

# Análisis de componentes del sistema productivo de aguacate, con incidencia probable de *Phytophthora* en Cesar, Colombia

Assessment of avocado crop system factors, with probable incidence of *Phytophthora* in Cesar, Colombia

Tofiño, A.;<sup>1,2\*</sup> Cabal, D.<sup>1</sup> y Gil, L. F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) Estación Experimental Motilonia Km 5 vía a Bucaramanga Codazzi, Cesar (Colombia).

<sup>2</sup>Universidad de Santander (UDES), Carrera 6#14-27 Valledupar, Cesar (Colombia).

<sup>3</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) Estación Experimental Caribia Municipio de Sevilla, Magdalena (Colombia).

\*correspondencia: atofino@corpoica.org.co

## Resumen

Debido a la disminución del 35% en rendimiento y mortalidad creciente del aguacatero, se realizó un estudio en los municipios Curumaní y La Paz Robles del Departamento del Cesar (Colombia), con el objetivo de identificar los principales factores agroecológicos y de manejo que afectaron la sanidad y productividad, al igual que las zonas con mayores ventajas comparativas para siembra. Para ello, se evaluaron: tejidos radicales, variables del sistema productivo, descriptores físicos, químicos y microbiológicos de suelo, analizados por componentes principales. Se confirmó infección en raíces por *Phytophthora spp* y *Fusarium sp*, con incidencia variable entre municipios. La prueba de Fisher (5%), no mostró relación significativa ( $P > 0.05$ ) entre presencia de patógenos y síntomas en árboles. En Curumaní, las variables de mayor contribución, al 32.70% de la varianza explicada por el primer componente principal, fueron: UFC de bacterias, temperatura, porcentaje de arena y pH; mientras que en La Paz Robles (44.30%), fueron: porcentaje de limo, materia orgánica y número de géneros fúngicos. El análisis de conglomerados indicó

## Abstract

Due to the 35% decrease in performance and increased mortality of avocado, a study was conducted in the municipalities of Curumaní and La Paz Robles in the Department of Cesar, in order to identify the major agroecological and management factors that affect health and productivity, as well as those areas of greatest comparative advantages for planting. Root tissues, the production system variables, physical, chemical and microbiological descriptors of soil, were evaluated using principal components analysis. Infection in roots by *Phytophthora* and *Fusarium sp* were confirmed, with variable incidence between municipalities. Fisher's test (5%) showed no significant relationship ( $P > 0.05$ ) between pathogens and symptoms in trees. In Curumaní, variables with higher contribution to 32.70% of the variance explained by the first principal component were UFC of bacteria, temperature, pH and sand; while in La Paz Robles (44.30%) the variables were percentage of silt, organic matter and number of fungal genera. The conglomerate analysis indicated greater heterogeneity in the production system of farms

mayor heterogeneidad en el sistema productivo de fincas de Curumaní, con respecto a La Paz Robles. En ambos municipios, el porcentaje de materia orgánica mostró relación positiva con el número de géneros de hongos identificados y el porcentaje de arcilla afectó el rendimiento de frutos. Se encontró mayor frecuencia de patógenos con respecto a benéficos, y la incidencia de pudrición radical, estuvo influenciada por suelos ácidos, bajos niveles de nutrientes, materia orgánica y prácticas agrícolas inadecuadas. Las veredas promisorias para inversión fueron Paraíso porvenir, Los naranjos, y Las nubes.

### Palabras clave

*Persea americana*, análisis multivariado, rendimiento, agroecología, microorganismos, sanidad vegetal.

in Curumaní with respect to La Paz Robles. In both municipalities, the percentage of organic matter showed positive relationship with the number of genera of fungi identified while the percentage of clay affected the fruit yield and more pathogenic than beneficial factors were found. The incidence of root rot was influenced by acid soils, low nutrient levels, organic matter and inappropriate agricultural practices. The promising trails for investment were Paraíso porvenir, Los naranjos, and Las nubes.

### Key words

*Persea americana*, multivariate analysis, yield, agro-ecology, microorganisms, plants health.

## Introducción

Colombia ocupa el sexto lugar en la producción de aguacate a nivel mundial, con una participación de 4.3%, equivalente a 165,175 t/año. De éstas, el departamento del Cesar produjo 13,729 t en 1,728 ha cultivadas (FAOSTAT, 2009). A pesar de que Colombia ocupa el segundo lugar en productividad, con 10.80 t/ha, sólo superada por Israel con 11.20 t/ha —cuando el promedio mundial es 7.80 t/ha— en los últimos nueve años la producción promedio en el Cesar ha disminuido en 23%, debido a factores limitantes tanto de tipo biótico como abiótico del sistema productivo; entre los factores bióticos destaca *Phytophthora cinnamomi*, agente causal de la tristeza del aguacatero, el cual a nivel nacional ocasiona pérdidas que oscilan entre el 30 y 50% de plantas en vivero y en establecimiento temprano, respectivamente (Gobernación del Cesar, 2009; Tamayo, 2007).

La pudrición de las raíces se ha registrado en el Cesar (Mejía *et al.*, 2010). Sin embargo, a pesar que se reporta disminución de 35% en la producción de fruta en las localidades evaluadas, aún no se han determinado los patógenos asociados, ni se han identificado las variables de calidad del suelo y de manejo agronómico con mayor peso sobre la disminución de rendimiento del aguacatero (Gobernación del Cesar, 2009). Por lo que la realización de este tipo de estudios facilitaría la implementación de estrategias para el mejoramiento de la competitividad del sistema productivo, especialmente en el componente fitosanitario.

A la fecha, se han desarrollado recomendaciones de manejo para el aguacatero en monocultivo (Corrales *et al.*, 2007), pero las condiciones de suelo y microclima (Llany *et al.*, 2010), pueden variar con respecto al policultivo con baja tecnificación, predomi-

nante en el Cesar (Lacombe *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009). Asimismo, se desconoce la tolerancia a *Phytophthora* y a otros patógenos asociados con la pudrición radical de los árboles criollos establecidos en la región (Rodríguez *et al.*, 2009).

Un manejo exitoso de los fitopatógenos del suelo requiere de la implementación de un programa integral que incluya prácticas culturales, uso de patrones tolerantes, control biológico y químico compatibles (Barrett *et al.*, 2003; Echemendia, 2002; Dobrowolski *et al.*, 2008; Pérez, 2008), para incrementar la productividad del aguacate (Vidales, 2002) y de otros cultivos (Dong *et al.*, 2010). Sin embargo, para la formulación de un programa integral en una zona agroecológica específica, es prioritaria la identificación de los indicadores fisicoquímicos y microbiológicos que favorecen la prevalencia de patógenos, pues a pesar que existen múltiples reportes sobre la interacción entre las variables de fertilidad del suelo y el rendimiento (Álvarez, 2004; Álvarez *et al.*, 2006; Muñoz *et al.*, 2006), es necesaria una comprensión profunda de la misma (Núñez *et al.*, 2011).

Por ello, el presente estudio tiene como objetivos identificar los principales factores agroecológicos y de manejo que afectan la sanidad y productividad del aguacate criollo en policultivo, así como el definir las zonas con mayores ventajas comparativas para la producción del frutal. Los resultados descritos contribuirán a la formulación de un programa de manejo integral eficiente y específico para la región bajo estudio, y la priorización de la financiación estatal de programas de capacitación en manejo técnico, que incrementen la competitividad del aguacate. Los resultados y las recomendaciones planteadas serán aplicables a los aguacateros en el área de influencia del estudio, o aquellos con características agroecológicas y productivas similares, a través de programas de escuela de campo de productores.

## Materiales y métodos

### 1) Área de estudio

El departamento del Cesar, se ubica al norte de la República de Colombia, entre las coordenadas de 10° 52' 17" latitud Norte en el río Surivaca, latitud Sur 7° 40' 38", en la Cordillera de las quebradas Pata de Vaca y Caño de Hoyo. Se extiende entre los 72°53' 08" y 74° 07' 47" de Longitud Occidente, en el Meridiano de Greenwich, con una superficie de 22,905 Km<sup>2</sup>.

Las muestras de suelo y tejido de aguacate en policultivo se tomaron de los municipios Curumaní (veredas Paraíso porvenir, Los naranjos, Caño largo, Los laureles y Las nubes), ubicado en la subregión central del departamento del Cesar; temperatura promedio de 28°C y producción de aguacate de 170 toneladas en 2009; y La Paz Robles (veredas Los deseos y Hondo de ricito) en la subregión norte, con 27°C de temperatura y un aporte de 300 toneladas de aguacate, en 2010. Las veredas, corresponden a la menor división territorial de la zona rural, adscrita a un municipio o localidad.

## 2) Toma de muestras

a) Muestras de tejido: se analizaron 10 muestras por finca de raíces terciarias, cortadas con pinzas desinfectadas con hipoclorito (0.50%). Se seleccionaron, aleatoriamente, cinco muestras procedentes del conjunto de árboles enfermos por finca, de acuerdo con la inspección visual en las visitas de campo. Se catalogaron como enfermos los árboles que registraron la sintomatología característica de las pudriciones de raíz, que incluyen: decaimiento progresivo, crecimiento disminuido, clorosis foliar y/o marchitez general, defoliación severa y muerte de brotes de arriba hacia abajo. Las raíces terciarias de los árboles enfermos presentaron, además, un color rojizo característico. También se seleccionaron, aleatoriamente, cinco muestras por finca del conjunto de árboles identificados como “escapes”, por presentar ausencia de sintomatología; es decir, árboles vigorosos y con buena productividad, aun en áreas devastadas por el ataque de patógenos.

b) Muestras de suelo rizosférico: debido a la variabilidad en el sistema productivo en la región, se identificaron porcentajes diversos de áreas con árboles de aguacate con respecto al área total de las fincas, cuyo rango por predio osciló entre 5-60 ha. Por lo tanto, se colectaron 500g por hectárea a partir de cinco puntos de muestreo en los lotes de la finca con árboles de aguacate, a una distancia del tallo que coincidiera con la proyección de la copa del árbol, con una profundidad de 15 cm (para el análisis microbiológico) y 30 cm (para el análisis fisicoquímico). En cada lote, se muestreó en forma de X. La muestra compuesta obtenida en cada finca se uniformizó apropiadamente y, al final, sólo se tomaron 1,000g (Prada *et al.*, 2009).

