

Detección de *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) en mora por espectroscopía del infrarrojo cercano

Detection of *Eurhizococcus colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) in blackberry plants by near-infrared spectroscopy

Elizabeth Meneses^{1*}; Gloria Arango²; Guillermo Correa³; Orlando Ruíz⁴; Luis Gonzalo Vargas⁵; Juan Carlos Pérez⁶

¹ Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias, Calle 59A No 63 – 20 Medellín- Colombia.; ² Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias. Medellín – Colombia.

*Autora para correspondencia: elmenesesos@unal.edu.co

Rec.: 01.08.2014 Acep.: 27.10.2014

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 evaluar 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* Benth.), en la región del Oriente antioqueño. La información obtenida en siete 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 muy promisoría para detectar el insecto 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.

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 sensitive enough 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 assess the use of NIR spectroscopy in leaves and rhizosphere soil samples as an analytical technique to define the presence of the underground insect *Eurhizococcus colombianus* in blackberry crops, in the Eastern of Antioquia. The information obtained in seven farms distributed in five municipalities indicates that it is possible to classify plants with presence or absence of the insect through the spectral patterns of leaves and rhizosphere soil within each farm. However, it was not possible to establish a general model involving the data gathered from all farms. These results allow us to glimpse a promising 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: Detection of infestation, Colombian ground pearl, NIR, non-destructive sampling, *Rubus glaucus* Benth.

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 cochinilla o perla de tierra colombiana, el cual fue registrado como plaga de importancia económica desde hace más de 30 años (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 perla de tierra 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 y Riley, 2002; O'Neal *et al.*, 2004; Johnson *et al.*, 2007; Kotwaliwale *et al.*, 2011). 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. 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 (Acuna y 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 y 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; Lui *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, esta investigación 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 esta metodología para el diagnóstico del insecto en plantas de mora, de manera rápida y no destructiva.

Materiales y métodos

Área de estudio

Esta investigación 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 de la misma edad y variedad, 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 La Ceja, El Retiro, Guarne, Envigado, San Vicente, Rionegro, La Unión, Santa Elena y Granada. Inicialmente se seleccionaron siete fincas en cinco de estos municipios cuyas características se resumen en el Tabla 1. Una vez identificadas las fincas, se evaluó la incidencia de *E. colombianus* en los cultivos de mora, utilizando la metodología propuesta por Osorio (2005).

Tabla 1. Información de las fincas seleccionadas para el estudio, edad de las plantas, variedad de mora e incidencia de la plaga.

Municipio	Vereda	Finca	Ubicación geográfica	Variedad	Plantas / lote (no.)	Edad (años)	Incidencia de <i>E. colombianus</i> *
Guarne	Guapante Abajo	La Frijolera	Latitud: 06° 17' 39.7" N Longitud: 75° 24' 17.4" O Altitud: 2453 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: 2143 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: 2304 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: 2382 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: 2364 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: 2133 msnm	San Antonio	200	4 años	8/10
					400	4 años	0/10

* 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 y suelo rizosférico de manera independiente. Estas últimas fueron tomadas del suelo adherido a las raíces de las plantas; para ello las muestras fueron agitadas fuertemente hasta remover el suelo, lo que permitió retirar las raíces. 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 500 μ antes de almacenarlas en bolsas de papel.

Las muestras de hojas fueron recolectadas en diferentes estratos de la planta, utilizando tijeras podadoras; para el transporte hasta el laboratorio, 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.

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. Las muestras fueron depositadas en un recipiente de vidrio uniforme, teniendo cuidado de cubrir el fondo y colocadas una a una directamente sobre la ventana del detector del espectroscopio (FT-NIR marca Buchi NIRFlex 500). 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.

Construcción de un modelo clasificatorio de incidencia del insecto

Para hallar un modelo clasificatorio de la presencia o ausencia de *E. colombianus* a partir de los datos espectrales de las hojas o del suelo rizosférico de cada finca, se utilizó el análisis cualitativo

del software quimiométrico NIRcal, incorporado en el espectroscopio. El primer paso para crear el modelo 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 el modelo, 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.

