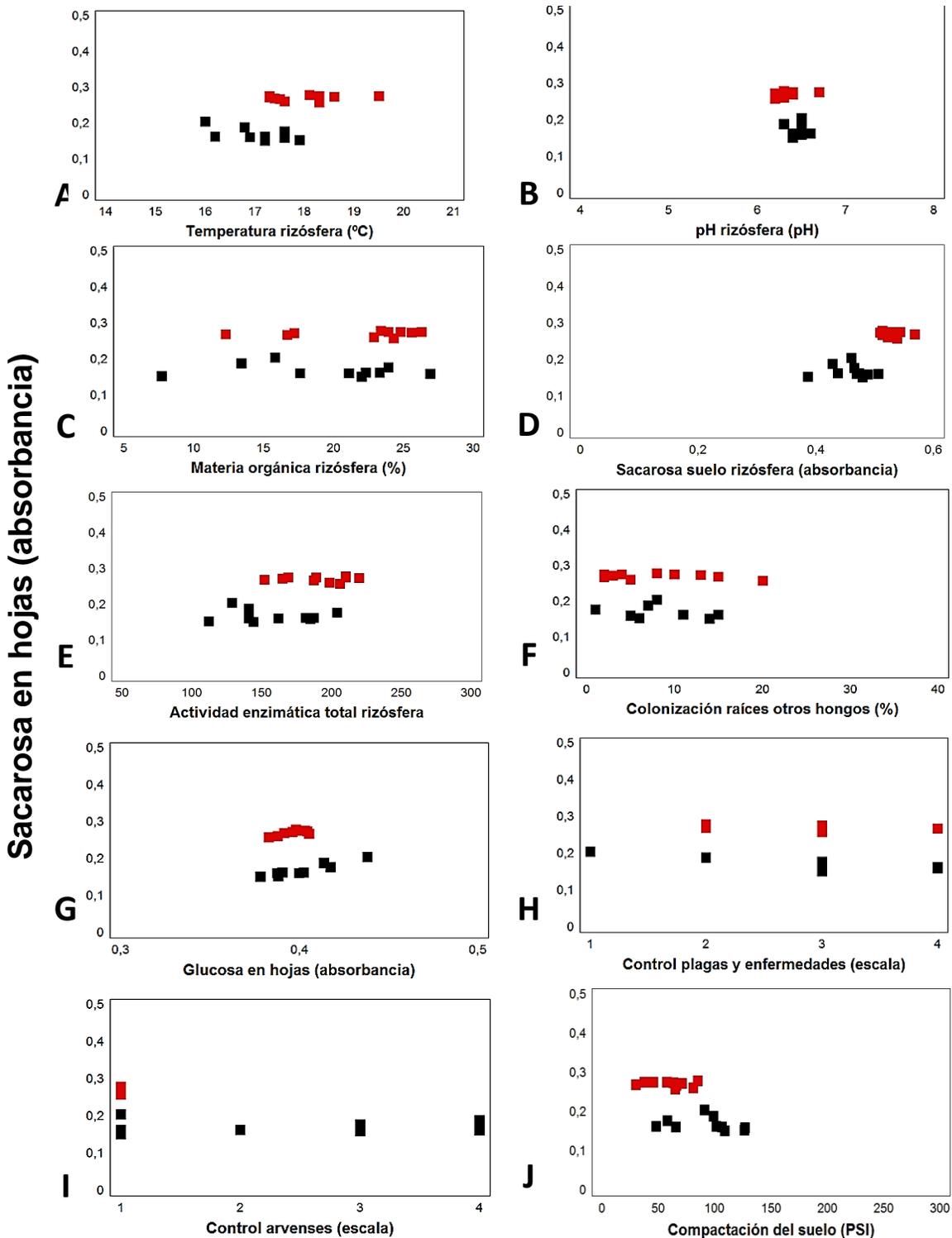


Figura 4-7: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la finca El Reposo (Envigado-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos), Plantas sin insecto (puntos negros).

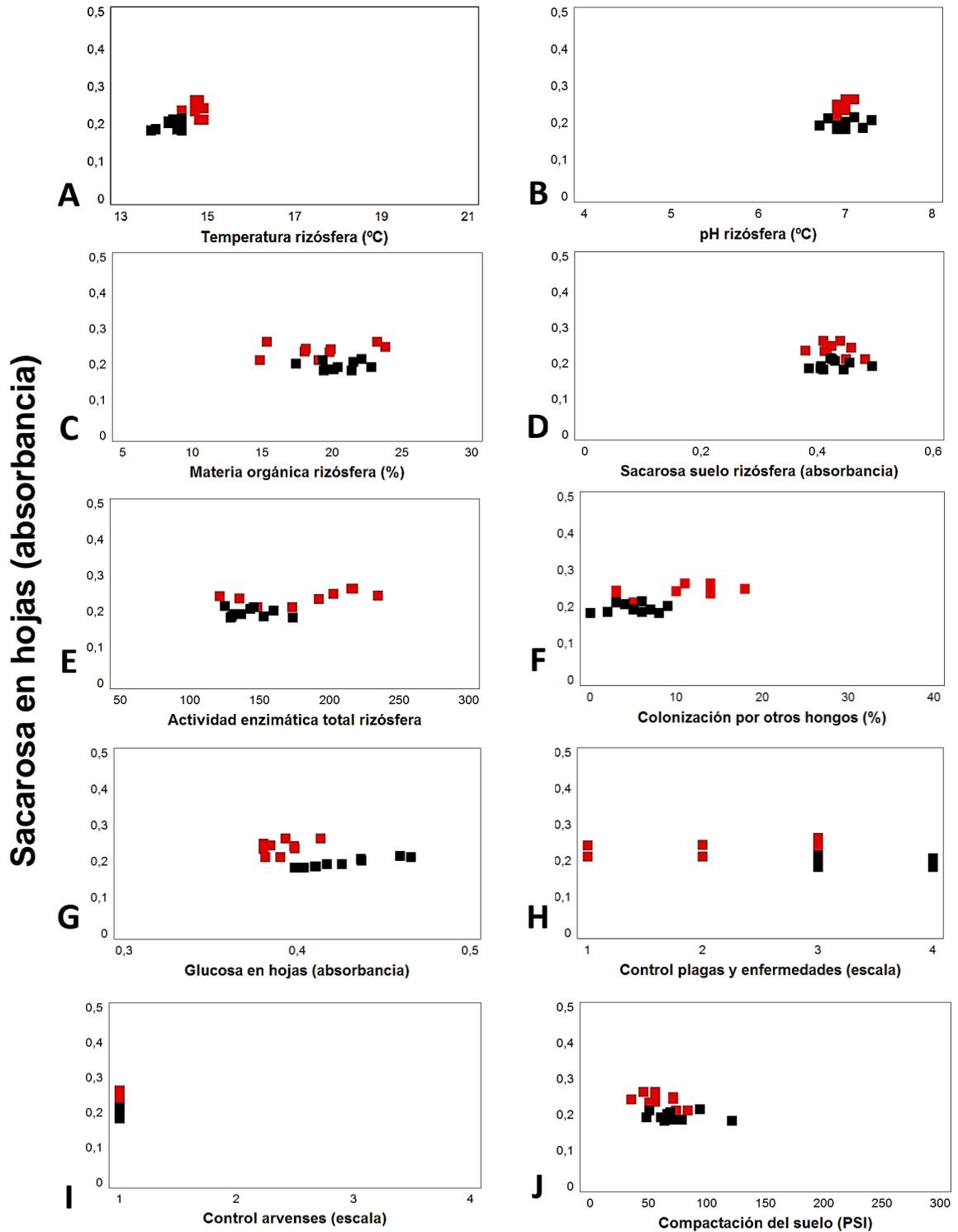
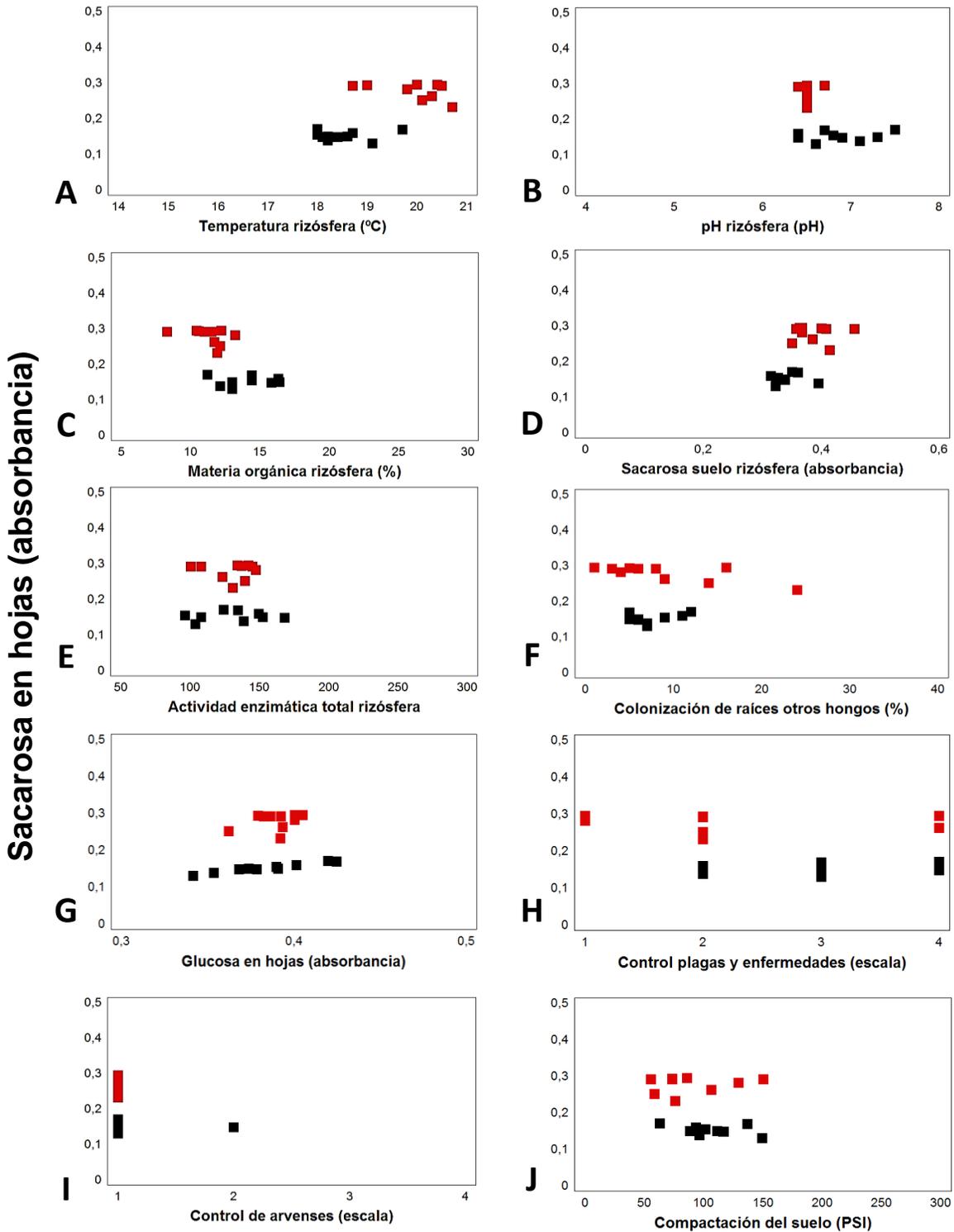


Figura 4-8: Análisis exploratorio de la relación entre la variable sacarosa en hojas con las demás variables clasificatorias para la Finca Campo Alegre (El Retiro-Antioquia). Plantas con insecto (puntos rojos); Plantas sin insecto (puntos negros).