Todas las muestras se empacaron en bolsas herméticas y se transportaron, con refrigeración de 4°C, hasta el laboratorio de la Estación Experimental Caribia de CORPOICA, en Sevilla Magdalena. A cada muestra se le asignó un código de identificación de tres dígitos; el primero indicaba el municipio, número 1 Curumaní y 2 La Paz Robles; el siguiente la comunidad y el último, la finca visitada (cuadro 3). En el caso de muestras de raíces, se asignó un cuarto dígito relativo a los síntomas, 1 para árboles denominados escapes y 2 para árboles enfermos. Adicionalmente, se registró un conjunto de observaciones de campo: coordenadas geográficas (latitud, longitud y altura) mediante el sistema de posicionamiento global por satélite (GPS marca GARMIN OREGON 450, rango de medida 3m), temperatura del suelo, manejo agronómico del policultivo (fertilizantes, insecticidas y herbicidas) y productividad de frutos por árbol/año.

Se utilizó el indicador rendimiento anual, expresado en frutos/árbol debido a las características especiales de densidad de siembra y comercialización, en el departamento del Cesar. En éste, no existen plantaciones comerciales en monocultivo y con densidades de siembra preestablecidas. En las 37 fincas evaluadas, se presentó un número máximo de árboles/ha de 127 y un promedio de 40, cuando la densidad de siembra nacional de árboles por hectárea es de 156. La comercialización del aguacate se realiza principalmente a través de intermediarios, quienes compran el producto de forma directa en las fincas, por unidad no por kg. Adicionalmente, la gran mayoría de las fincas —durante el muestreo— no estaban en época de cosecha; lo cual, aunado con la variabilidad de los

tamaños del fruto en el mercado local (0.750-2.50 kg), impidió el cálculo aterrizado y real del promedio de kg/ árbol/año por finca.

### 3) *Procesamiento de las muestras*

a) *Detección de fitopatógenos en raíz.* Las raíces de árboles escapes y con sintomatología se incubaron en agar PDA, a temperatura de 28°C durante cinco días, previo tratamiento de desinfección superficial, de acuerdo a la metodología descrita por Hurtado (2010). Las muestras de raíces se cortaron en trozos, se lavaron con agua destilada estéril durante 20 minutos, se desinfectaron con alcohol (30%) por dos minutos e hipoclorito de sodio (0.50%) durante un minuto, y por último, se secaron en cámara de flujo laminar. Transcurrido el periodo de incubación, se observó el crecimiento macroscópico y estructuras microscópicas de los aislamientos del tejido para su identificación hasta género. Se realizaron tinciones con azul de lactofenol y los preparados se observaron con microscopio óptico (objetivo de 40 y 100X) y claves taxonómicas de Barnett y Barry (1998). Los aislados positivos del género *Phytophthora* se sembraron en cultivos monozoospóricos con las mismas condiciones de incubación, hasta observación de micelio en forma de roseta y estructuras reproductivas características de la especie *P. cinnamomi* (Echemendía, 2002).

b) *Recuento de biomasa microbiana, identificación de géneros fúngicos y cálculo de las frecuencias absolutas y relativas.* De cada muestra se realizó el recuento de bacterias, hongos y actinomicetos en unidades formadoras de colonia, por gramo de suelo (UFC/g de suelo), usando la técnica de diluciones seriadas y vaciado en placa de Petri. Los géneros se identificaron mediante observación macro y microscópica, así como con claves taxonómicas sugeridas por Hollyday (1980). Adicionalmente, se registró la frecuencia de observación absoluta y relativa de cada género sobre el número de muestras colectadas por municipio. La frecuencia absoluta corresponde al número de observaciones del género sobre el total de las muestras, y la frecuencia relativa expresa el porcentaje que corresponde a la identificación de un género con respecto al 100% de muestras colectadas.

c) *Análisis fisicoquímico de suelos.* Las muestras se enviaron al laboratorio de suelos de CORPOICA Tibaitatá. Se definió la concentración de cationes de cambio (acetato de amonio 1M, pH 7.0); fósforo disponible (Bray II); azufre disponible (fosfato monocálcico); pH (método del potenciómetro relación suelo-agua 1:2,5); acidez intercambiable (Al + H, KCl 1N) y contenido de materia orgánica (Walkley-Black modificado), de acuerdo con los métodos descritos en el manual de suelos del ICA (1989). También, se estimó la textura (método del hidrómetro); densidad aparente (método del anillo de volumen conocido); porosidad (a través de las densidades real y aparente).

### 4) *Diseño estadístico*

Para determinar la relación entre síntomas observados y presencia de fitopatógenos en muestras de raíces de aguacate, se aplicó una prueba Fisher (5%); para el estudio de prevalencia de géneros fúngicos por municipio, se utilizó análisis de estadística descriptiva.

Los análisis de componentes principales categóricos se usaron para evaluar las variables fisicoquímicas, microbiológicas del suelo y prácticas de manejo agronómico, que

explicaran la productividad de los predios bajo estudio. La selección de veredas con ventajas comparativas para la inversión estatal —en nuevas áreas de aguacate— se realizó identificando la coherencia entre los indicadores de productividad (número de frutos por árbol) y las variables de mayor influencia sobre la varianza del sistema productivo de las fincas evaluadas, arrojado por el análisis de componentes principales.

Posteriormente, se utilizaron las nuevas variables, para la conformación de grupos de fincas, mediante Análisis de Conglomerados-No Jerárquico. La agrupación de las fincas por conglomerados, en ambos municipios, estuvo dada por las características o indicadores principales con resultados comunes; no implica condiciones de superioridad de algún grupo con relación a otro en orden descendente o ascendente, respecto al potencial productivo del cultivo de aguacate en la zona. Se utilizó este análisis para medir la heterogeneidad del sistema productivo del aguacate en cada vereda. Para facilitar la visualización de las fincas, en el gráfico de dispersión, se numeraron para cada localidad las fincas con dígitos simples; aunque se conservó en este documento la codificación original del proyecto. En Curumaní: 1-5 para la vereda Paraíso Porvenir; 6 Los Naranjos; 7-9 Caño Largo; 10-15 Los Laureles y 16-23 Las Nubes. En La Paz Robles: 1-8 para la vereda Los Deseos y 9-14 para la vereda Hondo Ricito Abajo (cuadro 3).

## Resultados

### *Detección de fitopatógenos en raíz*

Se identificaron dos géneros de hongos fitopatógenos. Se observó mayor prevalencia de *Phytophthora* en plantas sintomáticas en Curumaní (89%) y de *Fusarium* en todas las muestras de La Paz Robles (100%). Sin embargo, la prueba de Fisher (5%) no mostró relación significativa ( $P > 0.05$ ) entre la presencia de los patógenos en las raíces y los síntomas de los árboles analizados en cada municipio (cuadro 1).

**Cuadro 1**  
**Relación de los síntomas observados y la presencia**  
**de fitopatógenos en raíces de aguacate.**

Municipio	Presencia (%) <i>Phytophthora</i>		Presencia (%) <i>Fusarium sp</i>	
	Sintomático	Asintomático	Sintomático	Asintomático
Curumaní	0.89	0.67	0.11	0.38
La Paz Robles	0.20	0.00	0.80	1.00
Probabilidad	0.43		0.33	

*Identificación de géneros fúngicos*

Se identificaron 10 géneros en los suelos aguacateros de los municipios bajo estudio. Los géneros con mayor frecuencia relativa fueron: *Phytophthora* (100%), en Curumaní; *Fusarium* (90%) en La Paz Robles, y *Aspergillus* (100%) presente en ambos municipios. Con menor frecuencia se identificó: *Monilia* (13%); *Gibberella* en La Paz Robles (7%) y *Rhizopus* (4.20%), en Curumaní. Los microorganismos benéficos *Pae-cilomyces* (21-60%) y *Trichoderma* (90-86%), presentaron una frecuencia baja con relación a los patógenos, con mayor diferencia observable en el municipio de La Paz Robles (cuadro 2).

## Cuadro 2

Frecuencia relativa de géneros de hongos de rizósfera en aguacatero, identificados en dos municipios del Cesar, Colombia.

Géneros de hongos	Frecuencia Absoluta		Frecuencia Relativa	
	Curumaní	La Paz Robles	% Curumaní	% La Paz Robles
<i>Phytophthora</i>	23	11	100	80
<i>Aspergillus</i>	23	14	100	100
<i>Trichoderma</i>	21	12	90	86
<i>Fusarium</i>	16	13	70	90
<i>Penicillium</i>	15	7	65	50
<i>Paecilomyces</i>	14	3	60	21
<i>Mucor</i>	5	1	22	7
<i>Rhizopus</i>	1	0	4,2	0
<i>Monilia</i>	3	0	13	0
<i>Gibberella</i>	0	1	0	7
<i>Total</i>	23	14	100	100

### Caracterización del sistema productivo, análisis fisicoquímico y recuento microbiano

Se tomaron muestras de suelo rizosférico y tejido radical de aguacate en fincas ubicadas entre los 62 y 1,163 msnm, con temperatura mínima de 13 y máxima de 30.5°C. El cultivo de aguacate en la zona de estudio, se encuentra asociado principalmente a cultivos semestrales o anuales, pues sólo 41 en La Paz Robles y 38% en Curumaní, están acompañados de cultivos perennes. Los cultivos acompañantes del aguacate en el municipio de Curumaní, en orden descendente de frecuencia, corresponden a plátano (*Musa paradisiaca*), café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), yuca (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), pasturas (*Panicum maximum*), papaya (*Carica papaya*), melón (*Curcumis melo sp*) y ñame (*Dioscorea spp*) con 30, 20, 15, 10, 8, 5, 4, 3, 3 y 2%, respectivamente; sólo el 1% de las fincas muestreadas presentó aguacate en monocultivo.

