Índice de calidad de suelos para una producción sostenible de plátano

González García, Hebandreyna; González Pedraza, Ana Francisca; Soto Bracho, Aníbal Ángel; Rodríguez Yzquierdo, Gustavo Adolfo.

Índice de calidad de suelos para una producción sostenible de plátano.

Villavicencio: Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, 2025.

220 páginas: mapas, tablas, fotografías, figuras

ISBN: 978-628-7636-25-5 (versión electrónica)

ISBN: 978-628-7636-29-3 (versión impresa)

1. Calidad del suelo 2. Producción agrícola sostenible 3. Cultivo de plátano 4. Suelos tropicales 5. Fertilidad de los suelos

631.45 G643i. Sistema de Clasificación Decimal Dewey 22.ª edición

Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA

Hebandreyna González García, Ana Francisca González Pedraza, Aníbal Ángel Soto Bracho, Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo.
Autores

Nancy Espinel Riveros
Presidenta Sala General

Leonor Mojica Sánchez
Rectora

Manuel Humberto Paérez Baquero
Vicerrector General y de la Calidad

Cristian Julián Díaz Álvarez
Vicerrector Académico, Investigaciones y Proyección Social

Janeth del Pilar Vaca Devia
Vicerrectora de Posgrados, Investigaciones y Proyección Social

Editorial Corporación Universitaria del Meta–UNIMETA

Carrera 32 n.º 34B-26, Campus San Fernando
Villavicencio, Meta (Colombia)
Teléfono: (57-8) 662 1825 Ext. 130 Fax: 662 1827
https://www.unimeta.edu.co
http://www.editorial.unimeta.edu.co

Comité Editorial

Leonor Mojica Sánchez
Rectora

Cristian Julián Díaz Álvarez
Vicerrector Académico, Investigaciones y Proyección Social

Janeth del Pilar Vaca Devia
Vicerrectora de Posgrados, Investigaciones y Proyección Social

Hebandreyna González García
Director de Investigaciones y Proyección Social

Leonor Mojica Sánchez
Sergio Andrés Alfaro Marenco
Editores

Proceditor - proceditor@yahoo.es
Corrección de estilo, armado digital e impresión

© Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA

ISBN (impreso): 978-628-7636-29-3
ISBN (digital): 978-628-7636-25-5
Septiembre del 2025
Villavicencio, Meta, Colombia

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en sistema recuperable o transmitida en ninguna forma por medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros, sin la previa autorización por escrito de la Editorial Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA y de los autores. Los conceptos expresados en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente corresponden a los de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA. Se da cumplimiento al depósito legal según lo establecido en la Ley 44 de 1993, los decretos 460 de 1995, 2150 de 1995, y 358 de 2000, así como en la Ley 1379 de 2010.

Índice de calidad de suelos para una producción sostenible de plátano

Hebandreyna González García | Ana Francisca González Pedraza
Aníbal Ángel Soto Bracho | Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo

editorial
UNIMETA
Fundada en 1985

Contenido

Prólogo 9

Introducción 13

Capítulo I

**ASPECTOS TEÓRICOS:
características del suelo y plantas de plátano
para generar un índice de calidad** 21

1.1. Antecedentes 23

1.2. Aspectos teóricos 30

Capítulo II

**ASPECTOS METODOLÓGICOS:
índice de calidad de suelos cultivados
con plátano en el eje central de producción
del Sur del Lago de Maracaibo** 57

2.1. Población y muestra 59

2.2. Descripción del área de estudio 61

2.3. Diseño de muestreo de suelos 62

2.4. Selección de los sitios de muestreo 62

2.5. Determinación del vigor de las plantas 70

2.6. Toma de muestras de suelos 71

2.7. Toma de muestras de raíces 73

2.8. Metodología para determinar características
del suelo y plantas de plátano 75

2.9. Determinación de índice de calidad de suelos 107

2.10. Análisis estadístico 111

Capítulo III

RESULTADOS Y DISCUSIONES: índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur de Lago de Maracaibo 113

3.1. Determinación de vigor de plantas de plátano de diferentes fincas ubicadas en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo.....115

3.2. Características físicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo 117

3.3. Características químicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo 126

3.4. Características biológicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo 135

3.5. Desarrollo radical de las plantas de plátano ubicadas en los lotes de alto y bajo vigor, en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo 153

3.6. Relación de las características físicas, químicas y biológicas evaluadas en los suelos con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo..... 158

3.7. Índice de calidad de suelos a partir de los datos físicos, químicos y biológicos de los suelos y del desarrollo radical de las plantas de plátano en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo..... 163

Capítulo IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo 177

Conclusiones 179

Recomendaciones 182

Referencias bibliográficas 183

Anexos 201

Prólogo

En un mundo donde la seguridad alimentaria se erige como uno de los mayores desafíos del siglo XXI, el plátano surge como un cultivo estratégico no solo por su valor nutricional —fuente esencial de carbohidratos, vitaminas y minerales para millones de personas—, sino también por su papel socioeconómico en regiones tropicales y subtropicales. Su producción sostenible es, por tanto, una prioridad global. En este escenario, la calidad del suelo se revela como el cimiento invisible, pero determinante, del éxito agropecuario.

La obra *Índice de calidad de suelos para una producción sostenible de plátano*, liderada por la doctora Hebandreyna González García, investigadora y docente de la Corporación Universitaria del Meta (UNIMETA) en Colombia, es un aporte científico invaluable. Fruto de años de rigurosa investigación y experiencia de campo, este libro trasciende lo académico para convertirse en una herramienta práctica. Aunque el estudio se centró en los suelos de la subregión Sur del Lago de Maracaibo (Venezuela), sus hallazgos y metodologías poseen una

aplicabilidad amplia y adaptable a distintas latitudes donde el plátano es eje de soberanía alimentaria y desarrollo rural.

La doctora González García no solo nos entrega un diagnóstico de las condiciones edáficas, sino que propone un *índice de calidad de suelo* (ICS) como faro para la toma de decisiones. Este índice, al integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, se convierte en un promotor de sostenibilidad: permite identificar limitantes, optimizar manejos agronómicos y, sobre todo, prevenir la degradación que amenaza los sistemas productivos. En esencia, el ICS es un puente entre la ciencia y la acción, entre la conservación de los recursos y la productividad.

Como académico y conocedor de la trayectoria de la doctora González García en el estudio de suelos y cultivos tropicales, celebro esta publicación. Su enfoque multidisciplinario y aplicado la hacen indispensable para técnicos, productores y formuladores de políticas. En sus páginas, el lector encontrará no solo datos, sino un llamado a repensar la agricultura desde el suelo, ese recurso no renovable que, como bien señalan los autores, representa un desafío global.

Doctor Miguel Antonio Rosario Cohen

Introducción

Actualmente, la agricultura utiliza el 11 % de la superficie terrestre para la producción de cultivos. El área cultivada ha aumentado un 12 % en los últimos cincuenta años, y la producción agrícola ha crecido entre 2,5 y 3 veces debido a un aumento significativo en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, este progreso ha estado acompañado por una degradación generalizada de los suelos, especialmente en regiones tropicales como América Latina y el Caribe (FAO, 2011, 2012). En esta región, la deforestación y las prácticas agrícolas inadecuadas han contribuido a la pérdida de la calidad del suelo, lo que afecta su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales (FAO, 2016).

La calidad del suelo es un desafío global: más de la mitad de las tierras cultivadas —concentradas en regiones como el África subsahariana, América del Sur y Asia sudoriental— presenta serias limitaciones. En países de bajos ingresos, la situación es aún más crítica: solo el 44 % de los suelos cultivables están en condiciones aceptables. La principal barrera para la productividad agrícola en estas regiones es la deficiencia de nutrientes, un problema

que afecta a casi una cuarta parte de los suelos de manera significativa (FAO, 2012).

América Latina y el Caribe (LAC) tiene un vasto potencial agrícola, con aproximadamente ochocientos millones de hectáreas de tierra. Sin embargo, la mayor parte de esta superficie está cubierta por selvas tropicales, ecosistemas frágiles que están siendo rápidamente deforestados para dar paso a actividades agrícolas. La deforestación desencadena una serie de procesos de degradación del suelo como la erosión, la pérdida de nutrientes y la disminución de la biodiversidad, con graves consecuencias para los ecosistemas y la producción a largo plazo (FAO, 2016). Además, la adopción de sistemas de producción inadecuados y la priorización de la producción a corto plazo sobre la sostenibilidad ambiental han exacerbado esta problemática (FAO, 2012).

Cuando las prácticas de gestión no son sostenibles y no concuerdan con las condiciones ecológicas locales, incrementa la vulnerabilidad a eventos naturales como inundaciones, deslizamientos de tierra y sequías. En muchos casos, estos eventos, aparentemente naturales, son exacerbados o incluso desencadenados por actividades humanas que alteran el equilibrio de los ecosistemas (FAO, 2012).

La degradación física del suelo se manifiesta en una serie de alteraciones que afectan su funcionalidad. Entre las principales, encontramos la compactación —que reduce la infiltración de agua y el crecimiento radicular—; la formación de costras superficiales —que dificulta la emergencia de plántulas—; y la erosión —que provoca la pérdida de suelo fértil y disminuye su capacidad para retener agua y nutrientes (López, 2002)—.

El deterioro químico del suelo se manifiesta en la pérdida de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, la disminución de la materia orgánica —fenómeno que reduce la capacidad de retención de agua y nutrientes—, y las alteraciones en

el equilibrio iónico, un proceso que afecta la disponibilidad de nutrientes. Por su parte, la disminución de la actividad microbiana, característica del deterioro biológico, compromete los procesos de descomposición de la materia orgánica y la formación de humus, y así se reduce la fertilidad del suelo y su capacidad para sustentar la vida (López, 2002).

El uso intensivo de agroquímicos en las plantaciones de banano ha acelerado significativamente la degradación de los suelos en América Latina y el Caribe. Estos productos químicos alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y han afectado de forma negativa la estructura, la fertilidad y la actividad microbiana. Como consecuencia, se ha observado una disminución en la productividad de las plantaciones en los últimos diez años. La compleja interacción entre estos factores requiere de una investigación más profunda para desarrollar estrategias de manejo sostenible (Rosales *et al.*, 2006).

El plátano (*Musa* spp.) es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial, y desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria y la economía de numerosos países tropicales. Uganda y Camerún lideran la producción global, mientras que Venezuela se sitúa en el puesto catorce (Escalante y Fuenmayor, 2020; FAO, 2014). A pesar de su relevancia, el cultivo de plátano en Venezuela enfrenta desafíos significativos, entre los que destaca la degradación de los suelos, consecuencia de prácticas agrícolas intensivas y del uso indiscriminado de agroquímicos. Esta problemática, que afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, compromete también la productividad a largo plazo de las plantaciones y la sostenibilidad del sistema productivo (Rosales *et al.*, 2006).

La política de subvenciones europea ha generado una dinámica de producción intensiva del cultivo de plátano, impulsando así la utilización excesiva de tecnología, agroquímicos y agua. Esta presión desmedida sobre los recursos naturales ha desen-

cadenado una fragilidad ecológica cada vez mayor, caracterizada por la degradación de los suelos, la contaminación de las fuentes hídricas y la pérdida de biodiversidad; así mismo, se ha puesto en riesgo la sostenibilidad de este cultivo a largo plazo (Vargas y Rodríguez, 2000).

La producción de plátano en el país ha experimentado una significativa disminución en las últimas décadas: se pasó de las 1 239 480 toneladas en 1992 a las 375 118 toneladas en 2010 (FAO, 2020). De forma paralela, ha habido una tendencia decreciente: para el año 2000, se cultivaron 65 092 hectáreas. En los años 2002, 2003 y 2004, la superficie cosechada fue de 35 000 hectáreas —en cada uno de los años—, y en el 2005 alcanzó las 53 816 hectáreas (Anido y Cartay, 2010). Ya para el 2014, la superficie cosechada fue de 49 602 hectáreas (FAO, 2014).

El estado Zulia, por su parte, es el estado con mayor número de tierras sembradas, y es el de las más grandes unidades de producción, especialmente aquellas situadas entre los ríos Escalante, Mucujepe, y las riberas del río Chama (Martínez, 2009). La concentración de la mayor parte de la producción nacional de plátano se da en ese estado gracias a sus extensas áreas cultivadas y a condiciones agroclimáticas óptimas, como las lluvias abundantes, las altas temperaturas y los suelos fértiles. En particular, la región del Sur del Lago de Maracaibo, con sus variedades locales adaptadas, aporta cerca del 70 % de la producción nacional (Martínez *et al.*, 2006; Nava, 1997). El Sur del Lago tiene mayor potencialidad de producir y cubrir hasta el 100 % de la demanda nacional de plátano.

La producción nacional de plátano se basa en un modelo agrícola convencional caracterizado por el uso intensivo de fertilizantes químicos y plaguicidas, lo que ha llevado a una degradación significativa de los suelos, fenómeno que se ha manifestado en la pérdida de materia orgánica, compactación y salinización. Además, el uso indiscriminado de agroquímicos contamina las

fuentes de agua y representa un riesgo para la salud de los trabajadores agrícolas y los consumidores. Esta situación ha generado una disminución en la productividad y la calidad de los cultivos, poniendo en peligro la sostenibilidad del sector a largo plazo.