4.6 Discusión

Este estudio presenta un conjunto de condiciones de suelo y plantas que se relacionan diferencialmente con la presencia del insecto subterráneo *E. colombianus* (Hemiptera – Margarodidae) en cultivos de mora (*Rubus glaucus*) del Oriente Antioqueño. Esas condiciones incorporadas en la función discriminante: $0,434176 * \text{Control plagas y enfermedades} - 0,408719 * \text{Control de arvenses} + 0,460679 * \text{Compactación de suelo} - 0,56518 * \text{Temperatura de la rizósfera} + 0,637956 * \text{pH de la rizósfera} + 0,396968 * \text{Colonización por otros hongos} + 1,39706 * \text{Glucosa en hojas} - 1,22122 * \text{Sacarosa en hojas} - 0,847559 * \text{Sacarosa en suelo de la rizósfera} - 0,548598 * \text{Actividad enzimática total} + 0,436384 * \text{Materia orgánica de la rizósfera}$, predijeron por autovalidación la incidencia de *E. colombianus* en el 86% de los casos. En esa función las variables predictoras de plantas “sin insecto” presentan puntuaciones positivas, mientras que las variables predictoras de plantas “con insecto” presentan puntuaciones negativas. Adicionalmente, de las 11 variables clasificatorias de incidencia (7 de la rizósfera y 4 de la planta), las concentración de glucosa y sacarosa en hojas fueron las que más contribuyeron a la discriminación de los grupos “sin insecto” y “con insecto” (Figura 4-1).

La identificación de posibles variables asociadas con la presencia de *E. colombianus* permitirá orientar la búsqueda, entendimiento y manejo de las causas asociadas a los brotes poblacionales de este insecto. Por ejemplo, al ser sacarosa en hojas la variable con mayor puntuación dentro del grupo “con insecto” (Figura 4-1), esta podría validarse para ser un indicador de incidencia del insecto en la planta, y el resto de variables que conforman la función discriminante como las posibles causas asociadas a ese indicador. Al realizar este ejercicio para cada finca se observó que hay diferentes variables relacionadas con el aumento en la concentración de sacarosa en hojas y por ende con la presencia del insecto en las raíces. La tabla 4-7 resume las variables que posiblemente más se relacionan con el indicador para cada finca. Sin embargo, esta función debe interpretarse con precaución hasta que la importancia de cada variable sea validada en experimentos controlados, ya que la información se tomó sola vez en el tiempo, aunque en condiciones naturales.

Tabla 4-7: Resumen de las variables clasificatorias que probablemente más se relacionan con el aumento en la concentración de sacarosa en hojas en plantas de mora (*Rubus glaucus* Benth.) de seis fincas del Oriente Antioqueño.

Variables de la función discriminante		Fincas						
		La Selva 1 (Rionegro)	La Selva 2 (Rionegro)	La Frijolera (Guarne)	El Encanto (La Ceja)	La Torre (El Retiro)	El Reposo (Envigado)	Campo Alegre (El Retiro)
A	Temperatura rizósfera	X			X	X	X	X
B	pH rizósfera		X					
C	Materia orgánica rizósfera							
D	Sacarosa en suelo rizósfera	X	X		X	X		X
E	Actividad enzimática total rizósfera				X			
F	Colonización raíces otros hongos	X		X	X			
G	Glucosa en hojas		X				X	
H	Control de plagas y enfermedades	X		X				
I	Control de arvenses				X	X		
J	Compactación del suelo							

Debido a que en este estudio no es posible determinar si algunas de las variables asociadas con la presencia del insecto son causa o efecto, es necesario validar la función generada por este estudio antes de definir posibles condiciones en las plantas asociadas a la presencia del insecto. Las condiciones en las plantas podrían variar de una finca a otra, por ello, deberá ampliarse primero la escala espacial y temporal del estudio.

Una vez validada la función, se podrán probar hipótesis sobre el comportamiento real del sistema, es decir, la función servirá para explicar si la sensibilidad del cultivo al daño por el insecto se debe a factores que limitan el desarrollo de las plantas y/o facilitan la distribución y los daños causados por insecto. Por ejemplo, la sacarosa es uno de los principales productos de la fotosíntesis. Este azúcar actúa como sustrato en el metabolismo energético de las plantas y en la biosíntesis de hidratos de carbono como el almidón. Vía floema, la sacarosa proporciona a los tejidos no fotosintéticos (raíces, tallos, hojas en desarrollo, semillas, frutos) los recursos necesarios para crecer y desarrollarse (Taiz & Zeiger, 2006). Su acumulación en hojas puede deberse a un desequilibrio en los procesos de fotosíntesis y respiración. Cuando en una planta la respiración excede la fotosíntesis, hay un consumo elevado de los productos fotosintetizados, reducción de la cantidad de productos a metabolizar y ralentización de

todos los procesos de síntesis afectando la formación de proteínas y carbohidratos más complejos (Primavesi, 1982). De acuerdo con Chaboussou (2004), esta situación favorece la supervivencia y reproducción de patógenos o insectos fitófagos ya que la acumulación de aminoácidos y azúcares solubles en la savia o el citoplasma de las plantas responde a las exigencias tróficas de los parásitos.

Algunos de los factores que afectan el equilibrio entre la fotosíntesis y respiración son: aumento en la temperatura del suelo, déficit de agua en las plantas, mal estado nutricional de las plantas, lesiones en raíces por herramientas agrícolas o parásitos, suelos compactados o presencia de fenoles en el suelo como resultado de la humificación (Primavesi, 1982).

Los aumentos en la temperatura del suelo derivados del clima o de prácticas agronómicas como el laboreo, la nutrición y la protección pueden afectar el desarrollo de las plantas al disminuir su actividad metabólica como consecuencia de la inactivación de enzimas y de otras proteínas; o al incrementar su tasa de respiración, como consecuencia del cierre estomático sobrepasando eventualmente la tasa fotosintética (Taiz & Zeiger, 2006). Según Primavesi (1982) el punto de compensación de la temperatura del suelo a partir del cual las plantas tropicales comenzarían a gastar sus reservas es 24°C. Kurimoto *et al.* (2004) afirman que ese punto varía según la especie de planta. Por ejemplo, las plantas de *Poa annua* L. y *Bellis perennis* L. se caracterizan por tener alta homeostasis en la respiración de las raíces, es decir, tasas respiratorias similares cuando crecen a diferentes temperaturas, no obstante *B. perennis* presenta concentraciones más altas de carbohidratos solubles a 20°C que a 16°C, mientras que *P. annua* presenta concentraciones similares bajo las dos temperaturas. De acuerdo con Angulo (2003) la temperatura ambiental ideal para el desarrollo de los cultivos de mora (*R. glaucus*) está entre 10 y 18°C. Sin embargo no se conoce un valor ideal para el suelo. En este estudio la variable temperatura de la rizósfera posiblemente esté relacionada con el aumento en la concentración de sacarosa para las fincas La Selva 1 (Figura 4-2A), El Encanto (Figura 4-5A), La Torre (Figura 4-6A), El Reposo (Figura 4-7A) y Campo Alegre (Figura 4-8A) ya que a través de ella es posible diferenciar plantas con y sin insecto. En estas fincas las plantas con insecto presentaron una temperatura de la rizósfera mayor a 17,5°C (excepto para la finca El Reposo que fue mayor a 14°C), al menos para los días en que se midió en cada finca. En estudios futuros será necesario determinar las variaciones en temperatura a través del tiempo, así como los límites fisiológicos de las plantas de mora (*R. glaucus*). Por lo tanto, el papel de la temperatura del suelo rizosférico en la acumulación de sacarosa en hojas permanece incierto.

En relación a la nutrición de plantas, Primavesi (1982) plantea que si una planta está mal nutrida debido a una insuficiente cantidad de nutrientes disponibles en el suelo o por incapacidad de la planta para absorber los nutrientes, metabolizarlos en poco tiempo a productos más complejos y transportar los metabolitos a la raíz, la planta respirará más intensamente, consumiendo sus reservas, deteniendo su crecimiento. En algunas especies de plantas, las deficiencias de fósforo reducen la asimilación de carbono (por reducción en la actividad de las enzimas ATP sintetasa y ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa (RuBisCo)) y la exportación de triosas fosfato desde los cloroplastos al citosol. Esta situación genera un aumento en la biosíntesis de sacarosa a partir del

almidón almacenado en las hojas, así como un aumento de su translocación a las raíces. Una vez en las raíces, la sacarosa induce la elongación de pelos absorbentes y la planta puede explorar una mayor superficie del suelo en busca de fósforo inorgánico disponible (Hammond & White, 2008). Hermans *et al.* (2006) demostraron que las deficiencias de nitrógeno, potasio y magnesio también alteran condiciones fisiológicas de las plantas como la fotosíntesis, el metabolismo de azúcares, la exportación de sacarosa de las hojas y la asignación de fotoasimilados entre fuentes y vertederos, ya que estos elementos actúan como efectores, sustratos, inactivadores o componentes estructurales de las moléculas o enzimas involucradas con estos procesos.

Gauch y Dugger (1953) también reportaron que las plantas con deficiencia de boro presentan altas concentraciones de sacarosa y almidones en las hojas debido a que la sacarosa no se moviliza fácilmente a través de las membranas celulares a menos que forme un complejo sacarosa – borato ionizado o que el ion borato este asociado con la membrana celular, reaccionando químicamente con las moléculas de sacarosa, facilitando su paso por las membranas. Por lo tanto, los síntomas de deficiencia de boro son una expresión de la deficiencia de sacarosa en tallos, puntas de raíces y flores o frutos. Según Shibli y Srebnik (2005) la deficiencia de boro se da principalmente en suelos ácidos de regiones húmedas, ya que en estos suelos la práctica del encalado genera una mayor adsorción de boro al suelo y un menor contenido de boro en la planta.