En el municipio de La Paz, los cultivos acompañantes del aguacate en las fincas muestreadas fueron —en orden descendente— café, cacao y yuca, con igual porcentaje; al igual que el plátano y maíz; frijol, malanga (*Xanthosoma violaceum*) y cilantro (Co-



*riandrum sativum* L.); maracuyá (*Passiflora edulis*); guanábana (*Annona muricata* L.), y tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), con 20, 10, 5, 3 y 1%, respectivamente. A diferencia del municipio de La Paz Robles, en Curumaní no se observaron monocultivos de aguacate, pero en el 1% de las fincas muestreadas se presentó mortalidad del 100% en árboles de aguacate, debido a pudriciones de raíz.

Los parámetros físico-químicos evaluados indicaron suelos con textura generalmente franco-arenosa a arcillosa, pH de 5.0 a 7.5 y porcentaje de materia orgánica entre 1 y 4.1% (cuadro 3). En ambos municipios, el rendimiento osciló entre 0 y 300 frutos/árbol, con un promedio de 88.8 en Curumaní y 109.3 en La Paz Robles. Los niveles de bacterias oscilaron entre  $3 \times 10^4$  -  $5.5 \times 10^6$ ; hongos de  $10^2$  a  $9.0 \times 10^4$  y actinomicetos de  $8 \times 10^2$  -  $8.5 \times 10^5$  UFC/g. La identificación de géneros fúngicos fue de dos a ocho por finca, con cuatro géneros en promedio.

**Cuadro 3**  
Indicadores físico-químicos y microbiológicos de suelos aguacateros de los dos municipios evaluados en el Cesar.

	Localidad					
	Curumaní			La Paz Robles		
	Rango	Promedio	DS	Rango	Promedio	DS
Altura	62-1145	371.50	317.20	605-1163	900.90	197.40
Temperatura	13.00-30.50	21.80	6.00	12.50-22.00	17.10	3.10
pH	5.00-6.40	5.70	0.40	5.80-7.50	6.70	0.60
M.O.	1.00-4.10	2.10	0.80	1.20-4.10	2.70	0.90
Arena (%)	31.60-71.60	48.60	12.00	25.60-69.20	46.10	15.70
Arcilla (%)	2.80-34.40	23.20	8.80	10.80-32.80	19.70	6.60
Limo (%)	12.00-40.00	28.20	6.60	16.00-44.00	34.80	12.20
Frutos/árbol (No.)	0.00-300.00	88.80	97.10	0.00-200.00	109.30	70.40
Bacterias (UFCx10 <sup>3</sup> )	3.00-100.00	30.60	28.70	13.00-550.00	81.10	137.30
Hongos (UFCx10 <sup>3</sup> )	0.10-90.00	16.30	24.90	1.60-80.00	10.90	21.00
Actinomicetos (UFCx10 <sup>3</sup> )	0.80-140.00	21.70	31.10	5.30-850.00	89.50	221.90
Diversidad+	2.00-8.00	4.00	1.60	3.00-6.00	4.00	1.00

\*Rendimiento anual expresado en frutos/árbol. En el Cesar, la comercialización del aguacate se realiza a través de intermediarios, quienes compran el producto directamente en las fincas y por unidad. Adicionalmente, la gran mayoría de las fincas no estaban en época de cosecha, por lo cual no fue posible el cálculo del peso promedio en kg por vereda o finca.  
+Número de géneros fúngicos identificados por finca.

En el municipio de La Paz Robles se observó mayor número de aplicaciones de fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos que en Curumaní. Los herbicidas son los agroquímicos con mayor frecuencia de aplicación en ambos municipios. Los más utilizados corresponden a Glifosato y 2,4 D. Con respecto a la fertilización, 64.30% de los productores la practican en La Paz Robles, mientras que en Curumaní es sólo el 26.10%.

Cuadro 4

Agroquímicos sintéticos más utilizados en el manejo de aguacate en policultivo de municipios Curumaní y La Paz Robles.

	Fertilización		Herbicidas		Insecticidas	
	%	Productos utilizados	%	Productos utilizados	%	Productos utilizados
Curumaní	26.10	Enmienda de suelo con Ca y Mg, NPK, Urea	47.80	Glifosato, 2,4 D Picloram, Aminopyralid	4.30	Clorpirifos
La Paz Robles	64.30	Urea, NPK, Sulfato de amonio	85.70	Glifosato, 2,4 D,	71.40	Cipermetrina, Clorpirifos Methamidophos

### Análisis de componentes principales categóricos

Las tres primeras dimensiones del diagrama de dispersión espacial arrojado por el análisis de componentes principales, explicaron el 70.30% de la varianza de los indicadores evaluados en el municipio de Curumaní. Las variables de mayor contribución al 32.70% de la varianza, expresada por el primer componente principal, fueron: el porcentaje de arcilla, con un valor negativo; y el resto de las variables con valores positivos UFC de bacterias, temperatura, porcentaje de arena y pH. En el componente dos, que explica el 24% de la varianza, las variables de mayor contribución son UFC de hongos y porcentaje de arena. En el tercer componente (13.70%) influye el número de géneros fúngicos (cuadro 5).

El diagrama de dispersión espacial de Curumaní refleja heterogeneidad en las características agroecológicas y productivas evaluadas, al igual que en los indicadores con mayor contribución a la variación en rendimiento entre veredas. Este es el caso de los predios 23 y 18 de la vereda Las nubes, ubicados en los cuadrantes III y I, respectivamente; 1 y 5, pertenecientes a la vereda 1, Paraíso en los cuadrantes I y II, respectivamente. En sentido inverso a lo observado en las demás veredas —en las cuales los predios adscritos

presentaron mayor similitud entre sí— en las características agroecológicas y del sistema productivo; por lo tanto, se concentraron más cercanamente en el diagrama (como es el caso de la vereda Los laureles), con todos sus predios concentrados en el cuadrante III.

La vereda 1, presentó mayor relación positiva entre rendimiento en frutos/árbol, porcentaje de arcilla, porcentaje limo, y UFC de hongos; la vereda 2 (Los naranjos), se agrupó en el centro del diagrama, debido a los valores positivos obtenidos en todos los indicadores evaluados, además de la asociación altamente significativa entre rendimiento y el indicador UFC de hongos. De igual forma, aunque en menor proporción la vereda 3 (Caño largo), presentó alta correlación entre los dos factores descritos; a diferencia de la vereda 4 (Los laureles), que presenta correlación significativa entre rendimiento, porcentaje de arcilla, limo y materia orgánica; de modo contrario, la vereda 5 (Las nubes), presentó relación estrecha entre rendimiento, pH, UFC de bacterias, actinomicetos y número de géneros identificados por finca. En general, de acuerdo con el análisis, los indicadores más relacionados entres sí para la localidad, fueron UFC de bacterias y actinomicetos, los que presentaron mayor relación negativa fueron altura sobre el nivel del mar y UFC de hongos (figura 1).

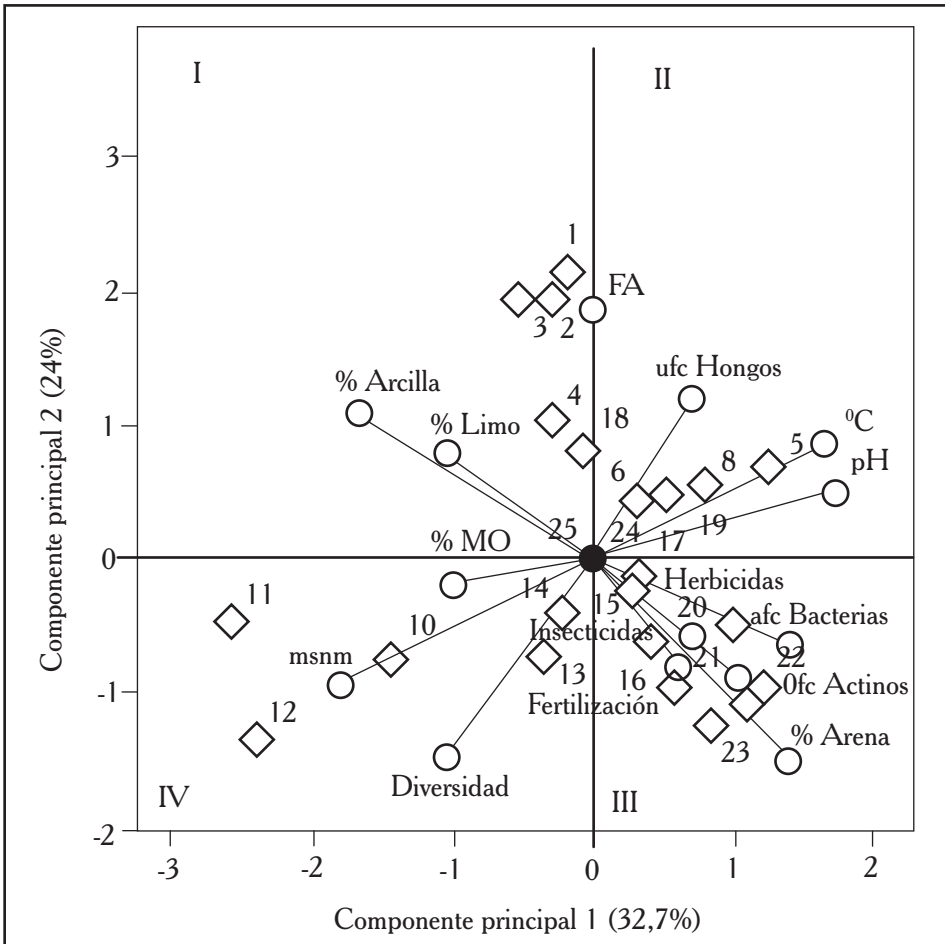
### Cuadro 5

VARIABLES CON MAYOR ASOCIACIÓN QUE CONFORMAN LOS COMPONENTES PRINCIPALES Y EXPLICAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PREDIOS BAJO ESTUDIO EN CURUMANÍ.

Componente	Variable	Valor de la contribución	% Variación
I	% de arcilla	-0.822	32.70
	UFC de bacterias	0.755	
	Temperatura	0.737	
	% de arena	0.734	
	pH	0.678	
II	UFC de hongos	0.768	22.70
	% de arena	0.451	
III	No. de géneros fúngicos	0.835	14.90

Figura 1

Diagrama bi espacial de dispersiones de variables fisicoquímicas, biológicas y de rendimiento de cultivo de aguacate en fincas de Curumaní.