La calidad del suelo ejerce una influencia determinante en el rendimiento y la producción del cultivo de plátano, como lo demuestran numerosos estudios (Buelvas, 2021; Castellanos *et al.*, 2021; Flores *et al.*, 2021; González-García *et al.*, 2021a y b; González-Pedraza *et al.*, 2023; Martínez, 1998; Martínez *et al.*, 2006). La textura, la estructura, el contenido de materia orgánica, el pH y la salinidad del suelo son propiedades fundamentales que influyen en la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. Sin embargo, prácticas agrícolas inadecuadas, como la falta de cobertura vegetal, el uso excesivo de agroquímicos y la falta de rotación de cultivos, han llevado a la degradación de los suelos en muchas zonas productoras de plátano. La erosión, la compactación, la pérdida de materia orgánica y la disminución de la capacidad de retención de agua son algunas de las consecuencias de estas prácticas (Nava de Boscán *et al.*, 1996; Orellana *et al.*, 2020). Estos problemas han afectado significativamente la producción de plátano, pues se reducen los rendimientos y aumenta la susceptibilidad a plagas y enfermedades.

La evaluación de la calidad del suelo es un proceso fundamental para garantizar la sostenibilidad de la producción de plátano. Como lo señalan el SQI (1996), Villareal (2010) y Villarreal-Nuñez *et al.* (2013), los indicadores de calidad del suelo son variables que permiten cuantificar y comunicar de manera efectiva el estado de salud de este recurso natural. Al seleccionar indicadores como la textura, la estructura, la materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica y la actividad biológica (Buelvas, 2021; Martínez, 1998; Martínez *et al.*, 2006), es posible obtener una visión integral del suelo y detectar posibles limitaciones para la producción.

Los índices de calidad del suelo, como señalan Obade y Lal (2016), ofrecen una síntesis concisa y comprensible de los atributos del suelo, lo que facilita la evaluación de su estado y la toma de decisiones informadas. Estos índices, al integrar procesos y características físicas, químicas y biológicas, permiten una visión holística del suelo y su funcionamiento. Además, su adaptabilidad a diferentes condiciones de campo y su capacidad para complementar bases de datos existentes los convierten en herramientas valiosas para el monitoreo y la evaluación del impacto de diferentes prácticas de manejo y cambios ambientales. La determinación de un índice de calidad de suelos específico para la producción de plátano representaría un avance significativo en la gestión sostenible de este cultivo pues puede proporcionar a los productores información relevante para implementar prácticas que aumenten la productividad sin comprometer la salud del suelo y la calidad de los frutos.

Las investigaciones realizadas en la zona Sur del Lago de Maracaibo se han centrado principalmente en la actividad microbiana y en la relación entre los planes de fertilización y el rendimiento del cultivo de plátano (González-García *et al.*, 2021a y b; González-Pedraza *et al.*, 2011 y 2014). Sin embargo, existe una notable carencia de estudios que abarquen de manera integral las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como su influencia en el desarrollo radicular de las plantas. Esta falta de información limita nuestra comprensión de los procesos de degradación del suelo y dificulta la identificación de los factores críticos que afectan la productividad del cultivo. La implementación de un enfoque basado en la calidad del suelo permitiría llenar este vacío de conocimiento. Al evaluar de manera integral las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sería posible cuantificar su impacto en el rendimiento del cultivo y determinar con precisión el potencial productivo de las diferentes zonas plataneras. Esta información resulta fundamental para desarrollar prácticas de manejo sostenible que

permitan aumentar la producción sin comprometer la salud del suelo a largo plazo.

En función de lo descrito anteriormente, este libro se estructura en cinco capítulos: en el primer capítulo, denominado "Aspectos teóricos: Características del suelo y plantas de plátano para generar un índice de calidad", se abordan estudios relacionados con el índice de calidad de suelos, y se describe la metodología utilizada y las conclusiones principales de los autores consultados; igualmente, se describen todas las definiciones y conceptualizaciones de las características del suelo y de las plantas de plátano que se pueden considerar para generar un índice de calidad de suelos; además de la importancia y relación que estas representan para el crecimiento y desarrollo de los cultivos en especial del rubro plátano.

El segundo capítulo, titulado "Aspectos metodológicos: Índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo", se describe la población y la muestra utilizada, además de que se realiza la descripción del área de estudio, el diseño de muestreo de suelos, la selección de los sitios de muestreo, cómo se realizó la determinación del vigor de las plantas, la toma de muestras de suelos y la toma de muestras de raíces; así como también la metodología considerada para determinar características del suelo, plantas de plátano y la determinación de índice de calidad de suelos. Se explica, además, cómo se realizó el análisis estadístico de los datos generados.

A continuación, el tercer capítulo, "Resultados y discusiones del trabajo titulado índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo" se presenta en siete segmentos conformados por los resultados y las discusiones, además de los trabajos de investigación relacionados con la variable descrita titulados de la siguiente manera: "1. Determinación de vigor de plantas

de plátano de diferentes fincas ubicadas en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo"; "2. Características físicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo"; "3. Características químicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo"; y "4. Características biológicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo". Consecutivamente se encuentran los segmentos "5. Desarrollo radical de las plantas de plátano ubicadas en los lotes de alto y bajo vigor, en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo"; "6. Relación de las características físicas, químicas y biológicas evaluadas en los suelos con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo"; "7. Índice de calidad de suelos a partir de los datos físicos, químicos y biológicos de los suelos y del desarrollo radical de las plantas de plátano en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo".

Finalmente, el cuarto capítulo es el correspondiente a "Conclusiones y recomendaciones del trabajo titulado índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo".

Capítulo I

ASPECTOS TEÓRICOS: características del suelo y plantas de plátano para generar un índice de calidad

"*La comunidad de los suelos podría contribuir realmente a los esfuerzos de seguridad alimentaria, erradicación del hambre, adaptación al cambio climático, reducción de la pobreza y desarrollo sostenible.*"

Organización de las Naciones Unidades para la Agricultura y Alimentación y Secretaría de la Alianza Mundial por el Suelo (FAO y Secretaría de la AMS, 2014).

Esta descripción representa todos los aspectos teóricos referente a las características físicas, químicas y biológicas del suelo que deben considerarse para la generación de un índice de calidad. Por ello, se intenta realizar la recolección de información procedente de fuentes confiables y acertadas que permitan la orientación de eventos investigativos con mayor eficacia de los objetivos trazados.

En tal sentido, se presentan, en primer lugar, los antecedentes del índice de calidad de suelos cultivados con *Musáceas*, y allí se expresan los objetivos y los principales hallazgos relacionados. Seguidamente, se hace la descripción y se destaca la importancia de cada característica física, química y biológica del suelo, elementos para la generación del índice de calidad; de igual forma, se expresan definiciones de características de plantas, específicamente aquellas relacionadas con desarrollo radical y vigor de plantas de plátano.

1.1. Antecedentes

En cuanto al género *Musa*, Serrano *et al.* (2006) desarrollaron un trabajo de investigación en plantaciones bananeras establecidas en Costa Rica, y determinaron los indicadores fisicoquímicos que diagnostican estadísticamente el estado de salud y la calidad del suelo con respecto al vigor y la producción de las plantas. Los autores muestrearon tres fincas de la zona bananera ubicada al este del río Reventazón, y tres de la zona ubicada al oeste de ese mismo río, en la zona Caribe de Costa Rica. En cada zona escogieron una finca de buena, mediana y baja productividad. Dentro de cada finca, seleccionaron suelos con vigor bueno, regular y pobre. Utilizando la metodología de minicalicatas (cuatro por cada tipo de vigor), se estudiaron dieciséis características químicas y nueve características físicas en los horizontes presentes, en el perfil de 0 a 60 cm de profundidad. La clasificación taxonómica para los suelos con vigor bueno y medio en la zona este del río Reventazón fue Dystric fluventic eutrudepts, y la establecida

para suelos con vigor pobre fue Fluvaquentic Endoaquepts. En la zona oeste del río se clasificaron como Andic Dystrudepts los suelos con vigor bueno; Dystric Fluventic Eutrudepts los suelos con vigor medio; y Typic Hapludands para los suelos con vigor pobre.

La amplitud del horizonte superficial (Ap) osciló entre 8 y 12 cm, acumuló materia orgánica humificada de la cual deriva su color oscuro; las características fisicoquímicas fueron alteradas por la adición de agroquímicos. Las variables fisicoquímicas de este horizonte se relacionaron estadísticamente con las variables biométricas de vigor y producción; circunferencia de pseudotallo (medida a un metro del nivel de suelo), altura de hijo y número de manos en veinte plantas próximas a ser cosechadas. Los indicadores químicos, la acidez intercambiable, el pH, el Al^{3+}, las relaciones de bases (Ca/Mg, Mg/K, % Sat, K y % Sat. Ca), la retención de fosfatos y el contenido de P afectaron significativamente el vigor y la productividad del cultivo. Por otra parte, la infiltración básica y el porcentaje de porosidad se consideraron como las características físicas que más explicaron los cambios en el vigor y la producción.

Alves da Silva *et al.* (2007) evaluaron atributos químicos y físicos en suelos cultivados con banana prata-ana (AAB) en tres niveles de productividad en el norte de Minas Gerais, Brasil. Los suelos se clasificaron como Latossolo Vermelho Eutrófico, Dystric Tropudult, Typic Neossolo Litólico Eutrófico y Typic Cambissolo Háplico Eutrófico. Los autores seleccionaron 96 unidades de producción de banana, divididas en tres niveles de productividad: baja productividad (menor de 25 $Mg•ha^{-1}•año$); media productividad (25 a 32 $Mg•ha^{-1}•año$) y alta productividad (mayor a 32 $Mg•ha^{-1}•año$), de acuerdo con el peso y la cantidad de manos y racimos. Evaluaron pH, Ca, Mg y K intercambiables, P disponible, materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y granulometría en muestras de suelo con profundidades de 0-20 cm y para la densidad del suelo de 0- 5 cm. Así mismo, los

autores determinaron niveles de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn y Zn en tejidos foliares de veinte plantas. Encontraron que, en el contenido de Ca, K y P, los valores de materia orgánica, limo, arcilla, conductividad eléctrica y el porcentaje de saturación con bases fue significativamente mayor en suelos de unidades con alta productividad y en contenidos altos de arena en lotes de baja productividad. No obstante, no se presentaron diferencias en el contenido de nutrientes de hojas entre los tres niveles de productividad. De esta manera, destacaron que la granulometría del suelo y el manejo del cultivo —tales como el control de artrópodos, plagas y enfermedades, poda y manejo del riego— fueron factores que posiblemente pudieron influir en la productividad de plantas de banana.

En otro estudio, González-Pedraza *et al.* (2021) evaluaron la disponibilidad de nitrógeno (N) en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB, subgrupo plátano cv. Hartón) en plantaciones con diferente vigor. El estudio se realizó en una finca del municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia. Los suelos de la zona pertenecen a los órdenes de los entisoles (Tropafluvents y Fluvaquents) e inceptisoles (Dystropepts y Tropaquepts). Se seleccionaron dos secciones de 4 HA cada una, que presentaron alto (AV) y bajo vigor (BV). Cada subsección fue dividida en cuatro parcelas de aproximadamente 1 ha cada una. En cada parcela se seleccionó una subparcela de 1000 m^2; se trazaron dos transectas y se tomaron tres muestras simples de suelo de 0 a 20 cm de profundidad. En las muestras se determinó el pH, la conductividad eléctrica (CE), el nitrógeno total (NT) y el disponible (ND), el contenido de humedad y la textura. En las plantas de plátano se determinó la circunferencia del pseudotallo de la planta madre (CP), la altura del hijo (AH) y el número de manos por racimo (NMR). De acuerdo con los resultados, los suelos presentaron pH ácido, baja CE y textura franca a franca limosa. No se encontraron diferencias significativas en NT y ND entre los lotes AV y BV. La CP, el NMR y la AH resultaron estadísticamente

superiores en los lotes AV con respecto a BV. La evaluación de disponibilidad de nitrógeno, así como la mineralización, pueden ser herramientas útiles para hacer estimaciones de las dosis apropiadas de fertilizantes a aplicar.

González-Pedraza *et al.* (2011) evaluaron la relación entre la productividad del banano y algunas características biológicas en suelos aluviales del sector La Ceiba, estado Trujillo, a fin de proponer prácticas de manejo que mejoren la actividad biológica de los suelos y en consecuencia el rendimiento del cultivo. Los suelos de este estudio pertenecen al orden inceptisol (Ustropepts y Tropaquepts). Para ello, se seleccionaron fincas con lotes de alta y baja productividad (AP y BP) según el perímetro del pseudotallo a un metro de altura de la planta madre, la altura del hijo y el número de manos. En cada lote se seleccionaron ocho parcelas de 1000 m^2, y se tomaron muestras de suelo compuestas de 0-20 cm de profundidad. Se determinó materia orgánica total (%MOT), carbono y nitrógeno microbiano (Cmic y Nmic), respiración basal del suelo (C-CO_2), cociente microbiano (Cmi/COT) y metabólico (qCO_2). Por lo tanto, la productividad del banano se determinó como poco afectada por los procesos microbianos del suelo debido a que no hubo relación con los parámetros biológicos evaluados, con excepción del Nmic, que resultó mayor en BP. Esto pareciera indicar una inmovilización del N asociada con condiciones de estrés. Los autores indican que el hecho de no haberse encontrado diferencias significativas en los parámetros biológicos evaluados puede deberse a la forma de realización del muestreo.