La mora (*R. glaucus*) es una planta exigente en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Franco y Giraldo 2001). El pH del suelo rizosférico permite estimar al menos indirectamente la disponibilidad de estos y otros nutrientes. De acuerdo con Angulo (2003) el pH ideal para el desarrollo de las plantas de mora esta entre 5,5 y 6,5. Al comparar este rango de pH con los obtenidos en la rizósfera de plantas con y sin insecto, se observa un rango más amplio (4,2 – 7,5) lo que puede tener efectos negativos en la solubilidad de algunos nutrientes para la planta. En la finca La Selva 2 (Figura 4-3B), es el pH (4-2 y 5-3), al parecer, una de las variables más relacionadas con los aumentos de sacarosa en hojas ya que diferencia claramente entre las plantas con y sin insecto. Este rango de pH fuertemente ácido, puede tener efectos sobre la solubilidad de nutrientes como el fósforo (Jaramillo, 2011).

Con respecto a la capacidad de absorción de los nutrientes por la planta esta dependerá según Primavesi (1982) de las propiedades genéticas, la sanidad radicular y foliar, la temperatura del suelo, la aireación del suelo y la competencia con otras plantas. Gange y Brown (1989) encontraron que larvas del escarabajo *Phyllopertha horticola* (L.) al alimentarse de las raíces de *Capsella bursa-pastoris* L. (Brassicaceae) desencadenaron dentro de la planta una respuesta similar a la de sequía, que incrementó los niveles de nutrientes foliares (especialmente aminoácidos), favoreciendo el crecimiento y la fecundidad de los áfidos *Aphis fabae* Scop. y de las larvas de escarabajos en el suelo. En este estudio el escaso o nulo control de plagas y enfermedades observado en las fincas La Selva 1 (Figura 4-2H) y La Frijolera (Figura 4-4H) podría estar asociado con el incremento de sacarosa en las hojas a través de una interacción vía plantas de mora (*Rubus glaucus*) entre los insectos que se alimentan de las raíces y del follaje. Si se tiene en cuenta que los mayores registros de ninfas y quistes de *E. colombianus* adheridos a las raíces se observaron en estas dos fincas (cantidad promedio: 195 y 140

individuos por planta aproximadamente), se podría pensar que estos individuos al succionar las raíces remueven biomasa de la planta (raíces finas), reduciendo la absorción de agua y nutrientes esenciales para su crecimiento (Master *et al.*, 1993). Ante este factor de estrés en la raíz, la planta acumula aminoácidos y carbohidratos solubles en el follaje que incrementan el desempeño de los insectos foliares al mejorar la calidad de su alimento (Master *et al.*, 1993).

De acuerdo con Hammond y White (2008) y Usuki y Narisawa (2007) en algunas plantas la disponibilidad de sacarosa puede promover relaciones simbióticas con hongos micorrícicos u hongos septados oscuros. Esta simbiosis entre la planta hospedera y el hongo es de tipo mutualista, ya que el hongo recibe el carbono de su hospedero y el hospedero mejora la absorción de nutrientes como fósforo y nitrógeno a través del hongo. Esto se da gracias a que las hifas tienen un diámetro menor que las raíces, por lo tanto, pueden explorar espacios del suelo muy pequeños, obteniendo más nutrientes. No obstante, la herbivoría foliar o de las raíces puede originar una reducción de la infección de raíces por hongos micorrícicos, al competir por su alimento. Gehring y Whitham (1991) demostraron que arboles de pino *Pinus edulis* susceptibles al ataque del insecto *Dioryctria albovitella* presentaron 33% menos colonización por micorrizas que los arboles resistentes al insecto. No obstante, los niveles de micorrizas lograron recuperarse después de la eliminación del herbívoro. La explicación de los autores a estos resultados, es que el consumo de follaje por parte del insecto redujo la cantidad de fotosinatos disponibles para satisfacer las demandas del hongo. En este estudio, las plantas con insecto de las fincas la Selva 1 (Figura 4-2F), La frijolera (Figura 4-4F) y El Encanto (Figura 4-5F) presentaron valores de colonización de raíces por otros hongos muy bajos (inferiores al 10%), lo que sugiere relaciones hospedero-hongo insuficientes afectando la absorción de nutrientes por la planta y posiblemente fuerte competencia de *E. colombianus* por el alimento desplazando al hongo.

En relación a la materia orgánica del suelo, ésta es indispensable para mantener una buena estructura edáfica, incrementar la retención de agua y nutrientes y como fuente de alimento para microorganismos y fauna del suelo (Gliessman, 2002). Está conformada por dos fracciones: Una lábil que actúa como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo y una estable representada en sustancia húmicas involucradas en procesos fisicoquímicos que afectan la estructura e intercambio de iones en el suelo (Zagal *et al.*, 2002). Su velocidad de descomposición está determinada por factores como: vegetación, clima, minerales del suelo, pH del suelo, microbiota y manejo agronómico (Primavesi, 1982). En este estudio los contenidos de materia orgánica para plantas con y sin insecto fueron muy similares entre si y se ubicaron dentro de los rangos reportados por Jaramillo (1995) para suelos del Oriente Antioqueño sin un uso agropecuario intensivo (7,9 – 44,7%; promedio 21,89%). Según Jaramillo (1995) la acumulación de materia orgánica en esta zona del país se relaciona con la disminución de la temperatura y el pH, favoreciendo la solubilización de aluminio y la formación de complejos con la materia orgánica, haciéndola más difícil de degradar.

En la rizósfera, existen un gran número de bacterias, hongos y actinomicetos que dependen de la nutrición de la planta y aprovechan las excreciones radiculares de éstas (aminoácidos, azúcares, hormonas, vitaminas, ácidos orgánicos) como fuente de carbono

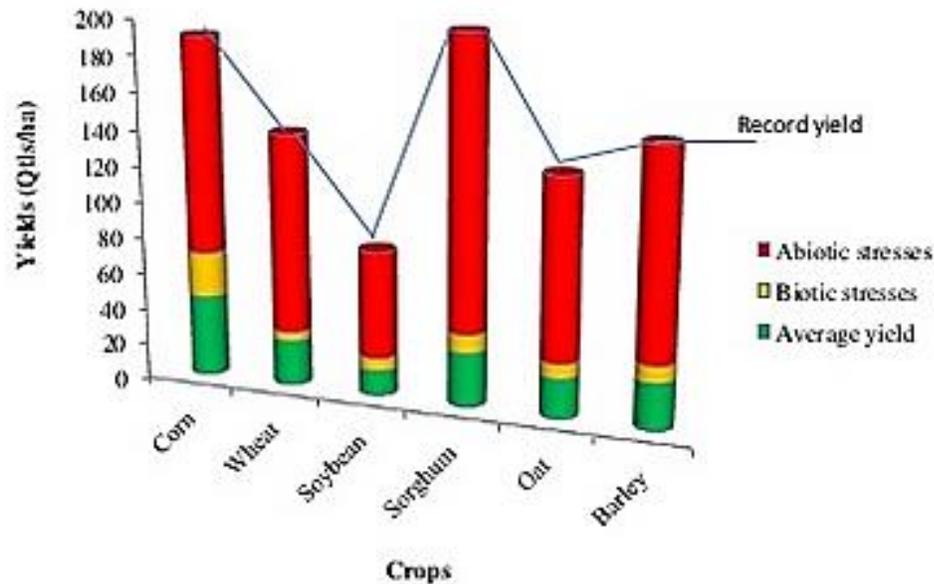
(Primavesi, 1982). La actividad enzimática de un suelo hace referencia a la actividad que realizan dichos microorganismos para descomponer la materia orgánica, obtener su alimento, nutrir a las plantas y a otros organismos (Zagal *et al.*, 2002). Esa actividad, está limitada por el pH, la riqueza mineral del suelo, el tipo de materia orgánica, la temperatura y la humedad del suelo (Gliessman, 2002). Por lo tanto, si una planta está bien nutrida será beneficiada por los microorganismos del suelo, de lo contrario, es posible que las excreciones radiculares no sean variadas y la vida en la rizósfera tampoco, permitiéndole a las plagas llegar hasta la raíz y atacarla (Primavesi, 1982). En este estudio la actividad enzimática total abarcó una mezcla de proteasas, lipasas y esterases (Green *et al.*, 2006). De acuerdo con Ochoa *et al.* (2007), estas enzimas están involucradas en el ciclaje de carbono, nitrógeno y fósforo. El aumento en la actividad enzimática total de plantas con insecto de la finca El Encanto (Figura 4-5E) podría ser consecuencia de una mayor descomposición de materia orgánica lábil por microorganismos involucrados en la mineralización del carbono, debido al incremento de sacarosa encontrada en este suelo rizosférico (Figura 4-5D), reduciendo posiblemente la diversidad microbiana como los plantean Murray *et al.* (1996). Estos autores demostraron como la alimentación larval de *Sitona* spp., generó cambios en los patrones de exudación radicular del trébol blanco *Trifolium repens*. Dichos cambios consistieron en la liberación de compuestos tales como aminoácidos, ácidos carboxílicos y azúcares, los cuales alteraron la cantidad y tipo de comunidad microbiana del suelo capaz de utilizar estos sustratos. Adicionalmente, la herbivoría a la raíz aumentó la proporción de necromasa presente en el suelo. Este aumento de material de raíz muerto, actuó como un recurso para organismos descomponedores. Para el caso de *E. colombianus*, es importante considerar que el aumento en el contenido de sacarosa en la rizósfera, también puede deberse a las sustancias azucaradas que las ninfas excretan producto de su alimentación y metabolismo (Carvajal, 2002).

Vale la pena destacar que las variables densidad aparente y humedad de la rizósfera no contribuyeron con la discriminación de los grupos de incidencia en este estudio, aunque son considerados por varios autores como factores de gran importancia para la actividad de los entomopatógenos y de otros insectos del suelo. Por ejemplo, Ignoffo (1992) afirma que las esporas de *Bacillus thuringiensis* Berliner, las conidias de *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson y los cuerpos de oclusión del virus de la poliedrosis nuclear sobreviven más tiempo si permanecen en ambientes secos. Para Portillo *et al.* (1999), la tasa de movimiento e infección de los nematodos está fuertemente correlacionada con el espacio poroso del suelo, cuando éste tiene dimensiones similares o mayores que los diámetros de los nematodos.

De la información presentada anteriormente, es posible sugerir que los brotes poblacionales del insecto están asociados a alguna condición metabólica alterada en la planta, como lo sugieren las diferencias en concentración de sacarosa en plantas con y sin presencia del insecto en sus raíces. Esa condición parece estar relacionada con los productos primarios de la fotosíntesis por parte de la planta y su translocación hacia las raíces y suelo rizosférico, debido posiblemente a factores de stress abióticos tales como las condiciones edafoclimáticas y el manejo agronómico. Esto concuerda con lo planteado por Buchanan *et al.* (2000) al observar que pérdidas hasta del 80% en crecimiento y productividad en diferentes cultivos agrícolas se debe a factores de estrés

bióticos y abióticos, siendo los factores abióticos los más influyentes debido al cambio climático. (Figura 4-9).