Resultados y discusión

Obtención de espectros NIR

En la Figura 1 se presentan los espectros NIR obtenidos de muestras de hojas y suelo rizosférico. Cuando se comparan visualmente los espectros provenientes de plantas con y sin infestación por *E. colombianus* se observa que, tanto en las hojas como en el suelo rizosférico, ambas categorías de incidencia presentaron el mismo patrón espectral general.

Modelo para clasificar incidencia

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 50% de los análisis. Para cada finca y tipo de muestra se seleccionaron los dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) ya que explicaron entre 65% y 100% el

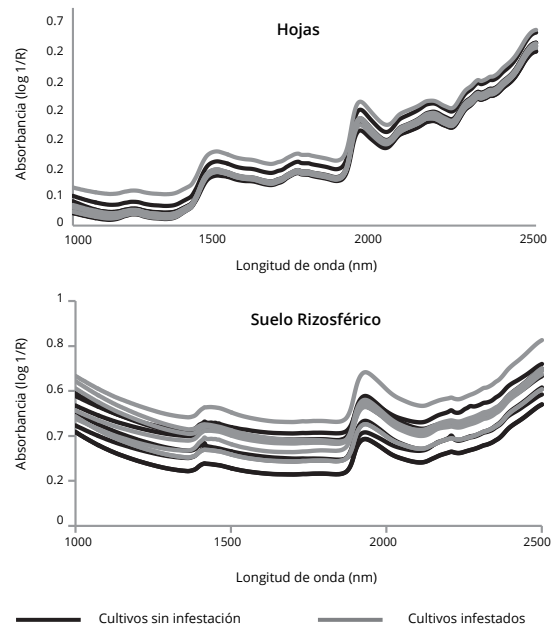


Figura 1. Características de espectros infrarrojos de muestras de hojas y suelo rizosférico provenientes de cultivos de mora con y sin infestación por *E. colombianus*, en el Oriente antioqueño (Colombia).

comportamiento de las variables originales. Las gráficas para cada finca de las puntuaciones de CP1 y CP2 para las muestras de hojas (Figuras 2) y de suelo rizosférico (Figura 3) mostraron en general una clara diferenciación entre aquellas provenientes de plantas con y sin presencia del insecto. Al analizar en conjunto los espectros en las siete fincas no fue posible obtener un modelo clasificatorio general de incidencia para *E. colombianus*.

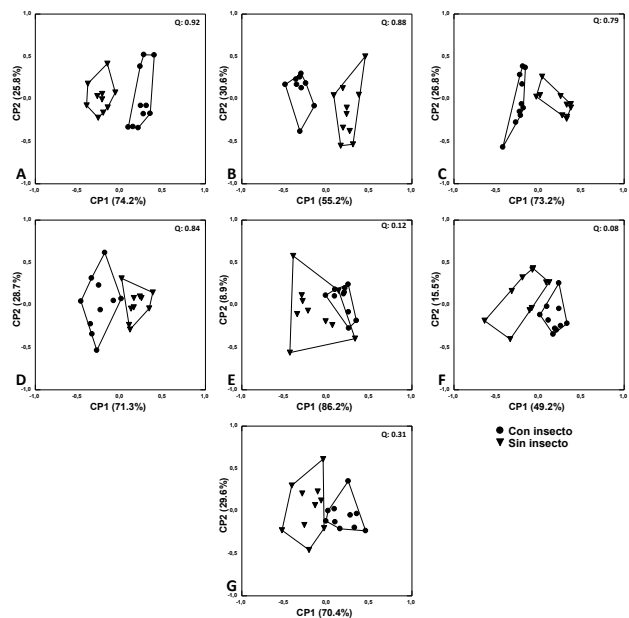


Figura 2. Clasificación de las muestras de hojas después del análisis Cluster-ACP. A. Finca La Selva (Rionegro); B. Finca La Selva (Rionegro); C. Finca La Frijolera (Guarne); D. Finca El Encanto (La Ceja); E. Finca La Torre (El Retiro); F. Finca El Reposo (Envigado); G. Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).