González-Pedraza *et al.* (2014) evaluaron la actividad microbiana en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón), con diferente vigor de las plantas en una finca ubicada en el municipio Francisco Javier Pulgar, estado Zulia, Venezuela, a fin de proponer prácticas de manejo agroecológico que mejoren la actividad biológica de los suelos. Los suelos de la zona pertenecen a los órdenes de los entisoles (tropofluvents)

e inceptisoles (Dystropepts y Tropaquepts). Así, seleccionaron dos lotes en una finca que presentaron alta y baja productividad (AP y BP), respectivamente. Dentro de cada lote se delimitaron cuatro parcelas de 1000 m^2, y se trazaron dos transectas separadas a una distancia de 10 m. Además, se tomaron tres muestras simples de suelo a una profundidad de 0-20 cm. En las muestras de suelo se determinó textura, porcentaje de humedad (%H), pH y conductividad eléctrica (CE) en una suspensión suelo: agua (1:2,5); porcentaje de carbono orgánico total (%COT), carbono en la biomasa microbiana (Cmic), respiración basal del suelo o liberación de CO_2. Para estimar el vigor de las plantas de plátano, se determinó el número de manos por racimo, la altura del hijo de sucesión y la circunferencia del pseudotallo de la planta madre a un metro de altura sobre la superficie del suelo.

Según los resultados de González-Pedraza *et al.* (2014), la humedad y el porcentaje de limo fueron significativamente más bajos en los lotes de bajo vigor, mientras que el porcentaje de arena resultó más alto en los lotes de plantas de bajo vigor. Con relación al vigor de las plantas, los autores destacan que el número de manos por racimo, la circunferencia del pseudotallo (cm) y la altura del hijo (m) fueron estadísticamente superiores ($p< 0,05$) en los lotes de alto vigor con respecto a los de bajo vigor. Los lotes de plantas de plátano con alto vigor presentaron un %COT y Cmic menor a BP, mientras que la respiración basal de suelo y el cociente metabólico fueron menores en BP. Esto les permitió concluir que los suelos en AP están sometidos a una mayor condición de estrés en comparación con BP, y que las características texturales pueden estar jugando un papel importante.

Por su parte, Salguero (2006) realizó una caracterización de nemátodos de vida libre como bioindicadores de calidad y salud de suelos bananeros en Costa Rica, con el fin de determinar su utilidad como indicadores de calidad y salud de este recurso. Para ello, la estructura de la comunidad de nemátodos de vida

libre en el suelo fue comparada en doce fincas bananeras comerciales en las zonas este y oeste de la cuenca del río Reventazón en Costa Rica. Los suelos pertenecen a los órdenes inceptisol (Dystric Fluventic Eutrudepts y Fluvaquentic Eutrudepts) y andisol (Typic Hapludands). En cada finca se ubicaron dos tratamientos: un sitio de alta y un sitio de baja producción en los que se tomaron seis réplicas. Cada replica consiste de una muestra compuesta de cinco submuestras mezcladas entre sí para obtener mayor representatividad en la muestra.

En cuanto a los resultados, Salguero (2006) obtuvo que las poblaciones de nemátodos totales y nemátodos de vida libre fueron más abundantes en las fincas Frutera y Duacarí 2, comparadas con Carmen 1, Carmen 2, Imperio y Monte Líbano. Se determinaron cinco grupos tróficos: fitonemátodos, bacterívoros, fungívoros, omnívoros y depredadores. El grupo trófico más abundante fue el de fitonemátodos, seguido de los bacterívoros. Los índices de diversidad, dominancia y fitonemátodos revelaron diferencias significativas en los sitios de alta y baja producción, lo que permite definir características de las poblaciones de nemátodos presentes en el suelo. Así, los resultados encontrados en las fincas con mayor diversidad concuerdan con los de mayor proporción de nemátodos de vida libre, mientras que las fincas de mayor dominancia corresponden a aquellas con mayor población de fitonemátodos. Los géneros más abundantes de fitonemátodos fueron *Radopholus similis* y *Helicotylenchus multicinctus*. El estudio de la estructura de la comunidad de nemátodos a través de grupos tróficos y los índices de la comunidad permiten concluir que los suelos evaluados presentan ambientes disturbados y sometidos a estrés en el ambiente por las prácticas de manejo agrícola.

Por su parte, Villareal-Núñez *et al.* (2013), en su estudio "Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá", establecen como objetivo obtener un índice para la gestión agrícola y ambiental de suelos cultivados con banano en Panamá.

El estudio se realizó en cinco fincas independientes del distrito de Alanje y seis pertenecientes a la Cooperativa COSEMUPAR en Barú, en el Pacífico de Panamá. Los suelos pertenecen a los órdenes inceptisol (Andic Dystrudepts, Udic Haplustepts y Dystric Haplustepts) y entisol (Andic Udifluvents). Para la descripción de los indicadores se abrieron cuatro calicatas por cada área de alta y baja productividad en la banda de fertilización de plantas de banano recién florecidas.

Los autores también registraron los datos biométricos de veinte plantas cercanas a cosecha. En cada sitio se midió la infiltración básica, el peso total de raíces y se tomaron muestras para determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En todas las fincas se pudieron observar elevados niveles de calcio, magnesio y potasio, y bajas concentraciones de materia orgánica, fenómeno que se relaciona con la baja actividad biológica y la escasa biomasa microbiana. En la mayoría de las fincas la infiltración era lenta, y había presencia de estructuras degradadas en los horizontes inferiores. El conjunto mínimo de datos que mejor ayudó a diferenciar entre áreas de alta y baja productividad reunía porcentaje de arena, pH, calcio y potasio intercambiable, materia orgánica, respiración microbiológica, índice de mineralización y peso total de raíces (Villaruel-Núñez *et al.*, 2013).

Los autores mencionados además indican que el índice calculado representa una valiosa herramienta que permitirá la toma de decisiones para corregir, en el tiempo, errores en el manejo tradicional dado a los suelos bananeros y, además, servirá de base para realizar monitoreos periódicos comparando el avance o retroceso de este. El índice de calidad de suelos bananeros permitió el desarrollo de una metodología para la región y se obtuvo una herramienta para la gestión ambiental que, con ciertas modificaciones y consideraciones locales de cada ecosistema, permitirá monitorear y evaluar la calidad del suelo e implementar acciones que impidan el avance de la degradación y, a su vez,

medir los impactos de la aplicación de técnicas de conservación y mejoramiento del manejo del suelo con un enfoque integral y sostenible.

1.2. Aspectos teóricos

1.2.1. Características de los suelos

El suelo es un recurso natural y un sistema muy complejo que permite el sostenimiento de actividades productivas. Es descrito y clasificado con base en las clases y los tipos de horizontes presentes en los perfiles reconocibles por sus características. Unas son de carácter físico —como por ejemplo profundidad efectiva, resistencia a la penetración, índices estructurales (densidad aparente y densidad real o de partículas), infiltración, porosidad y textura—; otras son características químicas y biológicas que se determinan en laboratorios especializados a partir de muestras obtenidas por horizontes en el campo —como pH, porcentaje de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación con bases, fitonemátodos, nemátodos de vida libre, poblaciones de hongos, microartrópodos, indicadores microbiológicos (cociente microbiano y cociente metabólico), entre otras—.

No obstante, por la amplia variabilidad de los suelos, es difícil establecer la relación entre una sola característica física, química o biológica y la calidad del recurso. En consecuencia, las determinaciones deben pensarse en cuanto conjuntos de factores.

1.2.1.1. *Características físicas del suelo*

Las características físicas del suelo influyen significativamente en la capacidad de muchos de los usos que el hombre le da: laboreo, fertilización, drenaje, irrigación, conservación de suelos y agua, así como el manejo adecuado de los residuos de cosechas (Jaramillo, 2002; Latorre y Villamizar, 2019; Yepes, 2019). Estas características dependen de la composición mineralógica, de la

forma y del tamaño de las partículas que lo forman y del ambiente que los rodea. El tamaño, la forma y la composición química de las partículas determinan principalmente la permeabilidad, la capilaridad, la tenacidad y la cohesión (FAO, 1996).

La textura, la resistencia a la penetración, la densidad aparente, la densidad de partículas, la infiltración y la porosidad son características físicas que determinan la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes. Por lo tanto, se considera necesario conocer esas características físicas del suelo para entender en qué medida y cómo afectan el crecimiento y el desarrollo de las plantas; cómo el hombre puede llegar a modificarlas; así como comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks *et al.*, 2004).

a. Profundidad efectiva

Es el espesor de las capas del suelo (horizontes superficiales y subsuperficiales) en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad en busca de agua, nutrimentos y sostén. Su límite inferior está definido por capas u horizontes compactos, cantidad de materiales gruesos (grava, piedras), presencia de la capa freática alta, concentraciones de elementos o minerales tóxicos (salinidad, carbonatos, aluminio); estos son limitantes para el desarrollo de las raíces. En consecuencia, las raíces de *Musas* necesitan de suelos con una profundidad mínima o profundidad efectiva de 60 a 80 cm (Cubero, 1994).

Los suelos poco profundos (superficiales) son más limitados en el uso que puedan tener y, en consecuencia, en el desarrollo de los cultivos. Los suelos superficiales tienen menor volumen disponible para la retención de humedad y nutrimentos, y también pueden implicar dificultades para la labranza; también pueden ser susceptibles a la erosión porque la infiltración del agua

está restringida por el substrato rocoso. Estos factores adversos varían en severidad de acuerdo con la naturaleza de la interfase entre el suelo y el lecho rocoso, por lo tanto, limitan el paso de la raíz y, debido a esto, la zona de exploración es muy reducida y el crecimiento de la planta se ve afectado apreciablemente (FAO, 2000).

b. Textura

Es un indicador físico de los rangos de tamaño de partículas dentro de un suelo. Todos los tamaños de las partículas del suelo se pueden clasificar en tres rangos denominados fracciones texturales. Convencionalmente, el conjunto de la clasificación textural de un suelo está determinada por la cantidad de tres fracciones texturales: arena, limo y arcilla (Gee y Bauder, 1986).

Esta característica del suelo influye sobre el movimiento del agua del suelo y el estado de energía del agua en la columna de suelo, lo que determina los valores de la humedad del suelo, que a su vez establecen la condición del agua en la planta (Fernández *et al.*, 2001).

c. Humedad

Es la cantidad de agua y la capacidad de retención del suelo. Está determinada, fundamentalmente, por la textura, el contenido de materia orgánica, la composición de las fracciones minerales y orgánicas, además del arreglo del medio físico edáfico por el aporte que se le haga de manera natural (lluvia) o artificial (riego), así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jaramillo, 2002).

Desde el punto de vista hortícola, la presencia de agua en la superficie del suelo es vital para las plantas debido a que se requiere de pequeñas cantidades para el metabolismo y el transporte de los nutrimentos; y, por el contrario, se requiere de grandes cantidades en el proceso fisiológico de la transpiración (Goyal y Ramírez, 2007).

d. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo —también conocida como densidad de masa— es una propiedad afectada por el manejo que hace el hombre del suelo. Se puede decir, con cierta limitación, que es la medida cuantitativa más directa de la compactación del suelo directo. Expresa la relación entre la masa y el volumen total constituido por el grado de disposición de las partículas del suelo, es decir, incluye el espacio poroso (USDA, 2008).

La compactación causada por el hombre en el manejo convencional del cultivo reduce el volumen total de suelo a una misma masa, lo que causa que la densidad del suelo aumente, y a su vez afecta la capacidad de retención y movimiento de agua en el suelo. Por lo tanto, cuanto mayor sea la densidad aparente, mayor es la dificultad del crecimiento de las raíces de una planta, lo que afecta de manera negativa el desarrollo. Para suelos arenosos, en general, los valores medios de densidad aparente varían entre el 1,2 y el 1,4 $g \bullet cm^3$, que es más grande que en los suelos arcillosos, que tienen densidades de entre 1,0 a 1,2 $g \bullet cm^3$.

e. Resistencia a la penetración:

La resistencia a la penetración es un índice que se consigue al empujar un objeto dentro del suelo (Bradford, 1986). Este índice es útil como información acerca de las capas limitantes para el desarrollo de las raíces, y puede ser usado para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede ser empleado para determinar duripanes, zonas de compactación u horizontes densos (Vogel, 1992).

El estudio de esta propiedad física tiene un papel preponderante en la caracterización de la productividad del suelo. En particular, la compactación afecta negativamente, tanto de forma directa como indirecta, diversas características del suelo: la estructura, la dinámica del agua y el aire, así como procesos de oxidación reducción y poblaciones de organismos, por citar solo algunos ejemplos (Porta *et al.*, 2003).

f. Infiltración

Es el proceso de penetración del agua en el suelo. Es un parámetro crítico cuando se están haciendo diseños de riego, pues define cuánto tiempo debe permanecer el agua sobre la superficie del suelo para que haya un adecuado humedecimiento: si se trata de un riego superficial o si se limitan los caudales de aplicación en sistemas de aspersión (Porta *et al.*, 2013; Sepúlveda, 1999).

De igual forma, la velocidad en la que el agua entra en el suelo es la velocidad de infiltración, y depende del tipo de suelo; de la estructura del suelo o el grado de agregación; y del contenido de agua en el suelo. El contenido inicial de agua en el suelo al momento de la medición afecta la capacidad del suelo de absorber agua adicional. Por ello, la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Este factor es importante al comparar mediciones de infiltración de suelos diferentes (USDA, 1999).