Figura 4-9: Pérdida de rendimientos agrícolas por factores de estrés biótico o abiótico (Tomado de Buchanan *et al.* (2000)).



En resumen, el aumento en las concentraciones de azúcares podrían constituir indicadores de condiciones metabólicas alteradas en las plantas y signos de vulnerabilidad al daño por el insecto. Aunque la validación de las variables predictoras de incidencia está fuera del alcance de este estudio, servirá como punto de partida para investigaciones futuras que permitan evaluar, validar y diseñar nuevas prácticas de manejo de este insecto. Dada la complejidad del ambiente en el que se mueve *E. colombianus*, las 11 variables reportadas aquí como condiciones asociadas a la incidencia del insecto, rara vez operarán como componentes aislados del ambiente, por lo tanto, es importante incluir las posibles interacciones entre ellas y la forma en que se afectan una a la otra.

4.7 Conclusión

Este estudio identificó 11 variables de suelo rizosférico y plantas asociadas con la presencia de *E. colombianus* en raíces de plantas de mora (*Rubus glaucus*). Las variables de suelo rizosférico y plantas que más se asociaron con la presencia del insecto fueron en su orden, sacarosa en hojas, sacarosa en suelo de la rizósfera, temperatura de la rizósfera, actividad enzimática total y control de arvenses. Al explorar la relación entre los aumentos en la concentración de sacarosa en hojas de plantas con insecto y las demás variables clasificatorias, se observó que la relación entre ellas varía para cada finca, lo que sugiere la búsqueda de estrategias de manejo de *E. colombianus* que se ajusten a las condiciones particulares de cada una de ellas.

5. Discusión General, Conclusión y Recomendación

5.1 Discusión General

Esta investigación desarrolló algunos elementos técnicos necesarios para generar una estrategia de manejo de *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Hemiptera: Margarodidae) en plantas de mora (*Rubus glaucus* Benth.) con enfoque agroecológico. Dichos elementos se centraron en la presentación de posibles causas de vulnerabilidad de fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño; en explorar la aplicación de un sistema de detección de insectos del suelo que no requiere la destrucción de las plantas, ni la perturbación del ambiente edáfico; y en un método para estudiar de manera simultánea las condiciones asociadas con la presencia de plagas del suelo en los cultivos.

El manejo agroecológico de plagas (MAP), ha redimensionado la visión de la sanidad vegetal, al dejar de percibir las plagas como centro del problema a tratar, para convertirlas en indicadores de agroecosistemas disfuncionales (Vásquez, 2008; Villalobos & Núñez, 2010). Su objetivo es entender y atender las causas que provocan los brotes poblacionales mediante la integración de todos los componentes del sistema bajo estudio y generar estrategias que minimicen los costos económicos, ambientales y sociales derivados de la acción y el manejo de estos organismos (Barrera, 2007; Vásquez, 2008; Villalobos & Núñez, 2010). Para alcanzar dicho objetivo el MAP propone diversas alternativas, entre ellas, determinar la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas al daño por plagas (Nicholls, 2010). No obstante este concepto tiene serias limitaciones para su uso adecuado.

La vulnerabilidad definida de manera general como la propensión de un sistema al daño (Gallopín, 2006), es un calificativo ampliamente utilizado en el tema de plagas agrícolas para referirse a una condición de desventaja de los agroecosistemas frente al daño causado por insectos como lo plantean Altieri, (1997), Barrera *et al.* (2007), Nicholls (2010), Vásquez (2008) y Villalobos y Núñez (2010). No obstante, cuando se desea emplear el calificativo de vulnerable como una variable medible y cuantificable, el escaso desarrollo conceptual de la terminología asociada a su definición desde una perspectiva diferente a la del cambio climático, la pobreza o los desastres naturales, dificulta su comprensión y aplicación. Por consiguiente este estudio se limitó a usar este concepto solo como modelo para analizar información preexistente relacionada con el sistema de producción de mora en los departamentos de Antioquia y Caldas afectados por la perla de tierra colombiana *E. colombianus* (Ríos *et al.*, 2010), lo observado en las seis fincas

productoras de mora visitadas, lo que se ha estudiado sobre *E. colombianus* y las tácticas que se han venido desarrollando e implementando para su control (Tabla 2-3) (Capítulo 2). Con este análisis se encontró:

1. Que el insecto *E. colombianus* podría considerarse como una **perturbación** de origen biológico para las fincas productoras de mora en el Oriente Antioqueño ya que una vez este insecto logra llegar a los cultivos de mora permanece por largo tiempo adherido a las raíces de las plantas, alimentándose del floema, disminuyendo la absorción de nutrientes por las raíces, provocando desordenes en la planta que finalmente le causan la muerte (Carvajal, 2002).
2. La **exposición** de los cultivos de mora del Oriente Antioqueño al daño por el insecto es alta debido a un uso inadecuado de suelo, al establecer los cultivos de mora en zonas de ladera, áreas de bosque natural o en altitudes mayores a las óptimas para el buen desarrollo del cultivo. Se percibe además un inadecuado diseño espacial de las fincas, donde los cultivos secundarios y aledaños e incluso los que en algunas oportunidades asocian con la mora también han sido reportados como hospederos del insecto favoreciendo así su dispersión.
3. También es alta la **sensibilidad** de los cultivos de mora al daño por el insecto, debido a la dependencia a un número reducido de materiales de mora (*R glaucus*) todos ellos susceptibles a la perla de tierra colombiana; una inadecuada nutrición de las plantas ya que al no conocer las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo donde se establecen los cultivos, ni los rangos de tolerancia fisiológica de las plantas, los productores no pueden garantizar plantas bien nutridas y productivas; prácticas fitosanitarias realizadas bajo una orientación convencional e inadecuada ya que no se tiene criterios claros para su aplicación causando posiblemente efectos inadvertidos en las interacciones insecto – planta que pueden favorecer a *E. colombianus* u otros insectos del suelo. Aunque los productores son conscientes de la importancia de los componentes ambientales en sus fincas tienen una escasa o nula adopción de tecnología orientada a la producción limpia y sostenible ya sea porque desconocen cómo aplicarla o porque temen perder rentabilidad. Adicionalmente, se percibe un gran desconocimiento del insecto y de sus características por parte de algunos productores; hay dificultad para correlacionar la presencia del insecto con los síntomas de daño en las plantas, lo que dificulta su identificación temprana en los cultivos; faltan estudios sobre la biología del insecto, la relación del insecto con los demás componentes del sistema y falta investigación relacionada con la identificación de mecanismos naturales de regulación biótica en los cultivos de mora.
4. La **capacidad de adaptación, respuesta o recuperación** de las plantas de mora al daño por el insecto es y seguirá siendo reducida mientras no cambien las condiciones actuales de establecimiento y manejo de los cultivos. Adicionalmente, desde una perspectiva socioeconómica también se percibe una baja capacidad de adaptación, ya que pese al tejido social con el que cuenta el Oriente Antioqueño (asociaciones de productores, unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria UMATA, universidades, centros de investigación) y la oferta tecnológica que se ha desarrollado para la producción frutícola de la región (PFN, 2006), los productores (principalmente de economía campesina) y

sus familias son altamente dependientes del ingreso económico que les generan los cultivos de mora semanalmente, ya sea para comprar el alimento que no obtienen de sus fincas, para comprar los insumos que requieren los cultivos o para otros gastos familiares. Por lo tanto, cualquier situación que les impida hacer de estos cultivos un negocio rentable afectará su calidad de vida. Algunas de las situaciones identificadas son: reducción de los rendimientos (g/planta/semana) por problemas fitosanitarios, alta dependencia a insumos externos como pesticidas y fertilizantes de síntesis química, alto precio de estos insumos, escasas oportunidades de mercado e inestabilidad de los precios de la mora para el productor.

Con este análisis, se plantea la posibilidad de que las fincas productoras de mora en el Oriente Antioqueño sean vulnerables al daño por el insecto, por lo tanto, es preciso estudiar desde la perspectiva ecológica las condiciones que favorecerían dicha vulnerabilidad, las cuales estarían representadas por los componentes diseño agroecológico, clima, suelo, plantas y manejo agronómico y fitosanitario. Debido a que estos componentes conforman un grupo amplio y complejo de condiciones, se decidió trabajar a escala de cultivo, explorar nuevas herramientas de medición y análisis con uso potencial no destructivo, que permitieran la detección de *E. colombianus* en cultivos de mora (Capítulo 3) e incorporar múltiples estrategias para medir variables agronómicas, bioquímicas, microbiológicas y biofísicas de suelo rizosférico y plantas de mora. Para la selección de las variables se consideraron dos aspectos fundamentales: 1) las características propias del insecto *E. colombianus* tales como el desarrollo de todo su ciclo de vida en el suelo y la succión de alimento del floema en las raíces de las plantas y 2) factores antropogénicos como el manejo agronómico y fitosanitario, que posiblemente han transformado el ambiente edáfico y las plantas de mora en un medio que propicia la presencia y daños causados por el insecto (Capítulo 4). Como herramienta para valorar las diversas variables medidas, se utilizaron análisis multivariados, los cuales permiten un mejor entendimiento del fenómeno objeto de estudio, obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir (Vallejo & Lozano, 2006).

Para conocer la relación que tendría el insecto con el componente diseño agroecológico de las fincas, Altieri (1997) afirma que es preciso estudiar la manera como el arreglo espacial y temporal de los elementos del paisaje, afectan la dinámica del insecto. Por ejemplo, Lundgren y Fausti (2015) afirman que la diversidad de especies dentro de las comunidades de artrópodos de 57 granjas de maíz (*Zea Mays* L.) de los Estados Unidos, se correlacionaron negativamente con la abundancia de plagas (*Diabrotica* spp., plagas de lepidópteros, y pulgones) por planta para este cultivo. Esto debido a la implementación de prácticas de manejo como el aumento de la diversidad vegetal de las fincas (3 a 10 especies de cultivos plantados dentro de un radio de 3.000 metros) la cual favoreció la competencia y la predación entre insectos. La clave en este tipo de estrategias según Lundgren y Fausti (2015) y Sans (2007) es identificar claramente el tipo de diversidad que se quiere mantener o favorecer tanto a escala de parcela como de paisaje, ya que ayuda en la comprensión de cómo funcionan las comunidades de artrópodos y se logra un equilibrio ecológico capaz de enfrentar de la mejor manera una perturbación determinada. Para implementar esta estrategia, es necesario identificar primero los hospederos de las plagas y confirmar en ellas su presencia. Para el caso de

E. colombianus se podría utilizar la variable “incidencia del insecto”, medida en términos de presencia – ausencia. Esta variable se mediría tanto en los cultivos de mora como en aquellas coberturas naturales y antrópicas que se encuentren en la finca y que se reconocen como hospederos de *E. colombianus*. Sin embargo, por tratarse de un insecto que desarrolla todo su ciclo de vida en el suelo a profundidades de hasta 60 cm, es necesario superar uno de los principales limitantes en el estudio de los insectos subterráneos, el muestreo, ya que hasta el momento este se hace a través de métodos destructivos, lo que afectaría la evaluación de otras variables al ser disturbado el suelo y estresada la planta.