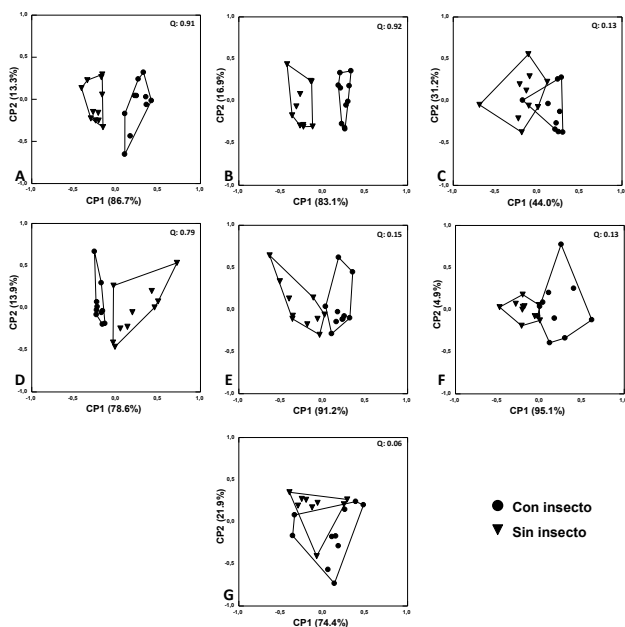


Figura 3. Clasificación de las muestras de suelo rizosférico después del análisis Cluster -ACP. A. Finca La Selva (Rionegro); B. Finca La Selva (Rionegro); C. Finca La Frijolera (Guarne); D. Finca El Encanto (La Ceja); E. Finca La Torre (El Retiro); F. Finca El Reposo (Envigado); G. Finca Campo Alegre (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 4) como en suelo rizosférico (Figura 5). Estas regiones posiblemente se encuentran más asociadas con la presencia del insecto.

En las Figuras 4 y 5 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.

En este estudio se evaluó el uso de la espectroscopia NIR como herramienta para detectar la presencia del insecto subterráneo *E. colombianus* (Hemiptera: Margarodidae) en cultivos de mora (*R. glaucus*) del Oriente antioqueño. Los resultados indican que el análisis espectroscópico NIR de muestras de hojas o suelo rizosférico de cada finca permite una clara diferenciación entre plantas provenientes de cultivos con y sin presencia del insecto. No obstante, al analizar los