NOTA: 1-5 para la vereda Paraíso porvenir, 6 Los Naranjos, 7-9 Caño Largo, 10-15 Los Laureles y 16-23 Las nubes. FA: Frutos por árbol, msnm: metros sobre el nivel del mar, % MO: porcentaje de materia orgánica.

En La Paz Robles, el 70% de la varianza fue explicado por dos componentes. En el primero (44.30%), la mayor contribución la tuvieron las variables porcentaje de limo, materia orgánica y número de géneros fúngicos. En tanto que, la contribución a la explicación de la varianza del segundo componente (25.70%), fue mayor para las variables UFC de hongos y actinomicetos (cuadro 6).

Los indicadores con mayor correlación positiva al primer componente fueron frutos/árbol, porcentaje de limo y UFC de grupos microbianos (bacterias, hongos y actinomicetos).

tos) y las variables que se relacionaron negativamente con rendimiento, fueron porcentaje de arcilla y aplicación de herbicidas. Las fincas más relacionadas con el primer grupo de variables fueron 12, 13 y 14, de la vereda Hondo Ricito Abajo. De modo contrario, en la vereda Los deseos, las fincas 1, 2 y 4, del cuadrante II, se relacionaron con el segundo grupo de variables y, por lo tanto, exhibieron baja o nula relación con las variables asociadas positivamente al rendimiento. Mientras que las fincas restantes de ambas veredas, guardaron relación moderada con los indicadores ligados al rendimiento.

En general, se observó gran heterogeneidad en la distribución de los predios de una misma vereda en los cuadrantes; este es el caso de las fincas 9 y 10 de la vereda Los deseos, ubicados, respectivamente, en los cuadrantes I —con relación positiva con rendimiento— y IV, con indicadores de contribución negativa al segundo componente principal. De igual forma, la vereda Hondo Ricito Abajo, distribuyó predios en este último cuadrante, también en el I, con asociación positiva a rendimiento y III, de contribución negativa al primer componente; mientras que Los deseos, ubicó sus predios en los cuadrantes II y III (figura 2).

En ambos municipios, el porcentaje de materia orgánica mostró una relación positiva con el número de géneros de hongos identificados; y negativa, con el rendimiento medido en frutos por árbol.

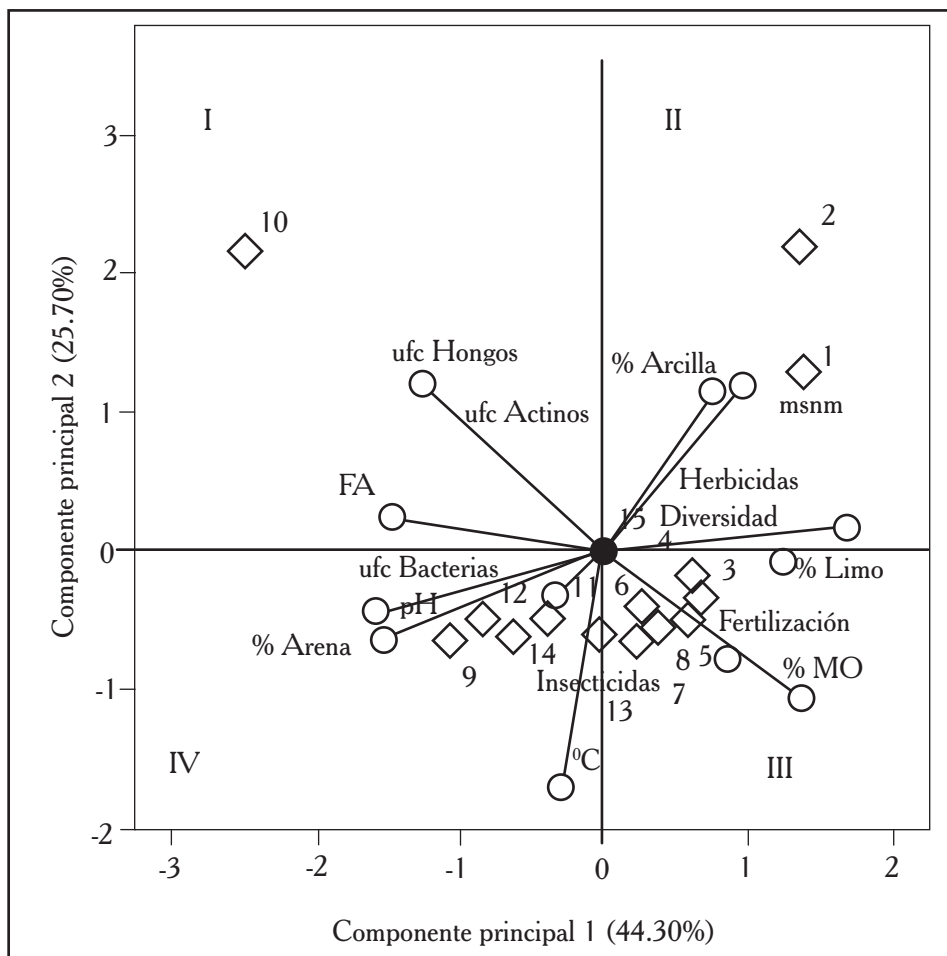
### Cuadro 6

Variables con mayor asociación que conforman los componentes principales y explican el comportamiento de los predios bajo estudio, en La Paz Robles.

<i>Componente</i>	<i>Variable</i>	<i>Valor de la contribución</i>	<i>% Variación</i>
I	pH	0.833	
	% de limo	0.755	44.30
	Materia orgánica	0.737	
	No. de géneros fúngicos	0.734	
II	UFC de hongos	0.649	25.70
	UFC de actinomicetos	0.636	

Figura 2

Diagrama bi espacial de dispersiones de variables fisicoquímicas, biológicas y de rendimiento de cultivo de aguacate en fincas de La Paz Robles, Cesar.



NOTA: 1-8 para la vereda Los deseos y 9-14 para la vereda Hondo Ricito Abajo. FA: Frutos por Árbol, msnm: metros sobre el nivel del mar, % MO: porcentaje de materia orgánica.

### Análisis de conglomerados

Mediante el análisis de conglomerados se conformaron cinco grupos de fincas de Curumani, por asociación de variables seleccionadas del análisis de componentes principales con relación al rendimiento, cuya variación está influenciada, principalmente, por UFC de hongos. Pertenecen al grupo 1, el mayor número de fincas de la vereda Las nubes, con rendimiento promedio de 100 frutos por árbol, niveles de bacterias aceptables y pH 6.1. El

grupo 2, está conformado por fincas de las veredas Caño largo y Los laureles, con valor nulo de frutos por árbol.

El grupo 3 es altamente heterogéneo, pues está conformado por fincas de las veredas Paraíso porvenir, Los naranjos, Los laureles y Las nubes, con rendimiento entre 53 y 200 frutos/árbol. Los grupos 4 y 5, conformados por tres fincas de la vereda Paraíso porvenir, por predios con rangos de rendimiento desde 250 a 300 frutos por árbol, niveles moderados de UFC de microorganismos, porcentaje de materia orgánica y pH de 2.6 y 5.7, en promedio, respectivamente (cuadro 7). De acuerdo con lo anterior, la competitividad más baja en Curumaní se observó en las veredas Caño largo, Los laureles y Las nubes.

**Cuadro 7**  
**Grupos de fincas de Curumaní conformados mediante el análisis de conglomerados a partir de los tres componentes principales, con sus variables correspondientes.**

<i>Grupo</i>	<i>Código</i>	<i>Rdto.</i>	<i>T(°C)</i>	<i>pH</i>	<i>% Arena</i>	<i>% Arcilla</i>	<i>Bacterias (UFC x10<sup>4</sup>)</i>	<i>Hongos (UFC x10<sup>3</sup>)</i>	<i>Diver.</i>
1	151	45	30.0	6.30	45.60	24.40	37.00	0.38	4
1	156	38	27.5	5.80	63.60	24.40	56.00	2.40	5
1	157	60	27.5	5.80	69.60	2.80	93.00	0.10	2
1	158	40	27.5	6.30	53.80	20.80	110.00	1.80	5
2	131	0	22.0	5.40	67.60	12.40	3.50	47	4
2	132	0	20.0	5.40	39.60	20.40	30.00	75	2
2	133	0	24.0	5.30	71.60	12.40	29.00	32	7
2	142	0	13.5	5.00	36.40	32	3.00	0.24	5
2	143	0	13.5	5.00	38.40	34	15.00	0.50	8
2	144	0	13.5	6.00	50.40	10	8.10	1.60	5
2	146	0	17.0	6.10	50.40	24	11.00	0.35	4
3	112	200	18.0	5.30	31.60	34.40	6.90	30	3
3	113	200	20.0	5.20	33.60	34.40	14.00	26	3
3	121	100	18.5	5.60	45.60	28.40	27.00	25	3
3	141	100	13.0	6.10	46.40	26	5.20	0.50	6
3	145	67	16.0	6.00	46.40	28	43.00	0.30	4
3	152	53	30.0	6.10	45.60	24.40	27.00	0.60	3
3	153	102	30.5	6.40	37.60	26.40	29.00	1.30	3
3	154	127	27.5	6.10	45.60	22.40	38.00	1.70	2
3	155	60	29.5	5.60	55.60	16.40	30.00	7	5
4	111	250	18.0	5.10	33.60	36.40	6.90	22	3
4	114	300	22.0	5.90	43.60	26.40	7.30	8.70	4
5	115	300	22.0	5.70	65.60	12.40	73.00	90	3

NOTA: El segundo dígito del código hace referencia a la vereda; predios que comparten el mismo segundo dígito corresponden a la misma vereda. Rdto.=Rendimiento, T=Temperatura, Diver.=Diversidad.