En este estudio, aprovechando la manifestación de las propiedades ópticas (patrones espectrales) únicas para cada grupo de plantas y organismos, se exploró el uso de la espectroscopia infrarroja cercana (comúnmente denominada NIR por su sigla en inglés) como herramienta para detectar el insecto en su ambiente natural sin destruir las plantas, ni afectar el ambiente edáfico. Esta técnica permitió con un 91% de acierto, diferenciar en cada finca plantas de mora con y sin presencia del insecto a partir de sus hojas. No obstante, la falta de un modelo de clasificación general de incidencia sugiere que el trabajo no termina aquí, es necesario continuar con estudios que profundicen en este tema, mejoren las debilidades experimentales que fueron detectadas e incluyan la detección del insecto en hospederos alternos. Aunque la técnica NIR puede parecer compleja, costosa y de difícil alcance para el agricultor, los resultados obtenidos motivan a pensar que es posible aplicar los fundamentos de la técnica para el desarrollo equipos portables que identifiquen de manera rápida y a bajo costo la presencia o ausencia de insectos del suelo en campo.

Para conocer la relación entre el insecto con los componentes suelo, plantas, clima y manejo agronómico, es necesario según Quijano *et al.* (2010) determinar primero la escala temporal y espacial del sistema a estudiar, contar con información esencial de cada uno de los componentes que integran el sistema delimitado y seleccionar variables que permitan explorar el comportamiento real del sistema a través del tiempo. En Guanajuato México, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias integró un modelo de simulación del potencial ecológico de los cultivos de maíz (maíz *Zea mays* L.) con un modelo de la dinámica poblacional de *Diabrotica* sp. (Coleoptera: Chrysomelidae). Este ensamblaje permitió construir un criterio de decisión que relaciona las características edafoclimáticas y de manejo agronómico de las regiones agrícolas del Estado de Guanajuato (luz, temperatura, humedad, genotipo y fecha de siembra) con condiciones ambientales favorables para que *Diabrotica* sp. provoque daños severos al maíz. Este modelo permite calcular en función de la textura del suelo, las precipitaciones, el monocultivo de maíz y la humedad, eclosiones escalonadas de huevos y generar escenarios del número de larvas que se alimentarán de la raíz en las distintas etapas del desarrollo del cultivo, así como los diversos niveles de reducción de materia seca de raíz y de capacidad de la planta para extraer del suelo el agua necesaria para satisfacer sus demandas metabólicas (Quijano *et al.*, 2010). Para implementar estrategias como estas en las fincas productoras de mora del Oriente Antioqueño era preciso contar primero con información básica sobre los requerimientos ambientales y nutricionales de los cultivos de mora, del insecto *E. colombianus* y de sus enemigos naturales.

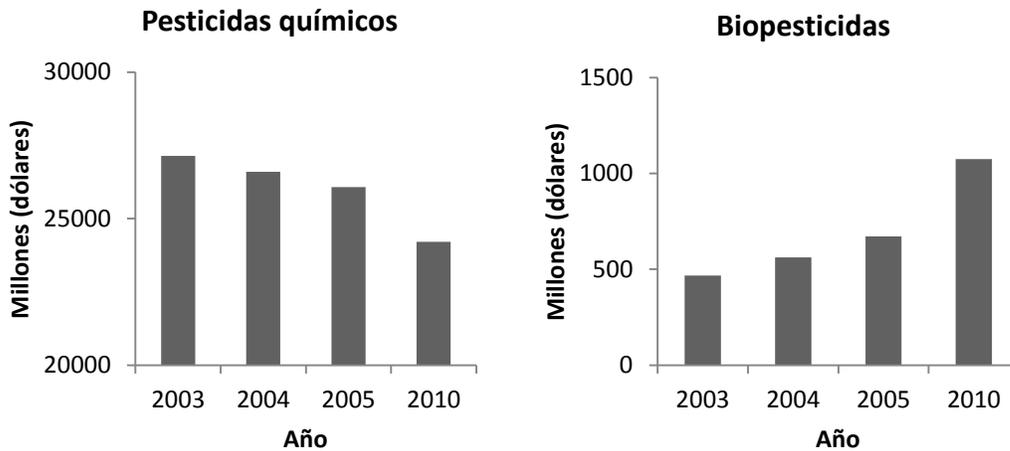
Con la información y los recursos disponibles para este estudio, se evaluaron 21 variables que incluyeron condiciones asociadas al suelo rizosférico o las plantas de mora. Con ellas se construyó una función en la que 11 variables representaron los componentes plagas, plantas, suelo rizosférico, manejo agronómico y fitosanitario. Las relaciones entre las variables se expresaron a través una ecuación matemática así: $(0,434176 \cdot \text{Control plagas y enfermedades} - 0,408719 \cdot \text{Control de arvenses} + 0,460679 \cdot \text{Compactación de suelo} - 0,56518 \cdot \text{Temperatura radical} + 0,637956 \cdot \text{pH radical} + 0,396968 \cdot \text{Colonización por otros hongos} + 1,39706 \cdot \text{Glucosa en hojas} - 1,22122 \cdot \text{Sacarosa en hojas} - 0,847559 \cdot \text{Sacarosa en suelo} - 0,548598 \cdot \text{Actividad enzimática} + 0,436384 \cdot \text{Materia Orgánica})$. Por autovalidación esta función predijo la incidencia de *E. colombianus* en el 86% de los casos. Sin embargo, no fue posible determinar si las variables asociadas con la presencia del insecto eran causa o efecto, por lo tanto es necesario validar la función. Una vez validada, servirá para probar hipótesis sobre el comportamiento real del sistema y generar estrategias que minimicen los costos económicos, ambientales y sociales derivados de la acción y el manejo de estos organismos (Barrera, 2007; Vásquez, 2008; Villalobos & Núñez, 2010).

De confirmarse que la acumulación de sacarosa en hojas (una de las variables evaluadas) es la principal condición asociada con la presencia del insecto en las plantas de mora, la estrategia de manejo no deberá orientarse a la utilización de pesticidas químicos o biológicos como primera medida, sino al manejo de las condiciones ambientales o al cambio de las prácticas agronómicas que deriven en una acumulación de ese azúcar en la planta. Esto solo será posible si se tienen presente la biología del insecto, las condiciones edafoclimáticas de cada lugar así como y los requerimientos de cada cultivo. Por ejemplo, *E. colombianus* pasa la mayor parte de su ciclo de vida recubierto de una capa cerosa que lo aísla del ambiente externo evitando su contacto con los insecticidas químicos (González *et al.*, 1969; Soria & Dal Conte, 2000), adicionalmente los aldehídos que conforman la capa cerosa (Quiñones *et al.*, 2008) tienen efecto fungistático sobre hongos entomopatógenos como *Metharizium anisopliae* (Lopes *et al.*, 2012), principal hongo empleado para el control de este insecto (Ardila *et al.*, 2013; Lopera, 2001; Zapata, 2013). Con un solo quiste que sobreviva a las aplicaciones de insecticida, es posible tener hasta 140 nuevos individuos (Castrillón *et al.*, 2000a) que al emerger encontraran cantidades ilimitadas de alimento consecuencia de los arreglos en monocultivo (Altieri & Nicholls, 2004; Risch, 1987; Risch *et al.* 1983); y plantas de mora que posiblemente responderán a las exigencias nutricionales del insecto (acumulación de aminoácidos y azúcares solubles en la savia o el citoplasma) (Chaboussou, 2004), consecuencia de un posible desequilibrio entre la fotosíntesis y respiración de las plantas derivados a su vez por factores como: aumento en la temperatura del suelo, déficit de agua en las plantas, mal estado nutricional de las plantas, lesiones en raíces por herramientas agrícolas o parásitos, suelos compactados o presencia de fenoles en el suelo como resultado de la humificación (Primavesi, 1982).

Con respecto a la alta dependencia de los productores al empleo de insumos para el manejo de plagas en el mundo, actualmente se observa una disminución progresiva en el uso de agentes químicos, con un incremento consistente en el uso de productos biológicos (Figura 5-1). Es posible que ese patrón se relacione con una mayor conciencia de los consumidores y agricultores acerca de los riesgos para la salud y el

medio ambiente por el uso de insumos químicos, acompañada de un deseo de usar tecnologías más amigables con la salud y el medio ambiente. No obstante, esa tendencia justificable, de cambiar una tecnología aparentemente negativa, por otra más amigable, sin analizar el efecto en las poblaciones de insectos y el agroecosistema en forma holística, podría tener consecuencias negativas en el mediano y largo plazo.

Figura 5-1: Tendencias en el uso de insumos químicos y biológicos para el manejo de plagas en el mundo (Adaptado de Thakore, 2006).



Finalmente, es necesario entender que la agroecología no puede proveer fórmulas mágicas o cocteleras ecologistas de aplicación universal en el manejo de cultivos o sistemas agroalimentarios, pero sí provee para ello marcos conceptuales sólidos que orientarán la búsqueda y diseño de nuevas herramientas para uso por agricultores, y para beneficio de la sociedad en general. Es necesario entender que las diversas disciplinas científicas no pueden por sí solas responder adecuadamente al desafío que plantea la agricultura sostenible de convertir los agroecosistemas en sistemas económicamente viables, ecológicamente sanos y socialmente justos (Altieri, 1997). Por lo tanto, para el manejo de plagas, será necesario romper con el enfoque reduccionista y caminar hacia el holismo (Villalobos & Núñez, 2010). En ese sentido, será fundamental estudiar los insectos no solo como factores limitantes de los rendimientos agrícolas sino también como indicadores de agroecosistemas disfuncionales, identificando aquellas condiciones sociales y ecológicas que puedan reducir la capacidad de respuesta del agroecosistema y su adaptación a los cambios (Villalobos & Núñez, 2010).