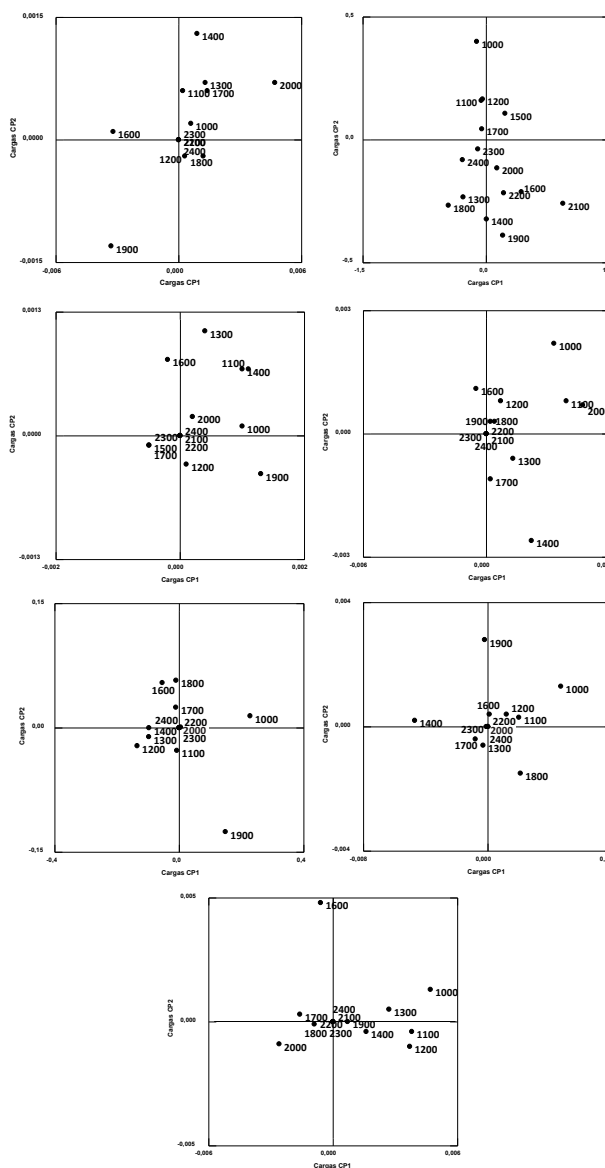


Figura 4. Regiones NIR que conforman los componentes principales CP1 y CP2, para cada finca en muestras de hojas. Regiones NIR más separadas en la horizontal o vertical contribuyen más a la diferenciación de muestras con o sin presencia de insectos. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Finca La Selva (Rionegro); Finca La Selva (Rionegro); Finca La Frijolera (Guarne); Finca El Encanto (La Ceja); Finca La Torre (El Retiro); Finca El Reposo (Envigado); Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).

espectros obtenidos en las siete 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 parámetros promisorios 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.

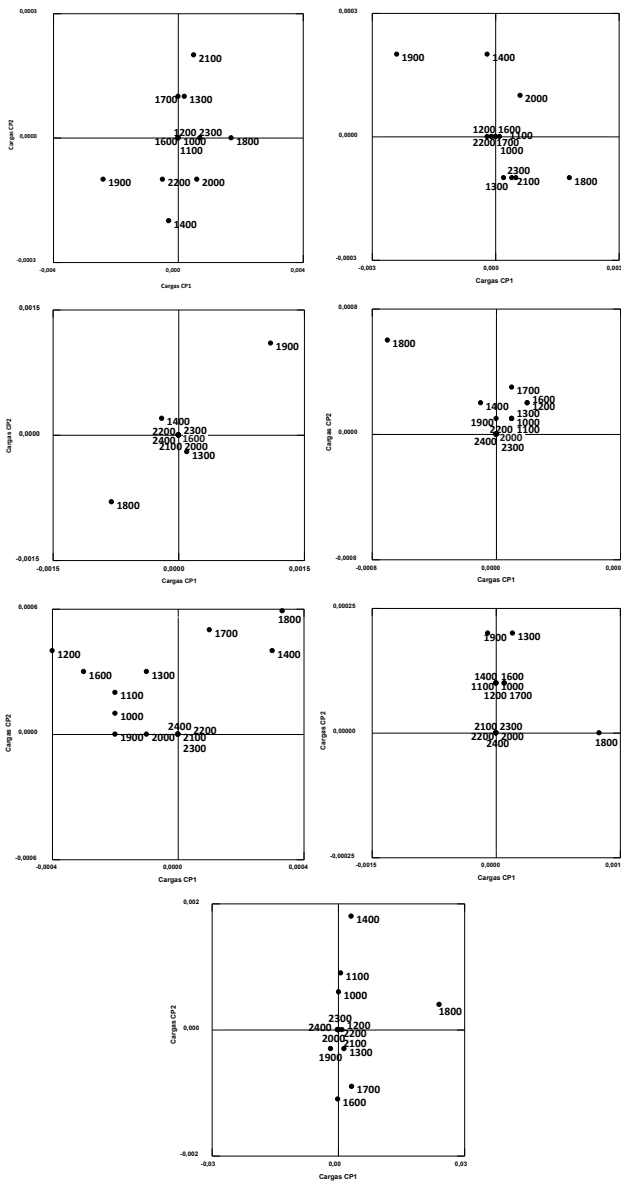


Figura 5. Regiones que conforman la CP1 y CP2, para cada finca en muestras de suelo rizosférico. Regiones NIR mas separadas en la horizontal o vertical contribuyen más a la diferenciación de muestras con o sin presencia de insectos. De izquierda a derecha y de arriba abajo: Finca La Selva (Rionegro); Finca La Selva (Rionegro); Finca La Frijolera (Guarne); Finca El Encanto (La Ceja); Finca La Torre (El Retiro); Finca El Reposo (Envigado); Finca Campo Alegre (El Retiro). Oriente antioqueño (Colombia).