En el municipio de La Paz Robles, se crearon cinco grupos mediante análisis de conglomerados (cuadro 8), de los cuales la mayoría de fincas de la vereda Los deseos se ubicaron en el grupo 1, caracterizado por un rendimiento de 100 frutos por árbol. La



variable más relacionada con el rendimiento fue el porcentaje de limo, con un valor de  $r^2$  negativo ( $r^2 = -0.87$ ). La vereda Hondo Ricito Abajo, presentó una gran heterogeneidad en la competitividad del frutal, pues a partir de sus predios se generaron los grupos 2 y 3, con rendimiento de 200 frutos/árbol y que difieren en porcentaje de materia orgánica, UFC de hongos y actinomicetos. El grupo 4, en predios de la misma vereda, presentaron una menor productividad de frutos y mayor diversidad de géneros identificados. El grupo 5 está conformado por predios de la vereda Paraíso porvenir, sin producción de frutos de aguacate en el año 2010, pero con datos de las variables evaluadas similares a las fincas de la zona.

**Cuadro 8**  
**Grupos de fincas de La Paz Robles conformados mediante el análisis de conglomerados a partir de los tres componentes principales, con sus variables correspondientes.**

Grupo	Código	Rdto.	pH	M.O.	% Limo	Hongos UFC x10 <sup>3</sup>	Actinomicetos UFCx10 <sup>4</sup>	Diver.
1	211	100	5.80	2.70	59.60	3.10	1.70	4
1	212	100	5.80	2.80	41.60	5.70	6	6
1	213	100	6.20	2.20	42.20	2.10	1.20	4
1	214	100	5.90	2.80	43.60	2	2.10	3
1	218	100	6.60	2.80	44	2.60	3	5
2	221	200	7.50	4.10	16	1.60	15	3
2	226	200	6.70	1.60	32	4.10	1.70	3
3	222	200	7.50	1.20	18	80	85	3
4	223	140	7.40	2.10	26	15	2	6
4	224	140	7.30	2	22	25	2.10	3
4	225	150	6.70	4	26	3.40	1.20	4
5	215	0	6.50	3.60	42	2	2	4
5	216	0	6.80	2.50	40	1.80	5.30	4
5	217	0	6.80	3.70	34	3.50	1.70	4

NOTA: El segundo dígito del código hace referencia a la vereda; predios que comparten el mismo segundo dígito corresponden a la misma vereda. Rdto. =Rendimiento, Diver. =Diversidad.

## Discusión

### *Detección de fitopatógenos en raíz*

La asociación baja entre presencia de patógeno y enfermedad en aguacate difiere con los resultados obtenidos por Martich *et al.* (2005), donde la prueba de Fisher mostró la relación significativa entre las variables evaluadas en 66 muestras de raíces. De igual forma, Serrano *et al.* (2009), encontraron diferencias significativas en el porcentaje de emergencia de plantas de *Lupinus luteus* en sustrato infectado y libre de *Phytophthora cinnamomi*.

Por otro lado, los resultados de la prueba de Fisher ( $P > 0,05$ ) podrían estar condicionados por el tamaño de la muestra que requiere mayor diferencia entre valores de una misma variable. No obstante, la infección de *Phytophthora* y *Fusarium* en raíces, indica una asociación de patógenos respecto a la enfermedad (Castañeda, 2009; Martich *et al.*, 2005). Sin embargo, el desarrollo de sintomatología en raíces infectadas, está sujeto a la interacción hospedero patógeno (Sánchez, 2007), pues la presencia de los antagonistas *Paecilomyces* y *Trichoderma* tanto en muestras de suelo rizosférico de árboles de aguacate enfermos y escapes, sugiere la presencia de árboles tolerantes.

Sin embargo, no puede desconocerse que además del componente genético que le confiere tolerancia o susceptibilidad a los árboles, el desarrollo de la sintomatología está condicionada al efecto del componente ambiental (condiciones agroecológicas y presencia-ausencia de rizósfera supresiva) y al producto de la interacción genotipo-ambiente (Flores *et al.*, 2007; McDonald *et al.*, 2007). En este caso, la presencia de rizo supresión, no necesariamente implica la ausencia de infección, puede ocasionar tasas bajas de colonización o presión de inóculo y, por lo tanto, el porcentaje de raíces degradadas por el patógeno, se mantiene en un nivel en el cual no ocasiona sintomatología en el brote o limitaciones a la productividad (Janvier *et al.*, 2006).

De igual forma, se han identificado suelos con características supresivas, evidenciadas por su capacidad de degradación de hifas de *Phytophthora cinnamomi*, aun en altas presiones de inóculo, manteniendo árboles saludables. Las causas de la manifestación de un suelo supresivo pueden ser diversas, al igual que su capacidad de mantener estos atributos en condiciones ambientales distintas a su sitio de origen. Se han identificado como variables asociadas con suelos supresivos actividades elevadas de celulasa, laminarinaasa, población microbiana en general y factores físicos del mismo, como buena conductividad hidráulica, la cual indirectamente favorece la actividad de microorganismos antagonistas del patógeno (McDonald *et al.*, 2007).

Por consiguiente, debido a la complejidad del proceso que desencadena la visualización de síntomas en el brote de aguacate, la prueba de Fisher se hace insuficiente por sí misma para explicar la relación entre los síntomas observados y la presencia de fitopatógenos en raíces, lo cual indica la necesidad de análisis complementarios como los de tolerancia-resistencia con yemas de los árboles catalogados como escape, y ensayos de invernadero que recreen las condiciones de rizósfera supresiva en plántulas con sustratos infectados, para mejorar la comprensión del proceso (Bolaños y Sáenz, 2009).

## Identificación de géneros fúngicos

La diversidad de géneros identificados coinciden con lo obtenido por Flores *et al.* (2007), con siete géneros presentes en la rizósfera de árboles de aguacate, con mayor prevalencia de *Phytophthora*, *Aspergillus* y *Trichoderma*. En otros cultivos como plátano se ha identificado igual número de géneros con mayor UFC de *Penicillium* (Pineda *et al.*, 2009). En el cultivo de frijol, se han identificado seis géneros fúngicos con mayor prevalencia de *Aspergillus* (Arenas *et al.*, 2005). En el grupo de géneros identificados, la alta presión de inóculo de patógenos y promedio por finca es significativamente bajo con relación al número identificado en otros cultivos (Flores *et al.*, 2007); podría asociarse con niveles bajos de materia orgánica, pH, aplicación de herbicidas de alta toxicidad en el cultivo y fertilización nula o incompleta (Bulluck *et al.*, 2002).

Los factores de fertilidad de suelo y las prácticas agrícolas descritas afectan, además, la variedad y densidad de microorganismos como *Paecilomyces* y *Trichoderma*, que ejercen actividad supresiva frente a patógenos (Aryantha *et al.*, 2000). La prevalencia de los géneros *Phytophthora* y *Fusarium*, está determinada por la asociación al cultivo de aguacate y su capacidad infectiva en el mismo, dadas las condiciones favorables mencionadas anteriormente; mientras que la alta frecuencia de *Aspergillus* se asocia con la capacidad como saprofito y amplio metabolismo de predominar en diferentes condiciones ambientales, ubicándose como un microorganismo poco exigente. Los patógenos *Monilia* y *Gibberella* —identificados también en el presente estudio— con menor frecuencia en la rizósfera, están influenciados por la siembra en policultivo con cacao afectado por estos microorganismos. Debido al riego u otras prácticas culturales, se contamina la rizósfera de aguacate, sin descartar la infección de éstos en tejido enfermo, en una sucesión de patógenos (Rodríguez, 2001).

## Análisis fisicoquímico y recuento microbiano

El rango de géneros fúngicos (dos a ocho) reportados por finca, con sistema productivo de aguacate en policultivo, es inferior a lo observado en rizósfera de café, banano y papa (Pérez *et al.*, 2005; Acuña *et al.*, 2006; Sivila y Herve, 2006). En este trabajo, no se observaron diferencias en la diversidad y densidad de géneros, asociado con el cultivo acompañante del aguacate; las diferencias estuvieron asociadas con las características fisicoquímicas del suelo y condiciones ambientales.

De modo similar, estudios realizados para determinar el efecto del cultivo asociado de maíz y maní sobre la comunidad microbiana y los nutrientes del suelo, no evidenciaron diferencias en la cantidad de hongos y actinomicetos, sólo en la población de bacterias. No obstante, la asociación de cultivos mejoró tanto el nivel de fósforo disponible como el contenido de materia orgánica y el desarrollo vegetal (Zhang *et al.*, 2009).

Sin embargo, debe considerarse en aguacate, la realización de trabajos con metodologías finas para establecer la relación estructura-función en la comunidad microbiana, como los perfiles de fosfolípidos en los ácidos grasos (PLFA) y patrones de sustrato (BIOLOG ECO plates). Estas metodologías, permitieron la identificación de dife-

rencias en la estructura poblacional de seis sistemas de cultivos, cambios en la contribución de los hongos al PLFA total y relación C/N en la biomasa microbiana, inversos a la agricultura intensiva (Zhang *et al.*, 2005).

Con respecto a la caracterización agroecológica, dada la mayor inclusión de veredas productoras del frutal, se registró un amplio rango de alturas, cuyo valor mínimo es inferior al muestreado por Rodríguez *et al.* (2009), quienes evaluaron cultivos entre 236 y 1,241 msnm en la región bajo estudio. Sin embargo, coincide con lo reportado por la literatura sobre las alturas apropiadas para el desarrollo del cultivo (0-2,200 msnm) (Ríos-Tafur, 2003). Además, estos suelos registran un pH de moderadamente ácido a ligeramente alcalino y niveles muy bajos de materia orgánica, lo cual explicaría —entre otros factores— el rendimiento en frutos por árbol inferior a 151, que corresponde a la media nacional (NTC 5209), dado que el cultivo de aguacate requiere pH de 6 a 7 y porcentaje de materia orgánica mínimo de 3% (cuadros 7 y 8) para la producción óptima de frutos (Anacafé, 2004).