Inmediatamente después de la labranza, puede que la infiltración sea mayor debido al aflojamiento de costras superficiales o zonas compactadas. Sin embargo, la labranza a su vez rompe agregados y deteriora la estructura del suelo, y potencialmente puede darse compactación, encostramiento superficial y pérdida de poros continuos conectados con la superficie. De lo anteriormente expuesto, se deduce que los suelos compactados tienen menos espacio poroso, lo que determina menores velocidades de infiltración y suelos con costras superficiales, se sella la superficie del suelo y pueden presentarse mínimas velocidades de infiltración (USDA, 1999).

La infiltración básica se considera una de las características físicas más completas que se puede determinar en suelos dedicados al cultivo del banano y plátano, debido a que es afectada por otras características como la textura, la densidad aparente, la porosidad, la estructura y la retención de humedad (Delvaux, 1995). Se establece un rango óptimo de infiltración de 6 a

15 cm/h. Según Vaquero (2005), de ser menor, se tendrían problemas de anoxia radical; y, de ser mayor, un grave problema de retención de agua (déficit hídrico en épocas de menor precipitación y lixiviación de nutrientes en períodos de alta pluviosidad).

g. Conductividad hidráulica saturada

La conductividad hidráulica es un parámetro importante para la modelación del movimiento de agua en suelos. Esta propiedad física debe conocerse si se quiere solucionar el problema de flujo. Existen diversos métodos para la estimación de la conductividad hidráulica en suelos a partir de su medición *in situ* y en el laboratorio; sin embargo, debido a la variabilidad de los resultados, la dificultad de realización de las pruebas y la incertidumbre que implican las suposiciones de los modelos elegidos, en algunos casos es conveniente estimar la conductividad hidráulica de los suelos a partir de otros parámetros cuya obtención sea más sencilla (Donado, 2004).

El mismo autor señala que el movimiento del agua en el suelo se controla por dos factores: la resistencia de la matriz del suelo para el flujo del agua y las fuerzas que actúan en cada elemento o unidad de agua del suelo. La ley de Darcy relaciona la proporción de flujo con estos dos factores. El flujo saturado ocurre cuando la presión del agua de poros es positiva; es decir, cuando el potencial matricial del suelo es el cero. En la mayoría de los suelos esta situación tiene lugar cuando aproximadamente el 95 % del espacio del poro total está lleno con agua y el restante 5 % está lleno con el aire atrapado. Es así como Bautista *et al.* (2004) proponen a la conductividad hidráulica como uno de los indicadores de la calidad del suelo.

En síntesis, la medición de las características físicas del suelo es esencial en la evaluación de la calidad de este recurso. La calidad física del suelo se asocia con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas, y puede ayudar a implementar medidas para la reducción del efecto invernadero y un

incremento de la producción agrícola. Esta calidad no se puede medir directamente, pero se infiere a través de los indicadores de la calidad (estáticos o dinámicos) y de la medición de los atributos que están influenciados por el uso y las prácticas de manejo (Navarro *et al.*, 2008).

1.2.1.2. Características químicas del suelo

La química del suelo permite el estudio de la manera en la que los elementos químicos y sus compuestos se distribuyen entre y dentro de las tres fases principales que componen el suelo: sólida, líquida y gaseosa (Navarro y Navarro, 2003). El pH se considera la propiedad química del suelo y, en esa medida, ayuda a determinar muchas de las características físicas (por ejemplo, la floculación o la defloculación), químicas (la adsorción o la desorción) y biológicas (la mineralización o la inmovilización) (Bolan y Kandaswamy, 2005; Sparks, 2003).

Así mismo, mediante el estudio de reacciones de intercambio de los cationes, es posible observar cómo se distribuyen los iones cargados positivamente entre las fases sólida y líquida. Debido a esta distribución, esas características químicas desempeñan un papel importante en la floculación y la dispersión de los suelos y los sedimentos en suspensión, la disponibilidad y el transporte de cationes y nutrientes, y la regulación de la acidez del suelo (Sparks, 2003).

En ese sentido, las características químicas del suelo —pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, cationes disponibles, aluminio intercambiable, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases—deben ser conocidas por el productor hortícola en su conjunto, ya que el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, y la cantidad y calidad de las cosechas tienen relación directa con los nutrimentos de los suelos. Al determinarse estas características, se conocen también las cantidades disponibles de macro y micronutrimen-

tos para la planta, además de todos los aportes y las mejoras que podrían dar estas para las características biológicas del suelo.

a. pH

Con el pH se mide la acidez (pH inferior a 7,0) o la alcalinidad (pH mayor a 7,0) del suelo. Si el pH es igual a 7,0 se denomina neutro. La escala de pH varía de 1 a 14. Esta magnitud es determinante para regular la disponibilidad de nutrimentos, los cambios que sufren con la aplicación de fertilizantes y la actividad de elementos potencialmente tóxicos como el sodio y el aluminio (Hanlon, 2012).

Por otro lado, las reacciones de óxido-reducción en el suelo determinan la solubilidad del hierro y del manganeso, la disponibilidad de nutrientes y las poblaciones de microorganismos del suelo en zonas con drenaje interno del suelo pobre o en áreas con niveles freáticos fluctuantes o permanentes a poca profundidad.

El desempeño radical del banano y el plátano puede ser mejorado con la aplicación de tecnologías no convencionales. Por ejemplo, la absorción de varios nutrientes en banano y plátano incrementa en plantas inoculadas con micorriza bajo condiciones de invernadero. Su efecto bajo condiciones de campo en suelos con limitaciones físicas y químicas está siendo investigado (Gauggel *et al.*, 2003).

b. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) de una solución mide la capacidad de la solución para conducir la electricidad, se expresa generalmente en milimhos por centímetro. o su equivalente: decisiemens por metro (Hanlon, 2012).

Esta característica química puede variar de acuerdo con la cantidad de humedad de las partículas del suelo: en arena la conductividad es baja; en limo, es media; y en arcilla, es alta.

En consecuencia, la CE se correlaciona fuertemente con el tamaño de las partículas del suelo y la textura. Además, de los valores de CE que separan las variaciones en la textura del suelo, se ha demostrado que la CE se relaciona estrechamente con otras propiedades del suelo utilizadas para determinar la productividad de un campo (Griso *et al.*, 2009).

Así mismo, la conductividad eléctrica está relacionada con el porcentaje de arcilla y materia orgánica; de esta manera, a medida que aumentan estas propiedades, también se eleva la conductividad eléctrica (Griso *et al.*, 2009).

c. Materia orgánica (MO)

La materia orgánica juega un papel importante y múltiple en la dinámica y las características del suelo: constituye el medio de cultivo para los microorganismos, que a su vez proporcionan los nutrientes esenciales. Se trata de una medida relacionada, entonces, con la génesis y la estabilidad de la estructura del suelo, del aumento de la vida en el suelo, y la resistencia de las plantas a plagas, enfermedades y artrópodos.

Está compuesta por fracciones de diferente complejidad. Las más lábiles, responsables de suministrar nutrientes a las plantas, son las más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo del suelo y del cultivo (Trannin *et al.*, 2007; Dalurzo *et al.*, 2005).

Así mismo, esas fracciones se relacionan, en el corto plazo, con la dinámica de nutrientes como el nitrógeno. Drinkwater *et al.* (1996) señalan que, para una evaluación completa de la calidad de suelo, es preciso contar con indicadores sensibles a la calidad de la materia orgánica, como el potencial de mineralización de nitrógeno.

Existe una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica y la actividad enzimática, ya que ambos parámetros son influenciados por los cultivos y el sistema de laboreo del suelo.

Dentro del sistema enzimático del suelo, las fosfatasas constituyen un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres y anhídridos del ácido fosfórico, y su importancia radica en la mineralización del fósforo orgánico para su asimilación por las plantas. Este es un factor de especial trascendencia en suelos tropicales en los que la deficiencia de fósforo constituye uno de los factores restrictivos para la producción de los cultivos (Dalurzo *et al.*, 2005).

d. Nitrógeno total

El nitrógeno está presente en el suelo en formas orgánicas e inorgánicas. Los compuestos orgánicos pueden ser fácilmente degradados por microorganismos —como los aminoácidos—; mientras que otros (recalcitrantes) son bastante resistentes a la degradación microbiana. Uno de los materiales orgánicos del suelo más resistente es el humus (Hodge, 2005).

Las formas inorgánicas del nitrógeno son el nitrato (NO_3^-), el nitrito (NO_2^-), el amonio (NH_4^+) y el amoníaco (NH_3). El nitrato y el amonio son fácilmente absorbidos y son beneficiosos para el crecimiento de las plantas. El nitrito y el amoníaco son tóxicos para las plantas (Camberato, 2001).

El papel más importante del nitrógeno es su participación en la estructura de las moléculas de proteína. Actúa en el proceso fotosintético de la planta debido a que es indispensable para la formación de la molécula de clorofila. Es, además, el componente de vitaminas que tienen una importancia extraordinaria para el crecimiento de la planta; es constituyente y activador de todas las enzimas, interviene en procesos de absorción iónica, respiración, síntesis, multiplicación, diferenciación celular y herencia; y, por lo tanto, se considera uno de los macronutrimentos esenciales para el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Oertli, 2008).

e. Fósforo

Es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, y se aplica a menudo al suelo para aumentar la producción de cultivos. Generalmente, se encuentra en pequeñas cantidades en el suelo, y tiene la tendencia a reaccionar con algunos componentes de este. Forma compuestos relativamente insolubles, lo que disminuye así la disponibilidad de este elemento en las plantas. Esta característica le da una alta resistencia a ser lavado en la mayoría de los suelos; pero, al mismo tiempo, causa frecuentes deficiencias nutricionales en la producción hortícola, lo que conlleva una reducción en el crecimiento de la planta de plátano, además de la reducción de la emisión foliar y del largo de la hoja (Vance, 2001).

El fósforo total del suelo varía de 0,05 a 0,2 %. En los suelos jóvenes no cultivados, las concentraciones de este elemento son más elevadas que en suelos cultivados no fertilizados. El fósforo es absorbido por las plantas como iones ortofosfatos primarios y secundarios ($H_2PO_4^-$ $HPO_4^=$), presentes en la solución del suelo. Este fósforo total comprende el fósforo orgánico y el inorgánico. La fracción del fósforo orgánico se encuentra en el humus y en otros materiales orgánicos que pueden o no asociarse con él. La fracción inorgánica forma numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio, flúor y otros elementos (Vance, 2001).

Estos componentes tienen múltiples fuentes de origen natural y antropogénico que difieren ampliamente en su comportamiento y destino, tanto en suelos naturales como cultivados. Se estima que, del P aplicado como fertilizante para los cultivos, solo del 10 al 20 % es aprovechado durante el primer año debido a que la mayor parte es rápidamente fijado o precipitado a formas de baja solubilidad (Vance, 2001).

Cuando se aplica un fertilizante fosfórico soluble en agua, este entra en contacto con la solución del suelo, lo que hace del fósforo un elemento altamente disponible para las plantas. En la

medida en que la solución del suelo se satura, comienza a moverse el fósforo hacia formas menos disponibles, se incrementa en la superficie, y parte de él puede llegar a cristalizarse como fosfato secundario. Existen diversos factores específicos que tienen una relación directa en el comportamiento del fósforo en el suelo: el tipo de arcilla, el tiempo de la reacción, la temperatura, la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio en el suelo, los suelos alcalinos con presencia de carbonatos de calcio y magnesio, los cationes solubles en el suelo, la materia orgánica (humus), la reacción del suelo y el pH (Echeverri, 2018).

El pH es una característica química que ayuda a controlar el aprovechamiento de las formas asimilables del fósforo por las plantas. Las formas iónicas de fósforo presentes en el suelo son $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}. Cuando el pH es bajo, tiende a dominar la forma monovalente H_2PO_4. La forma divalente HPO_4^{2-} se observa a pH = 4 y alcanza un máximo de pH = 9; así, los dos iones están en equilibrio a pH = 7.

Por tanto, si se considera solamente el pH, la asimilación de fósforo por las plantas sería normal a pH bajos debido a que la forma HPO_4^{2-} es la más asimilable, y esta condición también contribuye a la solubilización de los hidróxidos libres de Fe y Al; así, se originan iones Fe^{3+} y Al^{3+}, y se precipitan los iones $H_2PO_4^-$, lo que a su vez origina compuestos insolubles para la planta. El $H_2PO_4^-$ puede también reaccionar con los óxidos hidratados de estos mismos elementos en unas condiciones de menor acidez.

f. Cationes intercambiables

El contenido de cationes en el suelo depende fundamentalmente del material de origen y de los procesos de lixiviación y meteorización. Los cationes intercambiables de los suelos son la parte de los cationes asociados con los sólidos que pueden intercambiarse con los cationes de la solución sin que se produzca descomposición de los sólidos en el recurso natural. El predominio de ciertos cationes en los sitios de intercambios depende

fundamentalmente de si el suelo tiene pH superiores o inferiores a 6,5. En condiciones de alcalinidad, los cationes que dominan son Ca^{2++}, Mg^{2++}, K^{+} y Na^{+}. Estos son denominados *cationes básicos* debido a que, bajo estas condiciones, hay suficientes iones OH^{-} para hacer alcalino al sistema, y su número de cargas positivas supera el número de cargas negativas en la superficie de los coloides. En condiciones de acidez, los cationes predominantes son H^{+} y Al^{+++}, y se denominan cationes ácidos (Thomas, 1982).

g. Porcentaje de saturación con base

La saturación con bases (%SB) es la proporción porcentual de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) ocupada por cationes básicos (Ca + Mg + K + Na) expresada en porcentaje.