La aplicación de espectroscopia NIR ha tenido gran aceptación debido a sus ventajas sobre otras técnicas analíticas convencionales (Blanco y Villarroya, 2002). En consonancia con estos autores, una ventaja claramente observable en este estudio es la capacidad para obtener, sin el uso de químicos, grandes cantidades de datos (espectros) a partir de muestras solidas (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 y Guyer, 2008; Liu *et al.*, 2010 y 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 PCA 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 siete 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 esta investigación, tales como tamaño de partícula y presencia de enlaces químicos C-H, N-H, O-H y S-H (Blanco y 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 una metodología de muestreo más rigurosa 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 trabaja mejor sobre sustancias puras, ya que todas las bandas pueden ser asignadas a una simple estructura molecular; sin embargo, Downey y Boussion (1996) probaron que la espectroscopia NIR puede ser usada como herramienta discriminativa de materiales orgánicos complejos, al

lograr diferenciar con un 95% de éxito mezclas de café, tomando como base su concentración de cafeína. Aunque en esta investigación no se detectaron compuestos particulares que se relacionen directamente con la interacción insecto - planta, sí se construyó una metodología 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 4 y 5), 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 las siete fincas (Figura 5), 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.

Conclusión

La espectroscopia infrarroja usada como técnica analítica comparativa permitió clasificar plantas o suelo de cultivos de mora por la presencia o ausencia del insecto subterráneo *E. colombianus*. 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.

Agradecimientos

A la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín -DIME, a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -Corpoica sede La Selva, al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de

Colombia sede Medellín, al grupo de investigación Sistemas Simbióticos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, a los revisores de este artículo y muy especialmente a los productores de mora del Oriente Antioqueño, por permitir la realización de este trabajo en sus fincas.