Las características del suelo anteriormente descritas, influyeron sobre los resultados obtenidos con respecto a niveles de bacterias y actinomicetos en UFC/g de suelo, inferiores al rango expresado en estudios similares (bacterias  $10^6$ - $10^8$ ; actinomicetos  $10^4$  -  $10^6$  UFC); en tanto que los hongos se ubican dentro de los valores reportados de  $10^2$  a  $10^4$  (Pérez *et al.*, 2005; Sivila-Angulo, 2006). Las características identificadas, han sido relacionadas como condiciones favorables para el ataque de *Phytophthora* (Anacafé, 2004), dado que la materia orgánica contribuye a la formación de poros que permeabilizan la cantidad de agua del suelo, evitando encharcamiento; y con ello, se mantiene el oxígeno necesario para el desarrollo de los microorganismos presentes en dicho hábitat, de forma equilibrada, para acción antagonica contra fitopatógenos.

A su vez, el agua libre disponible, la humedad y el pH ácido, estimulan la formación de unidades infectivas o zoosporas de *Phytophthora* que germinan fácilmente sobre raíces debilitadas por anoxia mediada, por el exceso de agua en la rizósfera (Gardizabal *et al.*, 2007).

Además de las características del suelo, en general, el manejo aplicado al cultivo en la zona de estudio, propicia la eficiencia infectiva del patógeno. Los resultados de las encuestas a los productores, indican ausencia de fertilización a los cultivos, quemas y uso acentuado de agroquímicos (como Glifosato y 2,4 D), productos tóxicos de uso frecuente en frutales con efectos desfavorables para el cultivo, el suelo y el medio ambiente en general. Asimismo, favorecen el ataque de fitopatógenos por debilitamiento de las raíces (Kremer y Donald, 2003; Nasser *et al.*, 2005).

De modo contrario, se ha reportado que la incorporación de abono verde con arado para el control de las enfermedades del suelo en tomate, ocasionó cambios en la cantidad de especies microbianas con respecto al monocultivo. Se observó una disminución significativa en la incidencia de la marchitez bacteriana y el incremento significativo de la cantidad de hongos y actinomicetos en la capa arable (Dong *et al.*, 2010).

El manejo inapropiado de agroquímicos, las quemas, aunados a la ausencia de fertilización química y/o orgánica, pueden limitar progresivamente la calidad productiva del

suelo. En este orden de ideas, se ha estudiado el efecto a largo plazo de la adición de fertilizantes químicos en combinación con residuos de cosecha y de la explotación animal, sobre la calidad del suelo, en términos de la cuantificación del impacto sobre la actividad microbiana. La combinación de fertilización química con fuentes adicionales de materia orgánica incrementaron la biomasa microbiana, actividad ureasa, materia orgánica del suelo, nitrógeno y fósforo total (Li *et al.*, 2008). Mientras que el efecto de las quemas se asoció con la disminución del fósforo disponible y el carbono del suelo, debido, principalmente, a la ruptura del carbono rico en macroagregados ( $> 2000 \mu\text{m}$ ) (Fonte *et al.*, 2010).

### *Análisis de componentes principales categóricos y conglomerados*

Los análisis multivariados se utilizan para el análisis de la eficiencia de los sistemas productivos agrícolas. Núñez *et al.* (2011), en café, seleccionaron los componentes principales con mayor influencia sobre la fertilidad del suelo y plantearon recomendaciones de manejo en torno a los parámetros fisicoquímicos más influyentes. Asimismo, Arcos (2011), mediante análisis de componentes principales y conglomerados, identificó las variables que influyeron sobre el cultivo del mamey de una localidad en Puebla, México y, diseñó recomendaciones generales para mejorar las condiciones del cultivo y específicas de manejo, para cada grupo de productores discriminado, mediante análisis de conglomerados.

Diferentes estudios revelan que las propiedades microbiológicas reflejan cambios en la calidad del suelo y pueden usarse como bioindicadores (Acuña *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2008; Pérez, 2008). La priorización de variables generadas por el análisis de componentes principales categóricos coinciden con análisis multivariados de otros cultivos, como café y banano, donde se identificó el pH, población total de hongos y bacterias, como variables de mayor contribución en la explicación de la varianza de los cultivos en las localidades evaluadas (Rosales *et al.*, 2006; Núñez *et al.*, 2011).

En el presente estudio, los componentes principales que explican las condiciones del aguacate en policultivo en Curumaní, son los siguientes indicadores biológicos: densidad de bacterias, hongos y número de géneros fúngicos; lo cual está relacionado con su alta sensibilidad a cambios edáficos continuos durante diversos periodos de tiempo —como pH, materia orgánica y de manejo— como aplicación de agroquímicos, incendios, etcétera. Los efectos negativos sobre los indicadores biológicos sensibles, estarían relacionados con la disminución del rendimiento de aguacate en dicho municipio. Estos indicadores tienen influencia simultánea sobre las propiedades físicas del suelo, dada la importancia de la actividad microbiana en su construcción; esto, debido a la contribución en la formación de poros cuya incidencia sobre el drenaje permite el desarrollo de raíces libres de enfermedades fúngicas, por la disminución de la presión de penetración y el daño mecánico en las raíces (Sadeghian *et al.*, 2000).

De modo contrario, la contribución de la arcilla es negativo en este estudio, en virtud de que la compactación originada por suelos arcillosos disminuye la actividad microbiana por anoxia e incrementa la presión de penetración y el daño mecánico (Acuña *et al.*, 2006). Estas características son condiciones favorables para el desarrollo de enfermeda-

des radicales, con relación a la disponibilidad de agua libre para la germinación y transporte de zoosporas de *Phytophthora*; debido a la disminución del movimiento de agua en el suelo y a la baja actividad microbiana pueden funcionar como rizósfera supresiva.

En algunos estudios tendientes a establecer la relación entre la calidad del suelo y las propiedades microbiológicas, se han correlacionado positivamente algunas propiedades microbiológicas del suelo —como biomasa microbiana y actividad ureasa— con el contenido de minerales del suelo. De modo similar, el contenido de materia orgánica del suelo y el nitrógeno total, se han correlacionado positivamente con la biomasa microbiana; mientras que el pH del suelo se ha correlacionado negativamente con las propiedades microbiológicas del mismo (Li *et al.*, 2008).

En el caso del municipio de La Paz Robles, también se evidencia la importancia del efecto de la interacción entre materia orgánica y biomasa microbiana sobre la calidad del suelo. Los factores que explicaron la productividad del cultivo de aguacate se relacionaron con el porcentaje de limo, materia orgánica y UFC de actinomicetos y hongos. Es decir, que fueron los factores que más influyeron en la variación de los predios de la zona; ello, en virtud de la alta correlación existente entre disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, actividad de microorganismos para metabolizarlos y la fertilidad del suelo. Los grupos microbianos del suelo aportan al desarrollo de las plantas formas moleculares solubles de fosfatos, fijación de nitrógeno y sustancias estimuladoras del crecimiento (Puente *et al.*, 2010).

La relación de los predios 12, 13 y 14 con el rendimiento y el pH —que oscila entre 6, 8 y 7— indica que ese componente es favorable para la producción del cultivo; entre otros aspectos, por la influencia negativa sobre el desarrollo del patógeno. Por otro lado, la relación negativa entre el porcentaje de limo y el rendimiento en frutos por árbol, se debe a la baja filtración de agua en este tipo de suelos, que genera encharcamiento; y por consiguiente, facilita la proliferación de enfermedades que ocasionan pudrición radical como *Phytophthora* —agente causal de la tristeza del aguacatero— cuya sintomatología se expresa con la disminución progresiva de la fructificación del cultivo.

En general, en los dos municipios evaluados, se observó relación positiva entre el recuento de microorganismos con el pH de suelo y diferencias, en la relación entre las otras variables evaluadas y la producción de frutos por árbol. Específicamente, en La Paz Robles, se observó relación negativa con el manejo debido a la aplicación de herbicidas y en Curumaní, por la fertilización escasa. Lo anterior, coincide con estudios realizados por Cerda (2008), cuyos resultados de interacción microbiana, pH y nutrientes, estuvo determinada por un manejo inadecuado del cultivo en relación a la aplicación de agroquímicos, entre otros factores, en los diferentes sistemas evaluados. Samaniego *et al.* (2001), identificaron alta correlación entre variables de manejo inadecuado del cultivo del nogal y la incidencia de enfermedades del mismo, y Martínez *et al.* (2008), señalaron que prácticas productivas convencionales generan cambios en la estructura del suelo, en el pH y en la disponibilidad de nutrientes, que disminuyen la porosidad, aumentando el encharcamiento, y la proliferación de microorganismos patógenos.

Los resultados del análisis de conglomerados arrojados en aguacate coinciden con estudios realizados en plantaciones de banano, cuyos grupos, en cuanto a fertilidad y calidad del suelo, estuvieron determinados por variables biológicas (Delgado *et al.*, 2010); en contraste, estudios de la influencia de variables fisicoquímicas, biológicas y de manejo, sobre la incidencia de enfermedades fúngicas del nogal, los conglomerados con mayor relación estuvieron determinados por la variable manejo del agua de riego en el cultivo (Samaniego *et al.*, 2001).

En mayor detalle, de acuerdo con el análisis de conglomerados, en el municipio de Curumaní se requieren ajustes al sistema productivo para alcanzar mayor competitividad en las veredas 3 y 4 (Caño largo y Los laureles) ubicadas en el grupo 2, ya que el rendimiento en frutos por árbol fue nulo y está determinado por niveles bajos de bacterias y hongos, influenciado por contenidos bajos de materia orgánica en el suelo, por lo que se debe aplicar una fertilización completa acompañada de microorganismos benéficos.

Con respecto a la agrupación de las fincas en el municipio de La Paz Robles, los resultados son consistentes con lo referido por Núñez *et al.* (2011); aplicaron componentes principales y generaron cinco grupos de producción, a partir del cual, propusieron recomendaciones de manejo en torno a los parámetros fisicoquímicos más influyentes. Sin embargo, se observan discrepancias con respecto a lo observado en Curumaní, especialmente en lo que respecta a una mayor diferenciación entre veredas.