La porción de la CIC que no es ocupada por los cationes básicos es una expresión de los cationes ácidos (H^{+} + Al^{+++}). Cuando todo el complejo de intercambio es dominado por cationes básicos, el % SB = 100; es decir, no hay cationes ácidos y, por lo tanto, el suelo tiene un pH superior a 7,0. Con el proceso de meteorización, los cationes básicos disminuyen por ser lavados y los cationes ácidos pasan a ocupar los sitios de intercambio. Bajo esta condición, los suelos son ácidos y su % SB es bajo.

En la mayoría de los suelos, un % SB de entre 80 % y 90 % sería adecuado para lograr un buen crecimiento de los cultivos; es decir, solo del 20 % al 10 % del complejo de intercambio estaría saturado por cationes ácidos como Al^{+++} e H^{+}.

1.2.1.3. *Características biológicas del suelo*

De las características biológicas se desprenden las actividades bioquímicas en la fase sólida del suelo, siendo las interfaces sólido-líquido y líquido-gas las de preferencia de los microorganismos (Valencia y Peña, 2001). Así, dichas características, en conjunto, contribuyen al diagnóstico previo de la degradación de suelos. En ese sentido, el conocimiento de esas características permitiría la aplicación de labores hortícolas que aumenten la

sustentabilidad del recurso suelo. De esta manera, la microbiota del suelo es la principal responsable de la descomposición de los compuestos orgánicos, el ciclo de nutrientes y el flujo de energía en el suelo. La biomasa microbiana y su actividad han sido identificados como características más sensibles a los cambios en la calidad del suelo (Trannin *et al.*, 2007).

a. Fitonemátodos

El plátano, como todos los cultivos, es susceptible de ser atacado por grupos de nemátodos que influyen en el desarrollo y la producción. Las pérdidas ocasionadas por estos fitopatógenos dependen de la población existente, de la susceptibilidad del material, del tipo de suelo y las condiciones ambientales que favorecen la infección, la alimentación y la reproducción de los nemátodos (Belalcázar, 1991).

Los fitonemátodos en los cultivos causan problemas de anclaje y fuertes daños al sistema radical, producen lesiones y pudrición, y afectan, en gran medida, el desarrollo normal de la planta (Bautista *et al.*, 2015).

En *Musáceas*, se han reportado 146 especies de nemátodos parásitos o asociados al género *Musa*, distribuidas en cuarenta y tres géneros. Los fitonemátodos más devastadores y ampliamente distribuidos son los endoparásitos migratorios *Radopholus similis* (Cobb) Thorne y *Pratylenchus coffeae* (Zimmermann) Filip, y Schuur-Stekh, y el ectoparásito migratorio *Helicotylenchus multicinctus* (Cobb). De menor importancia se reportan las especies del nemátodo endoparásito sedentario *Meloidogyne* sp., y el semiendoparásito sedentario *Rotylenchus reniformis* (Linford & Oliveira) (Gowen *et al.*, 2005).

En *Musáceas*, se han reportado 146 especies de nemátodos parásitos o asociados con el género Musa distribuidas en 43 géneros. Los fitonemátodos más devastadores y ampliamente distribuidos son los endoparásitos migratorios *Radopholus si-*

milis y *Pratylenchus coffeae*, y el ectoparásito migratorio *Helicotylenchus multicinctus*. De menor importancia se reportan las especies del nemátodo endoparásito sedentario *Meloidogyne* y el semiendoparásito sedentario *Rotylenchus reniformis* (Gowen *et al.*, 2005).

El nemátodo barrenador (*R. similis*) es el de mayor importancia económica en la mayoría de las regiones donde se cultiva banano y plátano (Haddad *et al.*, 1975; Montiel *et al.*, 1997; Yépez, *et al.*, 1972). Los síntomas en las raíces son lesiones de aproximadamente 10 cm de longitud, rojizas al principio y luego negras; después de que el tamaño de la lesión aumenta y se forman cavidades en la corteza, el tejido vascular queda expuesto a la invasión de microorganismos secundarios que ocasionan la muerte de la raíz en la parte posterior de la lesión. Infecciones severas tornan el rizoma necrótico y, como consecuencia, se produce alargamiento del ciclo vegetativo, disminución en el tamaño, número de hojas y desarrollo de las plantas, lo que a su vez ocasiona reducción en el peso del racimo y en la vida productiva de la plantación, y mayor volcamiento de las plantas.

Por su parte, el nemátodo espiral (*H. multicinctus*) es, probablemente, después de *R. similis*, el nemátodo más numeroso y ampliamente diseminado en las plantaciones de banano y plátano (Gowen *et al.*, 2005; Torrado-Jaime y Castaño-Zapata, 2009). Lo frecuente es observar pequeñas manchas circulares de color café oscuro que se tornan negras en la epidermis de las raíces; generalmente, estas manchas no profundizan el parénquima cortical (Araya, 2003a).

b. Hongos

Es un indicador que refleja la población potencial de los hongos en un determinado suelo (unidades formadoras de colonias por gramo del sustrato), especialmente aquellos que ocupan diferentes nichos o hábitats en forma saprofítica (Acuña *et al.*, 2006).

La función básica de los hongos es la descomposición y la mineralización de los residuos orgánicos frescos o recién incorporados al suelo. Por esto, se les conoce como descomponedores primarios que, mediante su metabolismo, liberan gran cantidad de enzimas capaces de destruir compuestos de estructuras complejas para así obtener su fuente energética y alimenticia. Además, liberan al medio proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes (Acuña *et al.*, 2006).

Los beneficios de los hongos para los cultivos se relacionan con incremento en la cantidad de raíces, protección contra el ataque de fitopatógenos y aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y la producción.

Al igual que las bacterias y actinomicetos, la disponibilidad de oxígeno en el medio es importante debido a que el número de hongos del suelo tiene una estrecha relación con características físicas relacionadas con la función filtrante del suelo: textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad. En cuanto a parámetros químicos, se favorece la actividad de los hongos a un pH del suelo medianamente ácido, una acidez intercambiable intermedia, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de elementos esenciales (Acuña *et al.*, 2006).

De igual forma sucede con los hongos que colonizan los tejidos internos de una planta sin causar ningún proceso patogénico en la misma. Cuando la colonización de los órganos y los tejidos de la planta confiere una protección al ataque de patógenos, se les denominan *hongos endofíticos mutualistas*. Existen numerosos trabajos de investigación en los cuales los hongos endofíticos han sido usados como agentes biológicos de control de patógenos de plantas, así como por generar procesos de inducción de resistencia. En el caso particular del banano, está bien documentado que hongos micrórrizicos arbusculares pueden reducir significativamente la población de nemátodos en el sistema radical, así como mejorar el peso radical y el porcentaje de raíz funcional (Pocasangre, 2003).

c. Bacterias

Las bacterias son microorganismos simples que consisten, en general, de células procariotas individuales. Se conocen alrededor de mil seiscientas especies de ellas. La gran mayoría son organismos estrictamente saprofitos y como tales benefician al hombre, ya que ayudan a la descomposición y la mineralización de los residuos orgánicos que produce anualmente el hombre y sus fábricas en forma de productos de desecho, o que son el resultado de la muerte de las plantas y los animales (Acuña *et al.*, 2006; Agrios, 2005).

La mayoría de las bacterias patógenas, además de ser organismos saprofitos facultativos, pueden cultivarse artificialmente en medios nutritivos (Agrios, 2005). Así, las bacterias del suelo forman colonias alrededor de partículas consideradas como fuentes de energía (Álvarez, 2009). Mediante su metabolismo liberan al medio sustancias como enzimas, proteínas, reguladores de crecimiento, metabolitos y algunos nutrientes. Los beneficios de las bacterias para los cultivos se relacionan con un incremento en la cantidad de raíces y un aporte importante de elementos básicos para el desarrollo y producción (Acuña, 2006).

El número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo como la textura, la estructura, la porosidad, la aireación y la retención de humedad, ya que su actividad se ve beneficiada al haber mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua. Dentro de las propiedades químicas que favorecen la actividad de las bacterias se encuentra un pH cercano a la neutralidad, una baja acidez, altos contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg (Acuña, 2006).

d. Actinomicetos

Los actinomicetos representan un grupo ubicuo de microorganismos ampliamente distribuido en ecosistemas naturales y

tienen un rol importante en la degradación de materia orgánica (Srinivasan *et al.*, 1991). En tal sentido, son abundantes en suelos, demostrado así en la mayoría de los aislados que producen compuestos bioactivos (Ghanem *et al.*, 2000). En un principio, los actinomicetos se incluyeron entre los hongos porque su morfología y desarrollo eran similares: estaban dotados de un micelio verdadero. Debido a esto, se les denominó *hongos radiados*. Sin embargo, actualmente, y dado su carácter procariótico, se sustenta muy bien su clasificación como bacterias (Prescott *et al.*, 2002).

Así, Agrios (2005), los clasifica como bacterias que forman filamentos ramificados. Pueden ser organismos aerobios, por lo que no crecen en suelos húmedos. Los actinomicetos soportan condiciones alcalinas, pero no toleran ambientes ácidos. No se los consideran como buenos competidores en el consumo de sustrato fácilmente degradables, aunque degradan quitina y celulosa (Álvarez, 2009).

e. Carbono microbiano del suelo

El carbono asociado con la biomasa microbiana del suelo (Cmin) se puede utilizar como un indicador sensible del manejo y de la toxicidad debido a pesticidas, metales y otros contaminantes antropogénicos. El estudio de la actividad enzimática se basa en el principio que bacterias y hongos liberan enzimas extracelulares que ayudan a descomponer la materia orgánica del suelo a formas asimilables (Martínez *et al.*, 2008).

f. Respiración basal del suelo ($C\text{-}CO_2$)

Debido al papel de los microorganismos en la descomposición de los residuos, la medida de la actividad biológica puede ser un indicador valioso del efecto del manejo del sistema sobre la población microbiana del suelo.

La actividad total de la población microbiana del suelo puede determinarse mediante la respiración basal del suelo (Acuña

et al., 2006). Las células microbianas oxidan materiales reducidos (carbohidratos), y producen así elementos y compuestos disponibles como el CO_2. Esta actividad puede evaluarse al medir el CO_2 producido o el oxígeno consumido como resultado del metabolismo de los microorganismos, así el incremento de la población microbiana trae consigo un incremento en la evolución de CO_2.

La determinación de este parámetro nos indica la actividad microbiana mediante la degradación de residuos de plantas, exudados y de materia orgánica, como respuesta al abonado, al cultivo y a las prácticas agrícolas (Acuña *et al.*, 2006). Debe tenerse claro que una alta tasa de respiración no necesariamente significa un resultado positivo, ya que, si el sistema evaluado no tiene un aporte adecuado de nutrientes, puede ocurrir pérdida de carbono y consecuentemente un empobrecimiento de ese elemento.

g. Cociente microbiano

Uno de los indicadores que se puede utilizar para determinar la actividad y la salud de la microflora es el cociente microbiano. Este relaciona el carbono de la biomasa microbiana y el carbono orgánico total del suelo (Gaublomme *et al.*, 2006).

h. Cociente metabólico

Este cociente es muy utilizado en estudios microbiológicos (Agnelli *et al.*, 2001). Un mayor valor del qCO_2 indica que los microorganismos son menos eficientes en el uso de sus recursos energéticos, o bien, son más eficientes descomponiendo residuos orgánicos.

Los indicadores microbiológicos (cociente microbiano y cociente metabólico) pueden ser de gran importancia en la evaluación temprana de posibles efectos adversos en el manejo del suelo, lo que permite la adopción de medidas correctivas o de control e identificar la forma en que ocurre el sistema de ma-

nejo en curso; es decir, se contribuye a aumentar o disminuir la sostenibilidad del sistema de producción.

1.2.2. Características de las plantas

La información generada sobre la morfología de la cepa del plátano hartón y el ciclo de las plantas capaces de lograr los más altos rendimientos es escasa. Esta información es importante debido a que está relacionada con la producción (Haddad *et al.*, 1994).

La longitud del pseudotallo y su circunferencia están en relación directa, en primer término, con el tipo de clon y luego con el vigor de la planta, producto de su estado de crecimiento. Normalmente una planta con buen vigor es aquella que presenta una mayor cantidad de hojas bien desarrolladas, y por consiguiente una mayor circunferencia del pseudotallo. Estas dos características, a su vez, le representan a la planta de banano y plátano mejor capacidad fotosintética, mayor acumulación de reservas y, como consecuencia, mayor peso de racimo y número de manos (Soto, 1992). No obstante, si el suelo no presenta los rangos ideales en cuanto a características físicas, químicas y biológicas, tanto el vigor como la producción de dichos cultivos hortofrutícolas se ven afectados significativamente.

1.2.2.1. *Desarrollo radical*

En la mayoría de las plantas, la raíz es la parte subterránea del esporofito y realiza funciones de anclaje, almacenamiento de productos para la alimentación, absorción de agua y nutrimentos, conducción de agua y nutrientes para el resto de las partes de la planta, producción de materia orgánica al suelo, así como provisión de hábitat para micorrizas y organismos de la rizosfera (Aranguren *et al.*, 2020; Vásquez, 2003).

Waisel *et al.* (1996) señalan que el sistema radical en plantas terrestres cumple dos funciones primarias: primero, la adquisición de recursos básicos del suelo (principalmente agua

y iones disueltos); y la segunda, el anclaje o soporte. Otras funciones del sistema radical como almacenamiento, síntesis de reguladores del crecimiento, propagación y dispersión pueden ser vistas como secundarias.