5.2 Conclusiones

Si bien este estudio no resuelve el problema de la perla de tierra colombiana en los cultivos de mora del Oriente Antioqueño, (lo cual sería demasiado reduccionista si se tiene en cuenta que lo que desfavorece a un insecto posiblemente favorece a otro), sí contribuye para abordarlo desde un enfoque agroecológico ya que partió de estudiar sistemas reales (las fincas y sus productores), y para superar el obstáculo que representa entender las causas de un brote poblacional a partir del estudio simultáneo de

múltiples componentes del agroecosistema. Con las herramientas de medición y análisis exploradas, se aportó a un mejor conocimiento de las causas por las que los cultivos de mora estudiados en el Oriente Antioqueño podrían tornarse vulnerables al daño causado por *E. colombianus*. Aunque la validación de esas causas supera los límites posibles para este proyecto, a futuro ello permitiría determinar la magnitud de la vulnerabilidad de dichos cultivos al daño causado por este y otros insectos del suelo, para darle al agricultor las herramientas necesarias y concretas para tomar decisiones de manejo que a corto y largo plazo sean económica, social y ecológicamente viables.

5.3 Recomendación

Nuestra agricultura debe favorecer el uso de nuevas herramientas analíticas, así como la conformación de equipos interdisciplinarios con una base conceptual común y concertada del problema a tratar, de manera que puedan realizarse a bajo costo análisis directos, intensivos y sucesivos en el campo. En esa forma sería posible construir modelos robustos de comportamiento de insectos y plantas. Consecuentemente, será posible tomar decisiones rápidas e informadas para disminuir con base en principios agroecológicos la exposición y sensibilidad del agroecosistema al daño por insectos y mejorar su capacidad de adaptación. Esas herramientas incluyen nuevas técnicas estadísticas y analíticas, que aunque representan retos tecnológicos, podrían incorporarse a sistemas de información más simples y ampliamente disponibles hoy, de manera que puedan asistir a unos y otros en la adquisición de un conocimiento más profundo sobre los agroecosistemas y su dinámica.

Bibliografía

- Acuña, M. A., & Murphy, G. E. (2007). Uso de espectroscopia infrarroja y análisis multivariado para predecir la densidad de la madera de pino oregón. *Bosque*, 28(3), 187-197.
- Afifi, A. A., & Clark, V. (1996). Discriminant analysis. En *Computer-aided multivariate analysis* (Third ed., pp. 243-280). Chapman & Hall.
- Allsopp, P. G., & McGill, N. (1996). Host plant resistance: A key component minimizing losses from pink ground pearl. *Proceeding of Australian society of sugar cane technologist*, 18, 100-105.
- Altieri, M. A. (1997). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Lima, Perú: CIED/Secretariado Rural Perú-Bolivia.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*(24), 17-24.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2003). Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 203-211.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2004). An agroecological basis for designing diversified cropping systems in the tropics. *Journal of Crop Improvement*, 11(1-2), 81-103.
- Alvarado, A. L. (2002, Junio 19). *Mora (Rubus)*. Recuperado Mayo 21, 2013, de Consejo Nacional de Producción (CNP). Boletín Quincenal: http://www.cnp.go.cr/biblioteca/mora/M_mora_19_06-02.PDF
- Angulo, R. (2003). *Frutales exóticos de clima frío moderado*. Bogotá, Colombia: Bayer Crop Science S.A.
- Ardila, Y. P. (2013). Patogenicidad de hongos entomopatógenos sobre *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Hemiptera: Margarodidae), plaga de mora (*Rubus glaucus* Benth.) (tesis de maestría). *Universidad Nacional de Colombia*. Medellín, Colombia.
- Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol). (2010). Con la cadena de la mora renace el optimismo en el cultivo. *Frutas & Hortalizas*(14), 16-18.

- Astier, M., Masera, O. R., & Miyoshi, Y. G. (2008). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional* (Primera ed.). México: SEAE/ CIGA/ ECOSUR/ CIECO/ UNAM/ GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable de España.
- Barrera, J. F. (2007, Noviembre). Manejo Holístico de Plagas: Mas allá del MIP. *Memorias XXX Congreso nacional de control biológico – Simposio del IOBC*, 18 p. Yucatán, Mérida, Mexico.
- Barrera, J. F., Herrera, J., & Gómez, J. (2007). Riesgo-vulnerabilidad hacia la broca del café bajo un enfoque de manejo holístico. En *La broca del café en América tropical: hallazgos y enfoques* (pp. 131-141). Chiapas, México: Departamento de Entomología Tropical. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).
- Blanco, M., & Villarroja, I. N. (2002). NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21(4), 240-250.
- Blanco, M., Coello, J., Iturriaga, H., Maspoch, S., & De La Pezuela, C. (1998). Near infrared spectroscopy in the pharmaceutical industry. *Analyst*, 123, 135-150.
- Buchanan, B., Grisse, W., & Jones, R. (2000). *Biochemistry and molecular biology of plants*. California, Estados Unidos: Wiley Blackwell.
- BÜCHI LABORTECHNIK AG. (2013). *NIRCal_Quickguide*. Recuperado Enero 21, 2014, de <http://www.buchi.com>
- Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño (CCOA). (2014). Diagnóstico de competitividad del Oriente Antioqueño. *Publicaciones regionales*, 55 p. Oriente Antioqueño.
- Cambule, A. H., Rossiter, D. G., Stoorvogel, J. J., & Smaling, E. M. (2012). Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique. *Geoderma*, 183, 41-48.
- Candolfi, A., De Maesschalck, R., Jouan-Rimbaud, D., Hailey, P. A., & Massart, D. L. (1999). The influence of data pre-processing in the pattern recognition of excipients near-infrared spectra. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 21(1), 115-132.
- Carneiro, R., Soria, S. J., Kulczynski, S. M., & Da Silva, J. B. (1994). Patogenicidad de *Paecilomyces fumosoroseus* aislado CG 259 a *Eurhizococcus brasiliensis* Hempel (Homoptera; Margarodiade). *Anais da sociedade entomológica do Brasil*, 23(2), 345-348.

- Carvajal, L. (2002). Estudio del efecto patogénico de algunos microorganismos sobre *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Homoptera: Margarodidae) (tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Colombia*. Medellín, Colombia.
- Castaño, O. (2000, Noviembre 15-17). Plagas del cultivo de la mora y su manejo integrado. Frutales de clima frío moderado. *Memorias Tercer seminario de frutales de clima frío moderado*. Manizales: Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales CDTF.
- Castrillón, A. C., Urrea, J., Guevara, M. N., & Rodríguez, J. E. (1998). Reacción de diferentes clones de lulo al ataque de la perla de tierra *Eurhizococcus spp.* en zonas de clima frío moderado del departamento de Caldas. *Memorias Segundo seminario de frutales de clima frío moderado*, pp. 153-160. Manizales, Colombia: Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales CDTF.
- Castrillón, C., Pineda, S. M., & Urrea, C. F. (2000b, Noviembre 15-17). Observaciones sobre el comportamiento de perla de tierra en cultivos de mora y tomate de árbol. *Memorias Tercer seminario de frutales de clima frío moderado.*, pp. 119-124. Manizales, Colombia: Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales CDTF.
- Castrillón, C., Urrea, C. F., & Pineda, S. (2000a, Noviembre 15-17). Algunos aspectos biomorfológicos y agroecológicos de la Perla de tierra en zonas Fn. *Memorias Tercer seminario de frutales de clima frío moderado*, pp. 125-131. Manizales, Colombia: Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales CDTF.
- Castro, L. E., Flores, D. A., Navarro, R., & Gaviria, B. M. (2008). Moras silvestres (*Rubus spp.*) como patrones para mora de castilla (*R. glaucus*) y su reacción a perla de tierra (*Eurhizococcus colombianus*). *Revista Universidad Católica de Oriente*(26), 29-36.
- Chaboussou, F. (2004). *Healthy crops. A new agricultural revolution*. París: Jon Carpenter Published. Gaia foundation.
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare). (2014). Plan de gestión ambiental regional 2014-2032. Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático, un pacto por la sostenibilidad del oriente Antioqueño. *Informe*, 289 p. Santuario, Antioquia, Colombia.
- Cuadras, C. M. (1981). *Métodos de analisis multivariante* (Primera ed.). Barcelona: Eunibar.
- Dando, W. A. (2012). Great irish famine: 1845 – 1850. In W. A. Dando (Ed.), *Food and Famine in the 21st Century* (Vol. 1, pp. 97-124). Santa Barbara, California, USA: ABC-CLIO LLC.

- De Klerk, C. A. (1987). Chemical control of *Margarodes prieskaensis* (Jakubski) (Coccoidea: Margarodidae) on grapevines. *South african journal of enology and viticulture*, 8, 11-14.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE. (2013, Noviembre). El cultivo de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) frutal de clima frío moderado, con propiedades curativas para la salud humana. *Boletín mensual N° 17. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. Bogotá, Colombia.
- Díaz, C. A., Navas, G. E., & Tamayo, A. (2010). La fertilización química de la mora san Antonio, dentro de la implementación de las BPA en Antioquia y Caldas. *Memorias VII Seminario internacional de frutas tropicales. Agroindustria e innovación*, p. 72. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Dowell, F. E., Throne, I. E., Wang, D., & Baker, I. E. (1999). Identifying stored-grain insects using near-infrared spectroscopy. *Journal of Economic Entomology*, 92, 165-169.
- Downey, G., & Boussion, J. (1996). Authentication of coffee bean variety by near - infrared reflectance spectroscopy of dried extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71(1), 41-49.
- Edwards, P. B., Wanjura, W. J., & Brown, W. V. (1993). Selective herbivory by Christmas beetles in response to intraspecific variation in *Eucalyptus* terpenoids *Oecología*, 95(4), 551-557.
- Efrom, C. F., Botton, M., & Meyer, G. (2012). Brazilian ground pearl damaging blackberry, raspberry and blueberry in Brazil. *Ciência Rural*, 42(9), 1545-1548.
- Escobar, C. H. (2014). *Cadena productiva nacional de la mora. Indicadores de apoyo*. Recuperado Febrero 15, 2015, de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: http://sioc.minagricultura.gov.co/templates/sioc_cadenas/docs/4219_46.pdf
- Ferro, D. (1987). Insect pest outbreaks in agroecosystems. En P. Barbosa, & Schultz (Eds.), *Insect outbreaks* (pp. 195-215). London, United Kingdom: Academic Press INC. LTD.
- Figueroa-Potes, A. (1946). Catalogación inicial de las Cochinillas del Valle del Cauca. [HomopteraCoccoidea]. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 6(23), 196-220.
- Foldi, I., & Soria, S. J. (1989). Les cochenilles nuisibles à la vigne en Amérique du Sud (Homoptera: Coccoidea). *Annales de la Société entomologique de France (Nouvelle série)*, 25, 411-430.