Las fincas pertenecientes a la vereda 2 (Hondo Ricito Abajo), se encuentran clasificadas en los grupos 2, 3 y 4, los cuales se caracterizan por tener un buen rendimiento y variables de pH, porcentaje de MO y biológicos dentro de lo normal o con relación positiva; en tanto que la vereda 1 se ubica en los grupos 1 y 5. El primero se caracteriza por rendimiento bajo, y se requieren prácticas tendientes a mejorar el pH y contenido de microorganismos, lo cual indica el requerimiento de enmiendas y aplicación de bioabonos que estimulen el desarrollo de microorganismos y la modificación del nicho para *Phytophthora*, para la producción óptima del cultivo; y el grupo cinco, con rendimiento nulo, asociado a suelos compactos (alto porcentaje de limo) y población de microorganismos baja.

En general, se observó mayor heterogeneidad en las variables del sistema productivo de las fincas pertenecientes a cada vereda en el municipio de Curumaní, con respecto al municipio de La Paz Robles, lo cual se puede evidenciar en la formación de conglomerados; esto, porque en algunas agrupaciones de Curumaní se vincularon fincas de diferentes veredas; mientras que en La Paz Robles, la diversidad se mostró entre veredas al asociarse en cada grupo únicamente fincas de la misma zona geográfica.

## Conclusiones

Se confirmó la infección por *Phytophthora* spp en 66.60% de tejidos asintomáticos y 83% sintomático en Curumaní. En La Paz Robles, se identificó *Phytophthora* en 20% del tejido enfermo; mientras que el 80% estaba infectado por *Fusarium* sp, presente aún en todas las raíces de árboles asintomáticos. Sin embargo, debido a la complejidad de la expresión de la enfermedad, la prueba de Fisher no logró evidenciar asociación entre la infección de las raíces y la detección visual de la sintomatología, lo cual también podría

estar asociado a un tamaño bajo de muestra, presencia de rizósfera supresiva o árboles tolerantes a las pudriciones radicales.

En las raíces del aguacatero se identificó la asociación entre los patógenos *Phytophthora* y *Fusarium*, con porcentajes variables entre los municipios. Se observó alta presión de inóculo de patógenos y promedio de géneros por finca, significativamente bajo con relación al número identificado en otros cultivos. Aunque la densidad poblacional de hongos corresponde a lo registrado en condiciones agroecológicas similares, las bacterias y actinomicetos estuvieron levemente disminuidos. De acuerdo con lo anterior, la baja diversidad y densidad microbiana registrada podría asociarse con niveles bajos de materia orgánica, pH, aplicación de herbicidas de alta toxicidad en el cultivo y fertilización nula o incompleta que, en conjunto, influyeron negativamente sobre el rendimiento de frutos y favorecieron la prevalencia de patógenos.

El recuento de biomasa microbiana e identificación de géneros fúngicos no logró establecer diferencias microbiológicas entre las fincas con diferentes cultivos asociados, lo cual implica la necesidad de desarrollar metodologías más finas para elucidar la relación estructura-función en la comunidad microbiana en cada arreglo de cultivos identificado en la zona.

En Curumaní, las variables de mayor contribución al 32.70% de la varianza explicada por el primer componente principal fueron porcentaje de arcilla, UFC de bacterias, temperatura, porcentaje de arena y pH; mientras que en La Paz Robles (44.30%), fueron pH, porcentaje de limo, materia orgánica y número de géneros fúngicos, ambos resultados son coherentes con la alta correlación existente entre disponibilidad de nutrientes, materia orgánica, actividad de microorganismos para metabolizarlos y la fertilidad del suelo. En este sentido, en ambos municipios, el porcentaje de materia orgánica mostró relación positiva con el número de géneros de hongos identificados y el porcentaje de arcilla afectó el rendimiento de frutos.

Finalmente, el análisis de conglomerados indicó mayor heterogeneidad en el sistema productivo de fincas de Curumaní con respecto a La Paz Robles, lo cual podría relacionarse con el efecto sobre el suelo y la productividad del manejo variable ofrecido al cultivo por los productores en ese municipio, lo cual alerta sobre la importancia de emprender capacitaciones sobre buenas prácticas agrícolas del cultivo de aguacate.

### Recomendaciones

Los resultados alcanzados sugieren la necesidad de realizar estudios específicos sobre tolerancia en los árboles escapes identificados y la confirmación de la posible actividad supresiva de los suelos, mediante la cuantificación de la actividad celulasa, laminarinasa y de la población microbiana en general.

Para la región, es relevante la conservación y estudio de la actividad antagonista de los microorganismos identificados como *Trichoderma* y *Paecilomyce* en condiciones controladas, con miras a definir la pertinencia del bioaumentación en zonas de alta presión de inóculo de patógenos del suelo.



Las veredas que requieren una intervención urgente por su baja competitividad, de acuerdo con el análisis de conglomerados son Caño largo y Los laureles, del municipio de Curumaní y la vereda Los deseos, del Municipio de La Paz Robles. Las veredas promisorias para la inversión estatal, debido a las ventajas competitivas para la producción del cultivo de aguacate, corresponden a Paraíso porvenir, Los naranjos y Las nubes, del municipio de Curumaní; Hondo Ricito Abajo, de La Paz Robles, con productividad media-alta y buenos indicadores físicoquímicos y microbiológicos en general.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Gobernación del Departamento del Cesar, Colombia, por la financiación de la investigación y a COLCIENCIAS, fondo de apoyo a los doctorados nacionales.

### Literatura citada

- Acuña, O.; Peña, W.; Serrano, E.; Pocasangre, L.; Rosales, F.; Delgado, E.; Trejos, J. y Segura, A. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. XVII Reunião Internacional da Associação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na America Tropical. Joinville. Santa Catalina Brasil. pp 222-233.
- Álvarez, R. y Grigera, S. (2004). Factores de fertilidad y manejo determinantes de los rendimientos de trigo y maíz en la Pampa Ondulada. INPOFOS-Informaciones Agronómicas. 22(1):2028. [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/7C327C78F8A84C6203256EC2005340F2/\\$file/Alvarez-Rendimiento+trigo+y+maíz.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/7C327C78F8A84C6203256EC2005340F2/$file/Alvarez-Rendimiento+trigo+y+maíz.pdf) (Consultada el 22 de junio de 2011).
- Álvarez, C. R.; Taboada, M. Á.; Bustingorri, C. y Gutiérrez, F. H. (2006). Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ciencia del suelo, Argentina*. 24(1):1-10.
- Arcos, E. (2011). *Caracterización del sistema de producción de mamey (Pouteria sapota Jacq.) del municipio de Huamuxtillan, Gro.* Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados. Puebla, México.
- Arenas, J.; Carpio, F. G. y Guillermo, J. (2005). Flora fúngica de la rizósfera de *Phaseolus lunatus* "pallar" en Ica, Perú. *Revista Peruana de Biología*. 12(3):441-444.
- Aryantha I. P.; Cross, R. y Guest, D. I. (2000). Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in Potting Mixes Amended with Uncomposted and Composted Animal Manures. *The American Phytopathological Society, Australia*. 90(7):775-782.
- Asociación Nacional del Café-Anacafé. (2004). *Cultivo de aguacate-programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera. Guatemala*. <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/5/Cultivo%20de%20Aguacate.pdf> (Consultado el 10 de junio de 2011).
- Barnett, H. L. y Barry, B. H. (1998). Illustrated genera of Imperfect Fungi. *The American Phytopathological*. Fourth edition. St. Paul, Minnesota, USA. 218 pp.
- Barrett, S.; Shearer, B. y Hardy, G. (2003). The efficacy of phosphito applied after inoculation on the colonization of *Banksia brownie* stems by *Phytophthora cinnamomi*. *Pathology*. 32(1):1-7.
- Bolaños, B. M. y Sáenz, E. P. (2009). *Efecto de hongos benéficos sobre la nutrición y sanidad de aguacate*. III Congreso Latinoamericano de Aguacate. Medellín, Colombia. pp. 48-59.
- Bulluck, L. R.; Brosius, M.; Evanylo, G. K. y Ristaino, J. B. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*. 19(2):147-160.
- Castañeda, E. L. (2009). *Búsqueda de portainjertos de aguacate tolerantes resistentes a Phytophthora cinnamomi Rands*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de posgraduados. Montecillo-Texcoco, México.

- Cerda, R. (2008). *Calidad de suelos en plantaciones de cacao (Theobroma cacao), banano (Musa AAA) y plátano (Musa aab) en el valle de Talamanca, Costa Rica*. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica.
- Corrales, A.; Tafur, R. y Toro, J. C. (2007). *Tecnología para producir aguacate de exportación*. Memorias Primer Simposio Colombiano sobre Producción, Agroindustria y Comercialización de Frutas Tropicales. Colombia. En: Corpoica-Produmedios. 62-86.
- Delgado, E.; Trejos, J.; Villalobos, M.; Martínez, G.; Lobo, D.; Rey, J. C.; Rodríguez, G.; Rosales, F. y Pocasangre, L. E. (2010). Determinación de un índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia*. 35(12): 927-933.
- Dobrowski, M.; Shearer, B.; Colquhoun, I.; O'Brien, P. y Hardy, G. (2008). Selection for decreased sensitivity to phosphite in *Phytophthora cinnamomi* with prolonged use of fungicide. *Plant pathology*. 57(5):928-936.
- Dong, X.; Liu, Z.; Wang, M.; Wang, X.; Zheng, D. y Sun, Z. (2010). Effects of green manure on tomato bacterial wilt and the quantity of soil microbial species. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*. 25 (1):24-30.
- Echemendia, Y. (2002). *Phytophthora*: Características, diagnóstico y daños que provoca en algunos cultivos tropicales. Medidas de control. Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/1060/cuf0022s.pdf> (Consultada el 24 de junio de 2011).
- FAOSTAT (2009). *Online Interactive Database on Agriculture*. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/default.aspx?alias=faostat&lang=es> (Consultado el 3 de junio de 2011).
- Flores, C.; Fernández, B. A.; Aguirre, C. y Ridao, A. (2007). *Supresión de la podredumbre radical del palto en un suelo de Jujuy, Argentina*. <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Resumen/2b-81.pdf> (Consultada en junio de 2011).
- Fonte, S.; Barrios, E. y Six, J. (2010). Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungal agroforestry system. *Geoderma*. 155 (3-4):320-328.
- Gardizábal, F.; Mena, F. y Magdah, C. (2007). *Estrategias para la recuperación de huertos de paltos (Persea Americana Mill) decaídos, en Chile*. Actas VI Congreso Mundial del Aguacate. Viña del Mar, Chile. <http://www.avocadosource.com/WAC6/es/Extenso/3e-130.pdf>. (Consultada el 4 de julio de 2011).
- Gobernación del Cesar. (2009). *Cesar en cifras. 2007-2008*. Gobernación del Cesar. [http://planeacioncesar.gov.co/index.php?option=com\\_content&task=view&id=17&Itemid=40](http://planeacioncesar.gov.co/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=40). (Consultada el 17 de junio de 2011).
- González-Chávez, M. C. A.; Gutiérrez-Castorena, M. C. y Wright, S. (2004). Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *TERRA Latinoamericana*. 22(4):507-514.
- Holliday, P. (1980). *Fungus diseases of tropical crops*. Cambridge University Press. Cambridge. 607 pp.
- Hurtado, I. (2010). *Búsqueda de resistencia a Phytophthora Capsici Leonian en germoplasma de capsicum Spp*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- ICA (1989). *El análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Manual de asistencia técnica No. 47. ICA. Bogotá. 253 pp.
- Janvier, C.; Villeneuve, F.; Alabouvette, C.; Edel-Hermann, V.; Maitelle, T. y Steinberg, C. (2006). Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry*. 39(1):1-23.
- Kremer, R. J. y Donald, P. (2003). Herbicide impact on Fusarium spp. and soybean cyst nematode in glyphosate tolerant soybean. *American Society of Agronomy*. (573): 882-2716.
- Lacombe, S.; Bradley, R.; Hamel, C. y Breaulieu, C. (2009). Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 131(1-2):25-31.
- Li, J.; Zhao, B.; Li, X. y Hwat, B. (2008). Effects of long-term combined application of organic and mineral fertilizers on soil microbiological properties and soil fertility. *Scientia Agricultura sinica*. 41(1):20-26.
- Llany, T.; Ashton, M.; Montagnini, F. y Martínez, C. (2010). Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agroforestry Systems*. 80(3):399-409.