El sistema radical de plantas de banano y plátano ha sido poco estudiado, ya que el proceso de excavar las plantas completas es tedioso y lento (Blomme *et al.*, 2003). La morfología corresponde a un sistema fasciculado y fibroso conformado por raíces primarias, secundarias, terciarias y pelos absorbentes. Las raíces se originan de los nudos del cormo en grupos de tres a cuatro, y surgen mayormente de la parte superior del cormo y su número disminuye hacia su parte inferior.

Las raíces en plantas establecidas a partir de hijos presentan un sistema radical adventicio desde su inicio. Estas tienen normalmente de 5 a 8 mm de espesor y son de color blanco y carnosas al principio; con el tiempo, estas se tornan algo suberosas (Stover y Simmonds, 1987). En cuanto a su consistencia, en edades tempranas son sumamente frágiles, pero con el tiempo se vuelven más resistentes, aun cuando continúan siendo flexibles. Pueden variar en número de acuerdo con el estado de salud de la planta, y en un cormo sano se encuentran entre doscientas y trescientas raíces (Belalcázar *et al.*, 2003).

Draye (2003) señala que se conoce muy poco sobre las raíces laterales y los pelos absorbentes, los cuales contribuyen significativamente a la absorción de agua y nutrimentos. Comparados con los ejes de la raíz de larga vida, estas son estructuras transitorias. La información anatómica muestra que se inician en los ejes de las raíces, siguiendo una secuencia acropétala. Por lo tanto, el mantenimiento de reservas suficientes de raíces laterales y pelos absorbentes depende de la producción continua y del crecimiento de los ejes radiculares.

a. Peso radical

Es el peso del sistema radical de una muestra extraída de una planta y expresado en gramos. Es un término algunas veces usado como sinónimo de *raíz total*. Sin embargo, a pesar de que el sistema radical cumple con las funciones básicas de sostén, absorción de agua y nutrimentos en la planta, se han detectado ciertas limitantes para el desarrollo y la distribución del sistema radical en clones de *Musa*. Dichas limitaciones son básicamente relacionadas con terrenos que no tienen buenas aptitudes para el desarrollo adecuado del cultivo, tales como texturas muy pesadas con altos contenidos de partículas finas como limo y arcilla, lo cual a su vez genera problemas de dificultad en el drenaje superficial e interno y posibles riesgos de compactación (Rodríguez, 2009), y un débil desarrollo radical (Rojas, 2013).

En algunos casos, otro factor limitante resulta de la presencia de mesas de agua colgantes que provocan condiciones de exceso de humedad que afectan la salud radical y, por ende, el peso de las raíces. El cultivo de banano y plátano es muy sensible a dichos excesos, y cuando esta condición persiste por algún tiempo, el rendimiento se ve afectado. La falta de oxígeno o hipoxia para las raíces causa necrosis o muerte, lo que afecta notablemente sus funciones básicas de transporte de agua y nutrimentos hacia las partes aéreas de la planta. Para ello, el manejo de suelos desde el mismo establecimiento de la plantación juega un papel importante (Rodríguez, 2009).

La conformación de red de drenajes en cultivos intensivos es necesaria para evitar los problemas señalados anteriormente. Este método permite eliminar los excesos de agua superficial y mantener por debajo de un nivel determinado la mesa o tabla de agua subsuperficial (Soto, 1992). Del mismo modo, un buen manejo del riego ayuda a mantener los adecuados contenidos de humedad en el suelo, bien sea para el óptimo desarrollo radical, así como también para la adecuada solubilización de los fertilizantes que se apliquen al cultivo (Rodríguez, 2009).

Igualmente, algunas prácticas culturales de disturbación del suelo en la zona inherente al hijo de sucesión en plantaciones de banano se llevan a cabo en sistemas de producción de diferentes zonas del país. Una de ellas es comúnmente llamada Hércules por los productores, y ha dado excelentes resultados para mejorar algunas cualidades del suelo como infiltración, aireación y evitar el sellado superficial producto del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo en zonas con altas precipitaciones anuales. Dicha práctica, a pesar de requerir altos niveles de mano de obra y por ende ser relativamente costosa, ha sido aprovechada por los agricultores para fertilizar e incorporar las fuentes fertilizantes una vez realizada la disturbación del suelo. Luego, se observa el acelerado crecimiento que toma el hijo de sucesión y el mayor vigor o frondosidad. Igualmente, se reportan incrementos en los rendimientos con la ejecución de esta práctica (Rodríguez, 2009).

En síntesis, se destaca que las características del suelo o las condiciones edáficas, junto con el manejo que le dé el productor, afectan en mayor o menor grado el desarrollo de las raíces y por ende el peso radical de la planta. De esta manera, realizar las determinaciones de este indicador, así como parámetros del recurso suelo, permitiría distinguir cuál o cuáles son los factores limitantes del peso radical.

b. Longitud radical:

Todos los órganos que conforman la planta de plátano son importantes y cumplen con una función determinada. Sin embargo, las raíces y las hojas podrían ser considerados como los dos órganos más importantes porque de su comportamiento fisiológico y de su estado fitosanitario dependen la absorción de agua y de elementos nutritivos, así como la actividad fotosintética, procesos estrechamente relacionados con la producción y el rendimiento de un cultivar (Belalcázar *et al.*, 2003).

Un análisis más detenido posiblemente nos lleve a considerar que la raíz sea el órgano más importante de una planta de plátano. Infortunadamente, este no ha recibido la atención que se merece por parte de los investigadores. Al observar la morfología de una raíz, se trata de un sistema fasciculado y fibroso conformado por raíces primarias, secundarias, terciarias y los pelos absorbentes. El color guarda relación con la edad y puede variar de blanco cremoso a pardo amarillento. Así mismo sucede con la consistencia: a edad temprana, la raíz es sumamente frágil, pero con el tiempo se vuelve más resistente y continúa siendo flexible. El grosor y la longitud guardan estrecha relación con la estructura y la textura del suelo. Generalmente, en suelos livianos la raíces son delgadas y pueden alcanzar alrededor de los tres metros de longitud, mientras que en suelos pesados son más gruesas y alcanzan longitudes de alrededor de dos metros (Belalcázar *et al.*, 2003).

c. Diámetro radical:

El diámetro individual de las raíces varía de acuerdo con la especie o grupo taxonómico de plantas. En algunos casos, el diámetro radical puede tomarse como un estimador de la longitud radical de una planta. Las raíces finas cumplen la función de obtener mayor capacidad de exploración del suelo, fundamentalmente para captar agua y nutrimentos. Las raíces gruesas pueden ser necesarias para ser utilizadas como mecanismo de fuerza para penetrar en el suelo hacia horizontes más profundos o romper capas compactas, lo que contribuye a la mejor distribución del sistema radical (Waisel *et al.*, 1996).

d. Volumen radical:

Dentro de las características del sistema radical asociadas con la absorción de nutrientes y agua se ha presentado especial atención a la masa, la longitud, el área, el volumen radical, la densidad radical y la profundidad de enraizamiento (Delgado *et al.*, 2008a). En este sentido, la distribución y el desarrollo radical es de suma

importancia, pues dependen de la superficie de intercambio entre la planta y el suelo; por lo tanto, el volumen de suelo utilizado por la raíz se mantiene en constante cambio como una función del crecimiento y producción de raíces.

1.2.2.2. Vigor de plantas de plátano

El vigor es una expresión integral del comportamiento de las plantas que puede usarse como medida de comparación bajo diferentes condiciones. Este concepto engloba fases de crecimiento y desarrollo de la planta.

Así, la información sobre la morfología del cultivo de plátano se asocia con el rendimiento: un incremento de este se relaciona con el número de hojas. De igual forma, Rodríguez *et al.* (2005) establecieron la relación lineal positiva entre el rendimiento y el número de hojas de la planta madre, e indican que, a medida que aumenta el número de hojas, incrementa proporcionalmente el peso del racimo. No obstante, los rendimientos disminuyen si la fertilidad de los suelos no abastece las necesidades del cultivo.

a. Circunferencia de la planta madre:

El falso tallo o tallo aéreo comienza a partir del tallo subterráneo. Se trata de un rizoma gigante sobre el que se insertan las llamadas bases supuestas de las hojas, que en conjunto forman el pseudotallo. En el caso de cultivar hartón, este es de consistencia fuerte y de color verdoso, aunque en otros clones puede presentarse verde con tonalidades de color vino tinto (Abreu *et al.*, 2007). El grosor y la longitud dependerán del cultivar, de las condiciones agroecológicas del terreno, la distancia de plantación y la nutrición.

b. Altura del hijo de sucesión:

Paralelamente al desarrollo fisiológico de la planta madre, se da el desarrollo del retoño de sucesión (hijo primario). Este deberá

entrar en su fase reproductiva de 2,5 a 3 meses después de la cosecha de la planta madre y estar listo para su cosecha a los 5,5 o 6,0 meses después (Marcelino *et al.*, 2004).

c. Número de manos por racimo:

El cultivar hartón presenta pocas manos por racimo y dedos (plátanos) muy grandes. El número de manos para el cultivar hartón puede ser de ocho manos, y de cinco a seis dedos por mano; para Nava (1997), el número de manos por racimo está entre seis y ocho.

1.2.3. Índice de calidad de suelos

Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante; permite que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible, y posibilita cuantificar, medir y comunicar en forma comprensible (Villareal-Nuñez *et al.*, 2013). Igualmente, se considera un dato estadístico o una medida de una cierta condición, cambio de calidad o cambio de estado de un fenómeno que está siendo evaluado (Villareal, 2010). Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas, o los procesos que ocurren (SQI, 1996).

Para la elección de los indicadores, es imprescindible definir cuáles son los más fiables para cada situación particular. Existen en la actualidad dos posturas acerca de la generalidad de los indicadores: una aboga por la imposibilidad de usar grupos seleccionados de indicadores para cada situación particular, sino que deberían usarse los mismos indicadores para todos los casos con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional; la otra postura sostiene que los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan (Bautista *et al.*, 2004).

a. Indicadores físicos:

Entre las características físicas del suelo que pueden ser utilizadas como indicadores de calidad se encuentran aquellas que se refieren a la forma en que el suelo intercepta, retiene y transfiere el agua; los movimientos de ese líquido en el perfil; las limitaciones que se pueden presentar en el desarrollo de raíces; y la emergencia de plantas. Además, los indicadores físicos están relacionados con el arreglo de las partículas y los poros, y entre estos en particular encontramos la estructura, la densidad aparente, la estabilidad de agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada.

b. Indicadores químicos:

Los indicadores químicos propuestos se refieren a características de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, y la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y los microorganismos (SQI, 1996). Se incluyen en esta categoría mediciones de pH, salinidad, materia orgánica, concentraciones de fósforo, capacidad de intercambio catiónico, ciclo de nutrientes y concentraciones que pueden ser potencialmente contaminantes.

c. Indicadores biológicos:

Los indicadores biológicos propuestos integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de micro y macroorganismos, incluidas bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Se trata de funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996).

Capítulo II

ASPECTOS METODOLÓGICOS: índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo

"*Suelos saludables para una vida saludable.*"

Organización de las Naciones Unidades
para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2015).

En este capítulo se darán a conocer los diferentes métodos y técnicas empleadas para la obtención de la información requerida, lo que es posible gracias al establecimiento de métodos e instrumentos situados dentro de un contexto, que permiten el desarrollo. Para ello, se define el universo o población, la muestra, el diseño de muestreo y el análisis estadístico de los datos; de esta manera, se proporciona información detallada acerca de cómo se realizó la investigación.

En este caso, el presente estudio se enmarca en un enfoque epistemológico empirista inductivo-positivista en el que se analizan, sobre todo, las relaciones causa-efecto y las repeticiones de eventos (De Berrios y Briceño de Goméz, 2009). Para ello, se obtuvieron muestras de suelos en lotes de alto y bajo vigor de plantaciones del plátano; y a estas muestras se les aplicó un tratamiento matemático de los datos recolectados. El estudio es empirista puesto que, a través de la experimentación, se evaluaron características del suelo en los distintos lotes de plantaciones de plátano de cada una de las unidades de producción. Se operaron variaciones en algunos factores climáticos como viento, precipitación, radiación solar, entre otros. Evidentemente, se considera el estudio inductivo porque, a partir de este caso particular, se obtuvieron conclusiones generales o leyes universales que pueden explicar los fenómenos estudiados.