Referencias bibliográficas

- Acuña, M. A. y 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.
- Blanco, M.; Coello, J.; Iturriaga, H.; Maspocho, S.; y De La Pezuela, C. 1998. Nearinfrared spectroscopy in the pharmaceutical industry. *Analyst*. 123:135 - 150.
- Blanco, M. y Villarroya, I. N. 2002. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *Trac-Trend Anal. Chem.* 21(4):240 - 250.
- Cambule, A. H.; Rossiter, D. G.; Stoorvogel, J. J.; y 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.; y Massart, D. L. 1999. The influence of data pre-processing in the pattern recognition of excipients near-infrared spectra. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 21(1):115 - 132.
- Carvajal, L. 2002. Estudio del efecto patológico de algunos microorganismos sobre *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Homoptera: Margarodidae). Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 57 p.
- Castaño, O. 2000. Plagas del cultivo de la mora y su manejo integrado. Frutales de clima frío moderado: memorias. 3. Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. Manizales.
- Dowell, F. E.; Throne, I. E.; Wang, D.; y Baker, I. E. 1999. Identifying stored-grain insects using near-infrared spectroscopy. *J. Econ. Entomol.* 92:165 - 169.
- Downey, G. y Bousson, J. 1996. Authentication of Coffee bean variety by near-infrared reflectance spectroscopy of dried extract. *J. Sci. Food Agric.* 71(1):41 - 49.
- Edwards, P. B.; Wanjura, W. J.; y Brown, W. V. 1993. Selective herbivory by Christmas beetles in response to intraspecific variation in Eucalyptus terpenoids. *Oecologia* 95(4):551 - 557.
- Foley, W.J.; Mcilwee, A.; Lawler, I.; Aragonés, L.; Woolnough, A.P.; y 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. *Oecologia*. 116:293 - 305.
- Jakubski, A. W. 1965. A Critical revision of the families Margarodidae and Termitococcidae (Hemiptera, Coccoidea). Londres. [s.n.]. p. 171 - 181.
- Jaramillo, D. F. 2009. Variabilidad espacial de las propiedades ándicas de un Andisol hidromórfico del Oriente Antioqueño (Colombia). *Medellín. Rev. Fac. Nac. Agron.* 62(1):4907 - 4921.
- Johnson, S. N.; Crawford, J. W.; Gregory, P. J.; y Grinev, D. V. *et al.* 2007. Non-invasive techniques for investigating and modelling root feeding insects in managed and natural systems. *Agric. Forest. Entomol.* 9:39 - 46.
- Karunakaran, C.; Jayas, D. S.; y White, N. D. 2003. X-ray image analysis to detect infestations caused by insects in grain. *Cereal Chem.* 80(5):553 - 557.
- Kotwaliwale, N.; Singh, K.; Kalne, A.; Jha, S. N.; Seth, N.; y Kar, A. 2011. X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *J. Food Sci. Tech.* doi 10.1007/s 13197-011-0485-y.
- Lavine, B. K. 1998. Chemometrics. *Anal. Chem.* 70(12):209 - 228.
- Liu, G. X.; Wang, X. P.; y 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.
- Liu, Z. Y.; Shi, J. J.; Zhang, L. W.; y Huang, J. F. 2010. Discrimination of rice panicles by hyperspectral reflectance data based on principal component analysis and support vector classification. *J Zhejiang Univ Sci B.* 11(1):71 - 78.
- Maghirang, E. B. y Dowell, F. E. 2003. Hardness measurement of bulk wheat by single-kernel visible and near-infrared reflectance spectroscopy. *Cereal Chem.* 80:316 - 322.
- Mankin, R. W.; Brandhorst-Hubbard, J.; Flanders, K. L.; Zhang, M. *et al.* 2000. Eavesdropping on insects hidden in soil and interior structures of plants. *J. Econ. Entomol.* 93(4):1173 - 1182.
- O'neal, M. E.; Landis, D. A.; Rothwell, E.; Kempel, L.; y Reinhard, D. 2004. Tracking insects with harmonic radar: a case study. *Am. Entomol.* 50:212 - 218.
- Osorio, J. C. 2005. Distribución radical de perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* y relación con factores ambientales en mora. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 37 p.
- Paliwal, J.; Wang, W.; Symons, S. J.; y Karunakaran, C. 2004. Insect species and infestation level determination in stored wheat using near-infrared spectroscopy. *Can. Biosyst. Eng.* 46:717 - 724.
- Posada, O.; De Polonia, I. Z.; y Cure, J.R. 1978. Plagas de mora. Disponible en: www.wikinsecta.cenicafe.org [Fecha de revisión: 05 julio 2013].
- Reynolds, D. R.; y Riley, J. R. 2002. Remote-sensing, telemetric and computer-based technologies for investigating insect movement: a survey of existing and potential techniques. *Comput Electron Agr.* 35(2 - 3):271 - 307.
- Ríos, G.; Vásquez, L. A.; Arévalo, H. A.; Londoño, M. E.; y 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 de investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 29 p.
- Roberts, C. A.; Workman, J. J.; y Reeves, J. B. 2004. *Near-Infrared Spectroscopy in agriculture*. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin. 822 p.
- Rodríguez Del Bosque, L. A.; Najera-Rincon, M. B.; y Ruiz-Vega, J. 2010. Métodos de estudio. En:

- Rodríguez del Bosque, L. A.; y Morón, M. A. (eds.). *Plagas del suelo*. Primera edición. Grupo Mundi Prensa México, S.A. de C.V. Cuauhtémoc. México. p. 19 -39.
- Rutherford, R. S. y 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. *J. Chem. Ecol.* 22(4):681 - 694.
- Singh, C. B.; Jayas, D. S.; Paliwal, J.; y White, N. D. 2010. Identification of insect-damaged wheat kernels using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging. *Comput Electron Agr.* 73(2):118 - 125.
- Smith, B. 1999. *Infrared spectral interpretation*. A systematic approach. CRC Press LLC. Nueva York. 259 p.
- Susurluk, H.; Caliskan, Z.; Gürkan, O.; Kirmizigül, S.; y Gören, N. 2007. Antifeedant activity of some *Tanacetum* species and bioassay guided isolation of the secondary metabolites of *Tanacetum cadmeum* sp. cadmeum (Compositae). *Ind Crop Prod.* 26(2):220 - 228.
- Wold, S. 1991. Chemometrics, why, what and where to next? *J. Pharm. Biomed. Anal.* 9(8):589 - 596.
- Xing, J. y Guyer, D. 2008. Detecting internal insect infestation in tart cherry using transmittance spectroscopy. *Postharvest Biol. Tec.* 49(3):411 - 416.