- Foley, W. J., McIlwee, A., Lawler, I., Aragones, L., Woolnough, A. P., & Berding, N. (1998). Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy -a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. *Oecología*, 116, 293-305.
- Franco, G., & Giraldo, M. (2001). El cultivo de la mora. *Manual de asistencia técnica, Quinta edición corregida*, 81 p. Risaralda, Colombia: CORPOICA/ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia/ SENA/ Comité Técnico Agropecuario de Risaralda, UMATA.
- Fraser, E. D. (2003). Social vulnerability and ecological fragility: Building bridges between social and natural sciences using the irish potato famine as a case study. *Conservation Ecology*, 72(2), 9.
- Fundación Codesarrollo. (2007, Abril). Alianza para la producción y comercialización de mora en los municipios de la Unión y Marinilla. *Proyecto Apoyo Alianzas Productivas*, 140 p. Antioquia, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155-167.
- Gallopín, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293-303.
- Galvan, Y., Masera, O., & Lopez, S. (2008). Las evaluaciones de sustentabilidad. In *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional* (Primera ed., pp. 40-56). México: SEAE/ CIGA/ ECOSUR/ CIECO/ UNAM/ GIRA/ Mundiprensa/ Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable de España.
- Gange, A., & Brown, V. (1989). Effects of root herbivory by an insect on a foliar-feeding species, mediated through changes in the host plant. *Oecología*, 81(1), 38-42.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (Primera ed.). Barcelona, España: Editorial Gedisa S.A.
- Gauch, H., & Dugger, W. (1953). The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiology*, 28(3), 457-466.
- Gehring, C. A., & Whitham, T. G. (1991). Herbivore-driven mycorrhizal mutualism in insect-susceptible pinyon pine. *Nature*, 353(6344), 556-557.
- Giovanetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist*, 84, 489-500.

- Gliessman, S. (2002). *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Gómez, J. J. (2001, Junio 20-21). Vulnerabilidad y medio ambiente. *Memorias Seminario internacional "Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en America Latina y el Caribe"*, 36 p. Santiago de Chile, Chile: Naciones Unidas/Comisión Económica para America Latina y el Caribe-CEPAL/Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía CELADE- División de población.
- González, R., Hiroshi, K., Marín, A., & Hughes, P. (1969). Biología y ensayos preliminares de control del margarodes de la vid, *Margarodes vitis* (Philippi). *Agricultura Técnica*, 29, 93-123.
- Google Earth (Versión 7.1.5.1557) [software]. (2015). *Licencia libre*. Recuperado de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Gould, F. (1998). Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual review of entomology*, 43(1), 701-726.
- Green, V., Stott, D., & Diack, M. (2006). Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity optimization for soil samples. *soil biology biochemistry*, 38, 693-701.
- Grigoletti, J., & Soria, S. (1999). Controle químico da pérola-da-terra *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel in Wille, 1922) (Homoptera: Margarodidae): Ensaio comparativo da eficácia de alguns inseticidas em vinhedos do Rio Grande do Sul, Brasil. *Entomologia y vectores*, 6(1), 11-22.
- Gunderson, L., & Holling, C. S. (2002). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Washington, D.C., USA: Island Press.
- Hammond, J. P., & White, P. J. (2008). Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. *Journal of Experimental Botany*, 59(1), 93-109.
- Hermans, C., Hammond, J. P., White, P. J., & Verbruggen, N. (2006). How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends in Plant Science*, 11(12), 610-617.
- Hickel, E. R. (1994). Reconhecimento, colecta, transporte e depósito de ninfas perola da terra *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) pela formiga argentina *Linepithema humile* (Mayr). *Anais da sociedade entomológica do Brasil*, 23(2), 285-290.
- Hickel, E. R., & Schmitt, A. T. (1997). Propeccao de controle da perola da terra *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) com nematodeos entomopatogenicos

- Steinermena carpocapsae All. *Reuniao Sul – Brasileira sobre pragas de solo*, pp. 103-105. Santa Maria: UFSM.
- Ignoffo, C. M. (1992). Environmental factors affecting persistence of entomopathogens. *The Florida Entomologist*, 75(4), 516-525.
- Instituto Colombiano Agropecuario-ICA. (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth.). Medidas para la temporada invernal. *Cartilla*, 30 p. Bogotá D.C., Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)-Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1985). *Zonificación agroecológica de Colombia*. Bogotá: Subdirección agrológica y subgerencia de investigaciones y transferencia de tecnología agropecuaria.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). Technical summary climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. En M. Manning, & C. Nobre (Eds.), *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 19-74). Cambridge University Press.
- Ipinza, J., Castro, L., Eissemann, R., & Morales, M. A. (2010). Factores que influyen en la distribución de nidos de la hormiga argentina *Linepithema humile* Mayr (Hymenoptera: Formicidae), en un ecosistema precordillanero de la zona central de Chile. *Neotropical Entomology*, 39(5), 686-690.
- Jakubski, A. W. (1965). *A critical revision of the families Margarodidae and Termitococcidae (Hemiptera, Coccoidea)*. London, England: Trustees of the British Museum (Natural History).
- Jaramillo, D. F. (1995). *Andisoles del Oriente Antioqueño. Caracterización química y fertilidad*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Jaramillo, D. F. (2009). Variabilidad espacial de las propiedades ándicas de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). Medellín. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(1), 4907-4921.
- Jaramillo, D. F. (2011). *El suelo: origen, propiedades, espacialidad*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, D. F. (2012). Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia*, 1(1), 73-87.
- Johnson, S. N., Crawford, J. W., Gregory, P. J., Grinev, D. V., Mankin, R. W., Masters, G., . . . Zhang, X. (2007). Non-invasive techniques for investigating and modelling root feeding insects in managed and natural systems. *Agricultural and Forest Entomology*, 9, 39-46.

- Karunakaran, C., Jayas, D. S., & White, N. D. (2003). X-ray image analysis to detect infestations caused by insects in grain. *Cereal Chemistry*, 80(5), 553-557.
- Kondo, T., & Gómez, C. (2008). La perla de tierra, *Eurhizococcus colombianus* Jakubski, una nueva plaga de la vid, *Vitis labrusca* L. en el Valle del Cauca, Colombia. *Novedades Técnicas, Corpoica, Centro de Investigación Palmira, Año* 9(10), 30-40.
- Kotwaliwale, N., Singh, K., Kalne, A., Jha, S. N., Seth, N., & Kar, A. (2014). X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *Journal of Food Science and Technology*, 5(1), 1-15.
- Kurimoto, K., Day, D., Lambers, H., & Noguchi, K. (2004). Effect of respiratory homeostasis on plant growth in cultivars of wheat and rice. *Plant, Cell and Environment*, 27(7), 853-862.
- Lavine, B. K. (1998). Chemometrics. *Analytical Chemistry*, 70(12), 209-228.
- Liu, G. X., Wang, X. P., & Li, X. M. (2009). Application of NIR spectroscopy technology in the field of insect pests detection. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, 29(7), 1856-1859.
- Liu, Z. Y., Shi, J. J., Zhang, L. W., & Huang, J. F. (2010). Discrimination of rice panicles by hyperspectral reflectance data based on principal component analysis and support vector classification. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 11(1), 71-78.
- Londoño, M. E., Arévalo, H. A., & Tobón, W. A. (2010). Aspectos biológicos de perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* (Jakubski 1965). (Hemiptera:Margarodidae). *Memorias VII seminario internacional de frutas tropicales. Agroindustria e innovación*, p 75. Medellín, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Lopera, G. (2001). Evaluación de la patogenicidad de aislamientos nativos de *Metarhizium anisopliae* Mestch. (Sorokin), sobre *Eurhizococcus colombianus* Jakubski. (Homoptera: Margarodidae) en mora (tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Colombia*. Medellín, Colombia.
- Lopes, R., Silva, S., Tigano, M., & Botton, M. (2012). Entomopathogenic fungi as potential control agents against the Brazilian ground pearl *Eurhizococcus brasiliensis* (Hemiptera:Margarodidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 247-251.
- Luers, A. L. (2005). The surface of vulnerability: an analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change*, 15(3), 214-223.

- Luers, A. L., Lobell, D. B., Sklar, L. S., Addams, C. L., & Matson, P. (2003). A method for quantifying vulnerability applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Global Environmental Change*, 13(4), 255-267.
- Lundgren, J., & Fausti, S. (2015). Trading biodiversity for pest problems. *Science Advances*, 1(6), 1-5.
- Magdoff, F. R., & Vans, H. M. (2000). *Building soils for better crops. Handbook series book 4* (Second ed.). Vermont: Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD.
- Maghirang, E. B., & Dowell, F. E. (2003). Hardness measurement of bulk wheat by single-kernel visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 80, 316-322.
- Mankin, R. W., Brandhorst-Hubbard, J., Flanders, K. L., Zhang, M., Crocker, R. L., Lapointe, S. L., Weaver, D. K. (2000). Eavesdropping on insects hidden in soil and interior structures of plants. *Journal of Economic Entomology*, 93(4), 1173-1182.
- Masters, G., Brown, V., & Gange, A. (1993). Plant mediated interactions between above and below ground insect herbivores. *Oikos*, 66(1), 148-151.
- Matson, P., Parton, W., Power, A., & Swift, M. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277, 504-509.
- Meneses, E., Aristizabal, M. I., Jaramillo, C., & Guarín, J. H. (2012, Julio 11-13). Estrategia de manejo de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera:Margarodidae) con enfoque de producción limpia. *Memorias XXXIX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*, p. 92. Ibagué, Colombia.
- Miranda, D. (2011). Estado actual de fruticultura colombiana y perspectivas para su desarrollo. *Revista Brasileira de Fruticultura, Especial*, 199-205.
- Murray, P. J., Hatch, D. T., & Cliquet, J. B. (1996). Impact of insect root herbivory on the growth and nitrogen and carbon contents of white clover (*Trifolium repens*) seedlings. *Canadian Journal of Botany*, 74(10), 1591-1595.
- National Academy of Sciences. (1994). Efecto de plaguicidas en la fisiología de las frutas y hortalizas. Control de plagas de plantas y animales. Mexico D.F: Noriega Editores.
- Navas, G. E., Díaz, C. A., & Tamayo, A. (2010). Efecto de la fertilización biológica en la producción y calidad de mora San Antonio, en Antioquia y Caldas. *Memorias VII Seminario internacional de frutas tropicales. Agroindustria e innovación*, p. 71. Medellín, Colombia: Universidad Pontificie Bolivariana.