2.1. Población y muestra

De acuerdo con la información suministrada por el Fondo para el Desarrollo Agrario Socialista (Consejo Comunal Bancada de Limones, 2016; Consejo Comunal Caño Negro, 2016; FONDAS, 2014; Replabal, 2016), el eje central de mayor producción de plátano de la zona Sur del Lago está conformado por treinta y cinco unidades de producción, las cuales se encuentran ubicadas en los kilómetros 41 y 35 (sector El Uvito), sector Bancada de Limones, sector Caño Negro, sector Cuatro Bocas, de la parroquia el Moralito del municipio Colón, estado Zulia (figura 1). Por lo tanto,

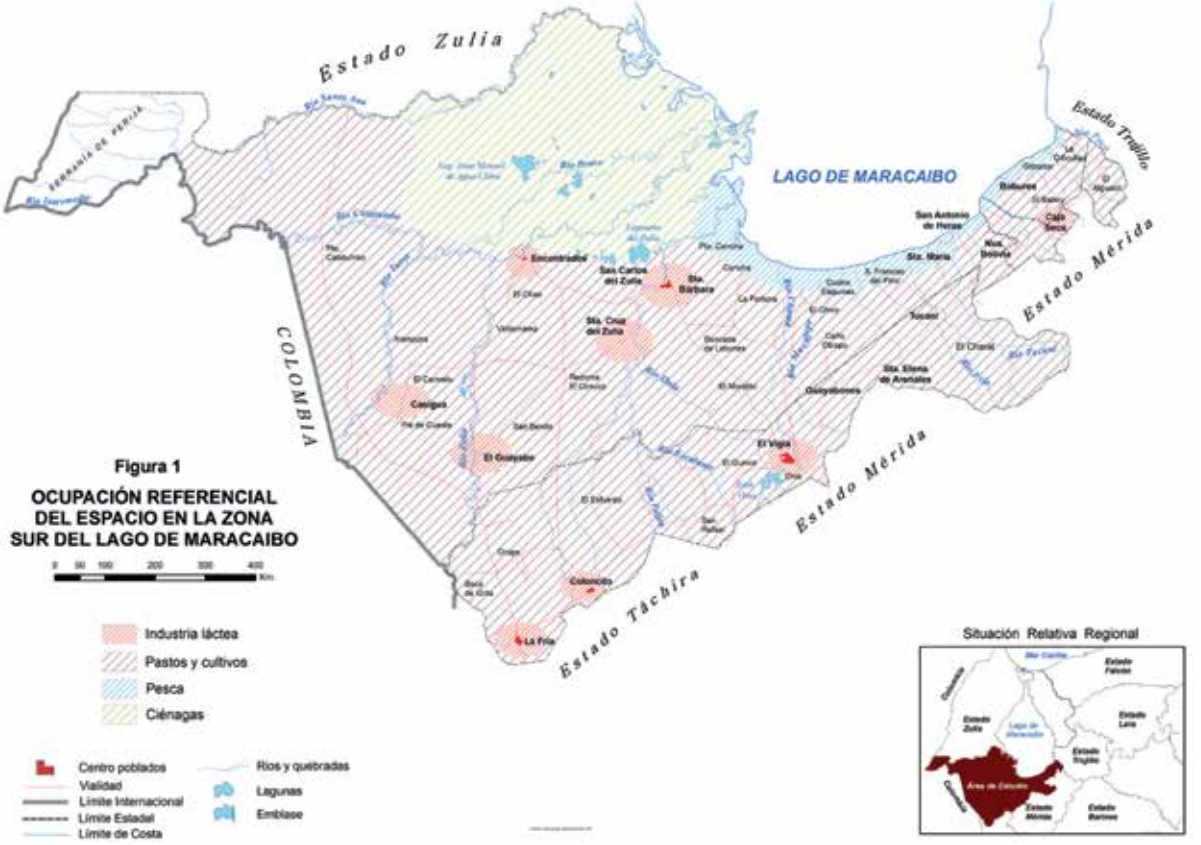


Figura 1.
Ocupación referencial del espacio en la zona Sur del Lago de Maracaibo

Fuente: Zambrano (2011).

la población de este estudio la constituyen esas treinta y cinco unidades de producción antes mencionadas.

Para la selección de la muestra, se utilizó el criterio señalado por Arias (2006), el cual establece que para el caso de investigaciones descriptivas se debe seleccionar entre un 10 % y un 20 % de la población total accesible, ya que este es un porcentaje que permite una adecuada representación de la población. Por lo tanto, en este estudio se seleccionaron siete fincas que representan el 20 % de la población total de fincas ubicadas en la zona con mayor producción de plátano del Sur del Lago de Maracaibo. Se muestra, más arriba, en la figura 1, la ocupación referencial.

2.2. Descripción del área de estudio

La zona de estudio está a una altitud de 8 m sobre el nivel del mar, y cuenta con una precipitación acumulada anual de 1200 a 1500 mm, una temperatura promedio al año de 28°C, y una humedad relativa máxima de 90 % y media de 85 %. Los suelos, según Kijerwski *et al.*, (1976), están clasificados como Typic tropopsamments mixto e isohipertémico de la serie Bancham y Fluventic eutropepts mixto e isohipertémico de la serie Chama; con inclusiones de la serie Chamita. En términos generales, el área se caracteriza por el predominio absoluto de partes planas y algunas ciénagas; en cuanto a paisaje y relieve, se trata de una planicie aluvial baja y llanura aluvial plana, respectivamente. La composición geomorfológica de esta zona presenta un predominio de napas que engloban el 54 % de la superficie total, y es representado por las series Chama, Padre, Raya y Oncha. Estas series presentan la influencia del río Onia. Las demás posiciones están representadas por las cubetas de desborde de la serie Puerto con materiales de los ríos Onia y Escalante, los cuales ocupan el 29 % de la superficie. El 6 % está representado por los brazos colmatados de la serie Bancham y un 10 % de albardones de los brazos activos de la asociación Chama, Padre y Chamita.

2.3. Diseño de muestreo de suelos

El diseño de muestreo fue sistemático dirigido. Se basa en el seguimiento de un patrón geométrico específico en el que las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo. Este diseño es útil para cubrir de forma fácil y uniforme un sitio, de manera que toda la población de muestras está representada en la muestra según patrón asignado, así como también para estimar con precisión zonas críticas, características estadísticas del sitio, patrones espaciales en dos o tres dimensiones y tendencias (Project RLA, 2009).

2.4. Selección de los sitios de muestreo

El proceso de selección de los sitios de muestreo se dividió en dos etapas: la primera consistió en un prediagnóstico que tuvo como finalidad obtener el historial de la finca a partir de entrevistas con los productores, colección de información secundaria y verificación *in situ* de las condiciones de manejo y situación productiva de la finca. El historial se obtuvo a través de un diálogo con el productor, e incluyó temas sobre el manejo agronómico y el comportamiento histórico productivo de la finca, cultivares usados, población o densidad de plantación, producción por hectárea, retornos, entre otros. También se indagó sobre el manejo y la calidad del agua de riego (si existe), programa de fertilización (últimos tres años como mínimo), problemas y prácticas fitosanitarias de la finca (sigatoka, nemátodos, insectos, malezas) y se colectó información disponible como mapas de suelos, riego, drenaje, análisis de suelo y foliares (últimos tres años como mínimo) y datos climatológicos (precipitación y temperatura semanal).

Del mismo modo, las unidades de producción se encontraban cultivadas con el clon de plátano hartón. El manejo cultural, correspondiente al deshoje y deshije, es similar en todas las fincas. La primera práctica se realiza dentro del primer mes

y medio, y de dos a tres meses la segunda. En cuanto al manejo de malezas, la mayor parte de las fincas realiza un control manual (con guadaña), además se aplican herbicidas, ya sean de contacto o sistémico no selectivos en dosis que van de 1 a 2 L/200 L de agua, con una frecuencia de aplicación de cada dos o tres meses. Los insecticidas aplicados entre fincas varían en dosificaciones que van de 500 mL a 1 L por 200 L de agua, de Strongly Lorsban, Lambda y Mercamil cada cuatro, seis o doce meses (tabla 1).

Las aplicaciones de fungicidas se hacen a razón de 1 a 2 L del insumo sintético por cada 200 L de agua, con productos como propizole, carbendazin, timore ó curacarb, a base de propiconazole y benzimidasole. En una de las unidades de producción (La Mano de Dios) se aplicó propizole, timore o curacarb mezclado con 8 L de rocío blanco (aceite); 250 cc de hormovita u hormoplus y 100 cc de BioCrece (estimulante de la floración). El productor de la finca agropecuaria Dos Ríos emplea un producto biológico foliar denominado VenAgro, a base de quitosano, cada tres meses, con una dosis de 2 L/200 L de agua; el productor manifiesta excelentes resultados (tabla 1). Finalmente, los productores encuestados expresaron que los planes de fertilización van en función de la disponibilidad del mercado. Sin embargo, coinciden en la aplicación de forma individual de triple 15-15-15, 10-20-20 y urea, con dosis entre 100, 200 y 300 g/planta, cada tres meses. El triple 18-18-18 es aplicado cada 21 días en dosis de 1 kg/200 L de agua o, mensualmente, 4 kg/200 L de agua.

La segunda etapa consistió en la identificación dentro de la finca de las áreas o sitios de muestreo: unos con plantas de alto vigor (AV) y otros con plantas de bajo vigor (BV), según el criterio del productor. El vigor de las plantas se determinó de acuerdo con los siguientes parámetros: circunferencia de la planta madre (cm), altura del hijo de sucesión (m) y número de manos por racimo.

Tabla 1.
Características del manejo agronómico y hortícola de las unidades de producción de plátano ubicadas en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Características	Unidades de producción					
	SD		SB		SI	
Cultivar	Hartón		Hartón		Hartón	
Prácticas culturales	Deshoje.	Cada 3 semanas	Deshoje	Cada 20-25 días	Deshoje	Cada 22-30 días
	Deshije	Cada 2 meses	Deshije	Cada 6-8 semanas	Deshije	Mensual
	Manejo de malezas	Uso de guadaña: cada 3 meses. Uso de herbicidas	Manejo de malezas	Uso de herbicidas	Manejo de malezas	No utilizan guadaña Uso de herbicidas
Fertilización	Fórmula	Dosis	Fórmula	Dosis	Fórmula	Dosis
	Sulfato de amonio	Cada 3 meses (100 g/planta)	Se aplica individual: Urea Sulfato de amonio	Cada 3 meses: 250 g/planta.	Triple 15-15-15. Urea (hijazón)	Cada 2 meses: 100-150 g/planta. Cada 45 días 150 g/planta
			Triple 15-15-15 o nitrato de amonio	Cada 3 meses: 350 g/planta.		
	Triple 15-15-15		Combinado: urea (saco de 50 kg) cloruro de potasio (saco de 50 kg)	Cada 3 meses (300 g/planta): 2 saco de urea/ 1 de cloruro de potasio.		
	Triple 18-18-18	Cada 21 días (1kg / 200 L de agua)	Cal agrícola.	En períodos de lluvias, anual: 1000 kg/ha		

(*Continúa*)

Características	Unidades de producción					
	SD		SB		SI	
Herbicidas	Gramoxone Doblete 200 Glyfozan	Cada 2 meses: 1 L / 200 L de agua	De acuerdo con la disponibilidad del mercado: gramocil	Cada 3 meses: (2 L / 200 L de agua)	Gramoxone Glyfosan	Mensual: 2 L / 200 L agua
			Glifosan	Cada 3 meses: (2 L/ 200 L de agua)		
			Rondoup	Cada 3 meses: (2 L/ 200 L de agua)		
Insecticidas	Strongly.	Anual: 500 mL / 200 L de agua.	Lorsban	Anual: 1 L / 200 L de agua	Karate	1L / 200 L de agua
Fungicidas	Protectores (propiconazole o benzimidasole)	Cada 21 días 1 L / 200 L de agua	----------		Propizol o carbendazin	Cada 30- 45 días 1-2 L / 200 L de agua
Nematicidas			Carbodan	Cada 6 meses (1 L/ha)	----------	

SD: *Unidad de producción San Diego*; SB: *Unidad de producción San Benito*; SI: *Unidad de producción San Isidro.*

(*Continúa*)

Caracte-rísticas	Unidades de producción							
	PR		AGROP		LMD		EB	
Cultivar	Hartón		Hartón		Hartón		Hartón	
Prácticas culturales	Deshoje	Cada 3 semanas.	Deshoje	Cada 2 meses	Deshoje	Cada 3 semanas	Deshoje	Cada 3 semanas
	Deshije	Cada 2meses.	Deshije	Cada 3 meses	Deshije	Cada 2 meses	Deshije	Cada 2 meses
			Desburre (alto)	Mensual				
	Manejo de malezas	Uso de guadaña: cada 3 meses Uso de herbicidas	Manejo de malezas	En período de lluvia: glifosato cada 4 meses, 1,5 L / 200 L de agua/ha En período de sequía: cada 6 meses, 1,5 L / 200L de agua/ha	Manejo de malezas	No utilizan guadaña Herbicida limpiamaíz: mensual (200 g / 200 L de agua) o hierbato: en sólido: 200 g / 200 L de agua; en líquido, 300 cc / 200 L de agua)	Manejo de malezas	No utilizan guadaña Uso de herbicidas de acuerdo con la disposición del mercado

(*Continúa*)

Caracte-rísticas	Unidades de producción							
	PR		AGROP		LMD		EB	
Fertilización	Fórmula	Dosis	Fórmula	Dosis	Fórmula	Dosis	Fórmula	Dosis
	De acuerdo con la disponibilidad del mercado: 10-20-20. Triple 15-15-15. Sulfato de potasio doble	Cada 3 meses (350 g/planta)	De acuerdo con la disponibilidad del mercado: 18-20-20. 21-21-21 15-15-15	Cada 3 meses: 125 g/planta	15-15-15 ó 10-20-20.	Cada 2 meses: 250 g/planta.	Urea con fósforo; urea con cloruro triple 15-15-15	Cada dos meses y medio: 100- 150 g/ planta
					Urea	150 g/ planta		
			Urea	70 g/planta: sistema en renovación.	Triple 18-18-18.	Mensual: 4kg / 200 L de agua		
	Triple 18-18-18	Mensual: 4kg / 180, 250 o 300 L de agua/vuelo, dependiendo del equipo	20-20-20 (Gromor)	Cada 3 meses 0,5 L/ha.	Calcio boro (líquido).	Mensual: 1,5 L / 200 L de agua		