- Maldonado-Torres, R.; Álvarez-Sánchez, M. E.; Almaguer-Vargas, G.; Barrientos-Priego, A. F. y García-Mateos, R. (2007). Estándares nutrimentales para aguacatero 'Hass'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(1):103-108.
- Martich, D.; Morales, P.; Borbón, J. y Morales, J. (2005). *Distribución de la tristeza del aguacatero producida por Phytophthora cinnamomi Rands en plantaciones de República Dominicana*. USDA/IDIAF. <http://www.cedaf.org.do/eventos/isth2005/memoria/Martes/pdf/03.pdf>. (Consultada el 1 de junio de 2011).
- Martínez, E.; Fuentes, J. P. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 8(1):68-96.
- McDonald, V.; Pond, E.; Crowley, M.; McKee, B. y Menge, J. (2007). Selection for and evaluation of an avocado orchard soil microbially suppressive to *Phytophthora cinnamomi*. *Plant soil*. 299 (1-2): 17-28.
- Mejía, A.; Villamizar, J. P.; Orozco, M. L.; Arenas, A.; Álvarez, E.; Rodríguez, M.; Orozco, B. J.; Carmona, J. A.; Ríos, D.; Jaramillo, J. y González, A. (2010). *Development and implementation of methodologies for the production of clean, root rot tolerant avocado plants*. Colombia. [http://www.ciat.cgiar.org/work/latinamerica/TropicalFruit/Documents/post\\_avocado%20root%20rot.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/work/latinamerica/TropicalFruit/Documents/post_avocado%20root%20rot.pdf) (Consultada el 13 de junio de 2011).
- Morell, F.; Hernández, A.; Borges, Y. y Marentes, F. L. (2009). La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos tropicales*. 30(4):25-31.
- Muñoz, J. D.; Martínez, L. J. y Corrales, R. (2006). Variabilidad espacial de propiedades edáficas y su relación con el rendimiento en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Colombiana*. 24(2):355-366.
- Nasser, W.; Rincón, C.; Isea, F. y Hernández, Y. (2005). Efecto de la melaza sobre la toxicidad causada por herbicidas a base de glifosato en el cultivo de la lechosa (*Carica papaya*) 'Maradol'. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 31:101-108.
- Norma Técnica Colombiana (NTC-5209). (2003). *Frutas frescas, aguacate. Variedades mejoradas, especificaciones*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. ICONTEC. Colombia. 24 pp.
- Núñez, P.; Pimentel, A.; Almonte, I.; Sotomayor-Ramírez, D.; Martínez, N.; Pérez, A. y Céspedes, C. M. (2011). Soil fertility evaluation of coffee (*Coffea spp.*). Production systems and management recommendations for the Barahona province, Dominican Republic. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11 (1):127-140.
- Pérez, A.; Bustamante, C.; Rodríguez, P. y Viñals, R. (2005). Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la microflora edáfica y algunos indicadores del crecimiento y el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre cultivado en suelo pardo ócrico sin carbonatos. *Cultivos tropicales*, La Habana, Cuba, 26(2):65-71.
- Pérez, R. M. (2008). Significant avocado diseases caused by fungi and Oomycetes. *The European Journal of plant Sciences and Biotechnology*. 2(1):1-24.
- Pineda, M.; Pineda, D.; Labarca, J.; Ulacio, D.; Paredes, C. y Casassa, A. M. (2009). Micobiota del suelo asociada al cultivo del plátano (*Musa AAB* cv. Hartón) en bosque seco tropical del Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Revista UDO Agrícola*. 9 (1):158-165.
- Prada, P.; Usuga, C.; Franco, E. y Castañeda, D. (2009). *Hongos formadores de micorriza arbuscular y relación con características edáficas en agroecosistemas de aguacate*. III Congreso Latinoamericano de Aguacate. Medellín, Colombia. P. 33-46. <http://corpoaguacate.com/pdf/conferencias/pdf/hongosformadores.pdf> (Consultada el 20 de junio de 2011).
- Puente, M. L.; García, J. E.; Rubio, E. y Peticari, A. (2010). Microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes en trigo. INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Información técnica de trigo y otros cultivos de invierno, Campaña 2010. *Publicación Miscelánea* No. 116. Argentina.
- Ríos, D. y Tafur, R. (2003). *Variedades de aguacate para el Trópico: Caso Colombia*. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. Granada Málaga. p. 143-147.
- Rodríguez, M. (2001). *Biodiversidad de los hongos fitopatógenos del suelo de México*. Acta Zoológica Mexicana. Montecillos Chapingo, México. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57500005> (Consultada el 22 de junio de 2011).

- Rodríguez, M.; Jaramillo, J. G. y Orozco, J. (2009). *Colecta de aguacates criollos colombianos como base para iniciar programas de fitomejoramiento que contribuyan a su competitividad*. III Congreso Latinoamericano de Aguacate. Medellín, Colombia. pp. 14-27. <http://corpoaguacate.com/pdf/conferencias/pdf/Colecta%20de%20aguacates%20criollos%20colombianos.pdf> (Consultado el 6 de junio de 2011).
- Rosales, F.; Pocasangre, L. E.; Trejos, J.; Serrano, E.; Acuña, O.; Segura, A.; Delgado, E.; Pattison, T.; Rodríguez, W. y Staver, C. (2006). *Guía para el diagnóstico de la calidad y la salud de suelos bananeros*. XVII Reunión Internacional da Associação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na America Tropical. Joinville. Santa Catalina Brasil. 198-206 pp.
- Sadeghian, S.; Rivera, J. M. y Gómez, M. E. (2000). *Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia*. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/Siavosh6.htm> (Consultada el 20 de julio de 2011).
- Samaniego, J.; Herrera, T.; Pedroza, A. y Santamaría, J. (2001). Relación entre condiciones de suelo y manejo de huertas de nogal *Pecanero carya Illinoensis* Koch con la dinámica de la pudrición texana, causada por *Phymatotrichum omnivorum* Duggar. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 19(001):10-18.
- Sánchez, J. (2007). *Identificación de marcadores asociados a la resistencia del aguacate raza mexicana (Persea americana Mill. Var. Drymifolia) al oomiceto Phytophthora cinnamomi rands*. Tesis de doctorado en Ciencias biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Serrano, M. S.; Fernández, P.; Carbonero, M.; Trapero, A. y Sánchez, M. E. (2009). La tremosilla (*Lupinus luteus*): un nuevo huésped de *Phytophthora cinnamomi* en las dehesas de Andalucía occidental. *Boletín Sanidad Vegetal. Plagas*. 35:75-87.
- Sivila de Cary, R. y Herve, D. (2006). Efecto de leguminosas nativas en terrenos en descanso sobre la microbiota del suelo durante un cultivo de papa (Altiplano Central Boliviano). *Ecología en Bolivia*. 41(3):154-166.
- Sivila, R. y Angulo, W. (2006). Efecto del descanso agrícola sobre la microbiota del suelo Patarani-Altiplano Central boliviano. *Ecología en Bolivia*. 41(3):103-115.
- Tamayo, M. P. (2007). *Enfermedades del aguacate*. Encuentro Nacional de la Cadena Productiva del Aguacate. *Politécnica*. 1(4):51-70.
- Vidales, J. A. (2002). *Efecto de factores físico-químicos sobre la actividad microbiana de la rizósfera del aguacatero (Persea americana Mill) para el control de Phytophthora cinnamomi Rands*. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad de Colima. México.
- Walkley, A. y Black, I. A. (1932). An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Journal of the American Society of Agronomy*. 24:256-275.
- Zhang, W.; Rui, W.; Tu, C.; Diab, H.; Louws, F.; Mueller, J.; Creamer, N.; Bell, M.; Waggoner, M. y Hu, S. (2005). Responses of soil microbial community structure and diversity to agricultural deintensification. *Pedosphere*. 15(4):22-28.
- Zhang, J.; Gao, A.; Hu, H. y Luo, M. (2009). Effects of maize-peanut intercropping on rhizosphere soil microbes and nutrient contents. *The Journal of applied ecology*. (7): 1597-602.

Recibido: Julio 29, 2011

Aceptado: Marzo 24, 2012