- Nicholls, C. I. (2010). Contribuciones agroecológicas para renovar las fundaciones del manejo de plagas. *Agroecología*, 5, 7-22.
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2002). Biodiversidad y diseño agroecológico: Un estudio de caso de manejo de plagas en viñedos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 65, 50-64.
- NIRCal® [Software]. (n.d.). *Licencia Universidad Nacional de Colombia sede Medellín*. Medellín, Colombia: BUCHI.
- Nufarm. (s.f.). www.nufarm.com. Recuperado Enero 23, 2014, de <http://www.nufarm.com/assets/17092/1/CARBOFURANAGROGEN330SC.pdf>
- O'neal, M. E., Landis, D. A., Rothwell, E., Kempel, L., & Reinhard, D. (2004). Tracking insects with harmonic radar: a case study. *American Entomologist*, 50, 212-218.
- Ochoa, V., Hinojosa, B., Gómez-Muñoz, B., & García-Ruiz, R. (2007). Actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas ecológicos. *Iniciación a la Investigación* (2), 1-10.
- Osorio, J. C. (2005). Distribución radical de perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* y relación con factores ambientales en mora (tesis de pregrado). *Universidad Nacional de Colombia*. Medellín, Colombia.
- Paliwal, J., Wang, W., Symons, S. J., & Karunakaran, C. (2004). Insect species and infestation level determination in stored wheat using near-infrared spectroscopy. *Biosystems Engineering*, 46, 717-724.
- Perez, M. A. (2010). *Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos. Guía metodológica. Herramienta para la gestión de sistemas agrícolas desde la perspectiva de la agroecología*. Bogotá D.C, Colombia: Corporación Ambiental Empresarial. Cámara de Comercio de Bogotá.
- Pérez, N. (2004). *Manejo ecológico de plagas*. La Habana, Cuba: Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural – CEDAR/ Universidad Agraria de La Habana.
- Pimentel, D. (2009). Pesticides and pest control. En *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process* (Vol. 1, pp. 83-87). Springer Netherlands.
- Plan Estratégico del Oriente Antioqueño (PLANEO). (2009). *Informe final del proyecto plan estratégico para un pacto social por el desarrollo del oriente antioqueño*.
- Plan Frutícola Nacional (PFN). (2006). Diagnóstico y análisis de los recursos para la fruticultura en la región cafetera. 33 p. Cali, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR/ Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola – FNFH/

Asociación Hortofrutícola de Colombia – Asohofrucol/ Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca - SAG.

- Portillo, C., Villani, M. G., Tauber, M. J., Tauber, C. A., & Nyrop, J. P. (1999). Entomopathogenic nematode (Rhabditida: Heterorhabditidae and Steinernematidae) response to soil texture and bulk density. *Environmental Entomology*, 28(6), 1021-1035.
- Posada, O., De Polonia, I. Z., & Cure, J. R. (1978). *Plagas de mora*. Recuperado Marzo 5, 2011, de <http://www.wikinsecta.cenicafe.org>
- Primavesi, A. (1982). *Manejo ecológico del suelo*. Sao Paulo, Brasil: Livraria Nobel S.A.
- Quijano, J. A., López, J., Rodríguez del Bosque, L. A., Hernández, M. I., & Palacios, V. (2010). Modelos de simulación. En L. M. Rodríguez del Bosque, & M. A. Morón (Eds.), *Plagas del suelo* (pp. 125-145). Mexico: Colegio de posgraduados. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Universidad Autónoma de Chapingo. Editorial Mundi – Prensa.
- Quiñones, W., Vicente, B., Torres, F., Archbold, R., Murillo, W., Londoño, M., Echeverri, F. (2008). Chemical composition of ground pearl (*Eurhizococcus colombianus*) cysts. *Molecules*, 13(1), 190-194.
- Reynolds, D. R., & Riley, J. R. (2002). Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35(2-3), 271-307.
- Ríos, G., Vásquez, L. A., Arévalo, H. A., Londoño, M. E., & Torres, M. (2010). *Caracterización biofísica y socioeconómica del sistema de producción de mora en los departamentos de Antioquia y Caldas, con énfasis en el problema de perla de la tierra*. Informe proyecto de investigación , CORPOICA, Antioquia, Rionegro.
- Rios, G., Vásquez, L., & Hurtado, R. (2009). *Zonificación del cultivo de la mora: una herramienta básica para orientar su desarrollo competitivo*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA, Antioquia, Rionegro .
- Risch, S. (1987). Agricultural ecology and insect outbreaks. En P. Barbosa, & J. Schultz (Eds.), *Insect outbreaks* (pp. pp 217-238). San Diego, California, United States: Academic Press, INC.
- Risch, S. J., Andow, D., & Altieri, M. A. (1983). Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions and new research directions. *Environmental Entomology*, 12, 625-629.

- Roberts, C. A., Workman, J. J., & Reeves, J. B. (2004). *Near-infrared spectroscopy in agriculture*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc.
- Rodríguez Del Bosque, L. A., Najera-Rincon, M. B., & Ruiz-Vega, J. (2010). Métodos de estudio. En L. A. Rodríguez del Bosque, & M. A. Morón (Eds.), *Plagas del suelo* (Primera ed., pp. 19-39). Cuauhtémoc, México: Mundi Prensa México.
- Rutherford, R. S., & Van Staden, J. (1996). Towards a rapid near-infrared technique for prediction of resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) using stalk surface wax. *Journal of Chemical Ecology*, 22(4), 681-694.
- Sans, F. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas*, 16(1), 44-49.
- Sen, A. (1983). *Poverty and famines: an essay on entitlement and deprivation*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Shibli, A., & Srebnik, M. (2005). Environmental aspect of boron. In H. Ali, V. Dembitsky, & M. Srebnik, *Contemporary aspects of boron: Chemistry and biological applications* (p. 599 p). Jerusalem, Israel: Hebrew University of Jerusalem.
- Singh, C. B., Jayas, D. S., Paliwal, J., & White, N. D. (2010). Identification of insect-damaged wheat kernels using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(2), 118-125.
- Sistema de Información de Innovación Agropecuaria (Siembra). (2014). *Siembra*. Recuperado Febrero 2, 2015, de <http://www.siembra.gov.co>
- Smith, B. (1999). *Infrared spectral interpretation. A systematic approach*. Nueva York: CRC Press LLC.
- Smith, B., Burton, I., Klein, R., & Wandel, J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change*, 45(1), 223-251.
- Soria, S. J., & Dal Conte, A. F. (2000). Bioecología e controle das pragas da videira no Brasil. *Entomología y Vectores*, 7(1), 73-102.
- Soria, S. J., & Gallotti, B. J. (1986). Margarodes da Videira *Eurhizococcus brasiliensis* (Homóptera: Margarodidae): Biología, ecología e controle no soul do Brasil. *Circular técnica Nº 13*, 22 p. Brasil: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vino.
- Soria, S. J., & Mello, R. P. (1998). Ocorrência de *Proleipsis lucifer* (Wiedemann, 1828) (Diptera: Asilidae) no sul do Brasil, com anotações morfológicas sobre larvas e pupas. *Entomología y Vectores*, 5(6), 279-294.

- Speelman, E. N., & García-Barrios, L. (2010). Agrodiversity v2: An educational simulation tool to address some challenges for sustaining functional agrodiversity in agroecosystems. *Ecological Modelling*, 221(6), 911-918.
- Statgraphics Centurion (versión XVI.I) [software]. (1982). *Licencia de prueba*. Recuperado de <http://www.statgraphics.net/descargas-centurion-xvii/>.
- Strik, B. C., Clark, J. R., Finn, C. E., & Bañados, M. P. (2007). Worldwide blackberry production. *HortTechnology*, 17(2), 205-213.
- Susurluk, H., Caliskan, Z., Gürkan, O., Kirmizigül, S., & Gören, N. (2007). Antifeedant activity of some *Tanacetum* species and bioassay guided isolation of the secondary metabolites of *Tanacetum cadmeum* sp. cadmeum (Compositae). *Industrial Crops and Products*, 26(2), 220-228.
- Tafur, R. (2006). Propuesta frutícola para Colombia y su impacto en la actividad económica nacional regional y departamental. *Memorias Primer congreso colombiano de horticultura*. Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, pp. 47-66. (G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita, & S. Magnitskiy, Eds.) Bogotá, Colombia.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. 10). Universitat Jaume I.
- Thakore, Y. (2006). The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology*, 2(3), 194-208.
- The Plant List*. (2013). Recuperado 2015, de The Plant List: <http://www.theplantlist.org/>
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079.
- U.S. Agency for International Development (USAID) - Programa Más Inversión para el Desarrollo Alternativo Sostenible (MIDAS) - Acción Social. (2009, Agosto). Situación actual y perspectivas del mercado de la mora. 16 p. Bogotá: ECONOMIC RESEARCH SERVICE- ERS.
- UNISDR. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Recuperado Junio 15, 2013, de Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres - UNISDR Ginebra - Suiza: http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2002). *Assessing human vulnerability due to environmental change: concepts, issues, methods and case studies*.

- Nairobi, Kenya: UNEP/DEWA/TR Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP).
- Usuki, F., & Narisawa, K. (2007). A mutualistic symbiosis between a dark septate endophytic fungus, *Heteroconium chaetospora*, and a nonmycorrhizal plant, *Chinese cabbage*. *Mycologia*, 99(2), 175-184.
- Vallejo, G., Lozano, L. M. (2006). Modelos de análisis para los diseños multivariados de medidas repetidas. *Psicothema*, 18(2), 293–299.
- Vásquez, L. L. (2008). *Manejo integrado de plagas. Preguntas y respuestas para técnicos y Agricultores*. La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnica.
- Vierheilig, H., Coughlan, A. P., Wyss, U., & Piche, Y. (1998). Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 5004-5007.
- Villalobos, F. J., & Núñez, M. E. (2010). Manejo sustentable. En L. M. Rodríguez del Bosque, & M. A. Morón (Eds.), *Plagas del suelo* (pp. 215-236). Morelos, Cuernavaca, México: Grupo Mundi-Prensa.
- Vogel, C., Moser, S. C., Kasperson, R. E., & Dabelko, G. D. (2007). Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: pathways, players, and partnerships. *Global Environmental Change*, 17(3), 349-364.
- White, T. (1984). The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia*, 63(1), 90-105.
- Wikimedia Commons. (2014, Octubre 20). *File:Mapa de Colombia (región Andina).svg*. Recuperado 2015, de Wikimedia Commons: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mapa_de_Colombia_\(regi%C3%B3n_Andina\).svg?uselang=es](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mapa_de_Colombia_(regi%C3%B3n_Andina).svg?uselang=es)
- Wold, S. (1991). Chemometrics, why, what and where to next? *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 9(8), 589-596.
- Workman, J. J., & Weyer, L. (2008). *Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group.
- Xing, J., & Guyer, D. (2008). Detecting internal insect infestation in tart cherry using transmittance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3), 411-416.
- Zagal, E., Rodríguez, R., Vidal, I., & Quezada, L. (2002). Actividad microbiana en un suelo de origen volcánico bajo distinto manejo agronómico. *Agricultura Técnica*, 62(2), 297 - 309.

Zapata, P. A. (2013). Distribución espacial y manejo de la perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* Jakubsky (Hemiptera: Margarodidae) con hongos entomopatógenos en mora de castilla *Rubus Glaucus* Benth. (Rosaceae) (tesis de maestría). *Universidad Nacional de Colombia*. Palmira, Colombia.