(*Continúa*)

Caracte-rísticas	Unidades de producción							
	PR		AGROP		LMD		EB	
Herbicidas	De acuerdo con la disponibilidad del mercado: Gramoxone	Cada 3 meses: si la hierba está baja es: 1,5 L / 200 L de agua Si la hierba está alta es: 2L/200L de agua.	En período de lluvia: glifosato En período de sequía: glifosato	Cada 4 meses: 1,5 L / 200 L de agua/ha. Cada 6 meses: 1,5 L / 200 L de agua/ha.	Herbicida limpia maíz	Mensual: 200 g/ planta	Gramoxone, doblete o glifosato	Mensual: 1,5 L / 200 L de agua.
	Hierbatox; Glyfozan o Gramocil	Cada 3 meses: 2 L / 200 L de agua						
Insecticidas	Mercamil	Cada 6 meses: 1 - 2 L / vuelo	————		Mecamil: cada 4 meses: 1 L / 200 L de agua		————	

(*Continúa*)

Caracte-rísticas	Unidades de producción						
	PR		AGROP	LMD		EB	
Fungicidas	Propizole	Mensual: 1 L / 200 L de agua	Biológico foliar: Venagro, a base de quitosano, cada 3 meses, 2 L / 200 L de agua, con bomba de espalda	Se aplican uno de estos productos: Propizole Timore o Curacarb.	Mensual: 1 L / 200 L de agua Mensual: 2 L / 200 L de agua	Benlate Propizol Till	Cada dos meses: 4 kg / 250 L de agua.
				Cualquiera de los productos y el agua, mezclado con 8 L de rocío blanco (aceite); 250 cc de hormovita o hormoplus y 100 cc de BioCrece (estimulante de la floración)		Cualquiera de los productos y el agua, mezclado con 4 L de Abono foliar (Carbovid); 500 cc de hormovita y 200 cc de BioCrece	
Nematicidas		_____	_____	_____		_____	

PR: Unidad de Producción Puerto Rico; AGROP: *Unidad de producción Agropecuaria Dos Ríos*;
LMD: Unidad de producción La Mano de Dios; EB: *Unidad de producción El Bosque.*

Adicionalmente, se tomó el criterio señalado por Rodríguez y Rodríguez (1998), quienes señalan que valores de circunferencia del pseudotallo de la planta madre por encima de 76,36 cm en promedio, y siete manos por racimo, pueden ser consideradas como el arquetipo ideal de la cepa madre de elevada productividad del plátano hartón en Venezuela, así como también de las del retoño. Estos autores también indican que la comparación de estas características biométricas de las plantas madre y su retoño, con las de una plantación cualquiera, permitirían determinar si su potencial productivo es alto, así como también utilizar tales valores como base para el manejo de la plantación, complementar el diagnóstico nutricional del cultivo y determinar su potencial productivo.

Para la selección del tamaño de las fincas, se tomó en cuenta el criterio recomendado por Rosales *et al.* (2008) para el diagnóstico de la calidad y la salud de los suelos cultivados con banano. En este caso aplicado al plátano, los autores plantean que, en las fincas con un tamaño menor a 10 hectáreas, se tome un punto de muestreo de alto vigor y un punto de muestreo de bajo vigor; y, si la finca está dentro del rango de las 10 a las 25 hectáreas, sugieren dos puntos de muestreo por sitio. De esta manera, en las fincas de nuestra investigación se identificaron y seleccionaron dos áreas por cada vigor: unas con plantas de alto vigor y otras con plantas de bajo vigor. En cada área se delimitó una parcela de 1000 m^2. En el caso de no contar con fincas mayores a 10 hectáreas, se delimito una sola parcela de 1000 m^2 en cada sitio de alto y bajo vigor.

2.5. Determinación del vigor de las plantas

Dentro de cada parcela se seleccionaron veinte plantas con racimos próximos a cosecha (tres semanas), para un total de cuarenta plantas por área de alto y bajo vigor, respectivamente. En el caso de no encontrar las veinte plantas dentro de los 1000 m^2,

se seleccionarán plantas vecinas que cumplan los requisitos. Se calculó así la densidad poblacional mediante el conteo total de las plantas dentro de las parcelas de 1000 m^2, y se multiplicó el número de plantas encontradas por 10.

Para evaluar el vigor de las plantas, se procedió a medir los siguientes parámetros: número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo de la planta madre y altura del hijo de sucesión. El número de manos por racimo se obtuvo al contar todas las manos de cada racimo. La circunferencia de la planta madre se evaluó al momento de la floración, y el valor se obtuvo al medir la circunferencia (cm) del pseudotallo desde la base del suelo hasta los 100 cm de altura; se utilizó para ello una cinta métrica. La altura del hijo de sucesión (m) se midió al momento de la cosecha, tomando en cuenta el hijo que se encuentra al frente de la planta madre. Para ello, se procedió a medir desde el nivel del suelo hasta la inserción del pseudopecíolo de la última hoja expandida con la hoja candela figura 2).

2.6. Toma de muestras de suelos

En cada parcela de 1000 m^2 ubicadas en los sitios de alto y bajo vigor se abrieron minicalicatas de 60 cm ancho por 60 cm largo y 60 cm profundidad. Estas minicalicatas se ubicaron en la banda de fertilización de las plantas de plátano recién florecidas (figura 3).

En cada minicalicata se realizó una descripción del perfil del suelo, y se separaron los horizontes genéticos, cuyo espesor depende de las características intrínsecas de cada suelo, y de cómo han actuado los factores y los procesos de formación de suelos. En cada horizonte se procedió a tomar muestras de suelo para la determinación de las características físicas y químicas del suelo seleccionadas para este estudio.

Figura 2.
Determinación de variables de vigor en plantas de plátano. 2a y 2c. Medición de la circunferencia de la planta madre. 2b. Medición de la altura del hijo de sucesión

Para la determinación de las características biológicas, tales como carbono microbiano y respiración basal del suelo, se tomaron nueve submuestras a una profundidad de 10 cm por cada parcela, en los sitios de alto y bajo vigor, y así se conformó una muestra compuesta. Estas muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago (Unesur), en bolsas herméticas selladas para conservar la humedad y la temperatura ambiente. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron tamizadas —se usaron mallas de acero inoxidable de 4 mm de diámetro—, y se determinaron las características biológicas en un lapso no mayor a veinticuatro horas. Este protocolo se implanta con el fin de conservar las características en campo. Paralelamente, se determinó el contenido de humedad de las muestras de suelo con el fin de realizar los cálculos respectivos.

Figura 3.
Toma de muestras de suelos.
3a. Demarcación de minicalicatas de 60 cm ancho X 60 cm largo X 60 cm profundidad, en la banda de fertilización de plantas de plátano recién florecidas.
3b y 3c. Apertura de minicalicatas.
3d. Minicalicata de 60 X 60 X 60 cm,
3d. Minicalicata

2.7. Toma de muestras de raíces

Igualmente, para la evaluación del patrón de distribución y desarrollo de las raíces en plantas recién florecidas en cada lote de producción se aplicaron distintos métodos para determinar, en forma cualitativa y cuantitativa, el patrón de distribución y el desarrollo del sistema radical; así, se tomó en cuenta el método de perfil de pared y el método de cilindro modificado.

En este sentido, el método de perfil de pared consistió en excavar una trinchera paralela a la planta seleccionada —con una dimensión de 1 metro de extensión lateral a cada lado del

Figura 4.
Toma de muestras de raíces en plantas de plátano.
4a. Ilustración de distancias laterales
y profundidades de raíces obtenidas en el estudio.
4b. Profundidad de raíces en plantas de plátano.
4c. Presencia de raíces y demarcación de distancias laterales.
4d. Obtención del cilindro tipo Kopecky (5,08 cm de diámetro
por 5 cm de altura) contenido de suelo
4e. Cilindro tipo Kopecky con suelo

DISTANCIAS LATERALES							PROFUNDIDAD
D4	D3	D2	D1	D2	D3	D4	0 -17 cm
D4	D3	D2	D1	D2	D3	D4	17-47 cm
60-90 cm	30-60 cm	0-30 cm	30 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	

4a

4b

4c

4d

4e

pseudotallo de la planta y una profundidad de 60 cm, o hasta donde se encuentren las raíces—. Posteriormente, con cuidado y usando herramientas mecánicas manuales, se expusieron las raíces en el perfil para dejarlas al descubierto. Consecutivamente, se realizó el método del cilindro modificado; para ello se aprovechó la trinchera del perfil de pared descrito anteriormente, para luego tomar en la cara del perfil cilindros de suelo tipo Kopecky de 5,08 cm de diámetro por 5 cm de altura, con la finalidad de tomar un volumen conocido de suelo y dentro de este las raíces que se puedan encontrar. Se tomaron distancias predefinidas cada 30 cm horizontalmente en ambos sentidos (izquierda y derecha) y la profundidad de acuerdo con el desarrollo del sistema radical (figura 4). De esta manera, las raíces se obtuvieron por medio de toma de muestra de cilindros de suelo: se evaluó peso, longitud, diámetro y volumen radical.

2.8. Metodología para determinar características del suelo y plantas de plátano

Características físicas de los suelos

Las características físicas que se determinaron en la investigación fueron textura, humedad, densidad aparente, resistencia a la penetración e infiltración básica.

Textura

La textura del suelo se determinó de acuerdo con el método del hidrómetro de Gee y Bauder (1986). El procedimiento consistió en pesar 40 gramos (g) de suelo seco tamizado por la malla, con diámetro de hueco menor a 2 mm. Se adicionaron 100 mL de una solución dispersante de hexametafosfato de sodio, se agitó en una licuadora durante treinta (30) minutos y luego se transfirió a un cilindro graduado de un (1) litro, se adicionó agua destilada hasta completar el volumen y se agitó con una varilla de metal durante un (1) minuto para homogenizar la mezcla lo más posible. Después de terminada la agitación, se introdujo el

hidrómetro para realizar la primera medida a los cuarenta (40) segundos. Con este valor se determina la cantidad de arena que contiene la muestra de suelo. Esta misma operación se repitió exactamente a las ocho horas y media para determinar el porcentaje de arcilla del suelo. Por diferencia entre ambas medidas se obtuvo el porcentaje de limo.

Humedad

La humedad gravimétrica (W) se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Gardner (1986). Sobre las mismas muestras de suelo tomadas para la determinación de la densidad aparente se determinó el porcentaje de humedad del suelo. Una vez obtenido el peso de suelo húmedo y de suelo seco se aplicó la siguiente ecuación:

$$W = (\text{Peso de suelo humedo} - \text{Peso de suelo seco}) — \text{Peso de suelo seco} * 100$$

Donde:
W: contenido de humedad del suelo.

Densidad aparente

La densidad aparente se determinó siguiendo la metodología propuesta por Blake y Hartge (1986). En los tres primeros horizontes genéticos del suelo, se tomaron muestras con el uso de los cilindros de Kopecky de 5,08 cm de diámetro por 5 cm de altura, los cuales fueron introducidos en el suelo con la ayuda de un martillo de goma. Una vez tomadas las muestras sin perturbar, se taparon con papel aluminio y se trasladaron al laboratorio de suelos, donde se pesaron y se secaron en una estufa a 105°C por veinticuatro, se dejaron enfriar y se volvieron a pesar (figura 5). La densidad aparente fue calculada de la siguiente manera:

$$\delta = \text{Psh}/\text{V}(1 + \text{W})$$

Donde:

da: Da: Densidad aparente (g.cm-3).

Psh: Peso del cilindro de suelo traído de campo (g).

V: Volumen del cilindro metálico (cm-3).

W: Humedad obtenida de la muestra secada en estufa (fracción adimensional).

Figura 5.
Toma de muestras de suelos para determinación de densidad aparente y humedad.
5a y 5b. Introducción de cilindros Kopecky con la ayuda de un martillo de goma en cada horizonte genético identificado.
5c. Colocación de cilindros Kopecky contenidos de muestras de suelos en una estufa a 105 °C por veinticuatro horas.
5d. Pesaje de cilindros Kopecky con suelo

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración del suelo se evaluó en tres vértices de cada minicalicata mediante el uso de un penetrómetro de profundidad por impacto, el cual consiste en una punta cónica con un ángulo de 25°, un área basal de 0,8 cm y una longitud de 1 cm. A esta punta se anexaron varillas de acero de

Figura 6.
Uso de un penetrómetro de profundidad por impacto.
6a, 6b y 6c. Registro continuo de la cantidad de golpes con que penetra la punta cónica del penetrómetro a distintas profundidades.

50 cm de longitud o más y 0,7 cm de diámetro enroscadas en el extremo superior, con marcas cada 5 cm. Lo anterior permite obtener un registro continuo de la resistencia a la penetración que ofrece el suelo desde su superficie (Nacci y Pla, 1992). Con ello, se permite la exploración de 50 o más centímetros de profundidad con muy poca disturbación del suelo. El impacto se produjo por un mazo de 2 kg que cae libremente desde 50 cm de altura; así se tomaron la cantidad de golpes con que penetra la punta cónica a distintas profundidades (figura 6) y luego se consideró la siguiente fórmula para los respectivos cálculos:

$$R(\text{Kpa}) = (M^2(\text{gm}^2) \times h(\text{cm}) \times n) / \left(20(M + m)(\text{gm}) \times S(\text{cm}^2) \times Z(\text{cm})\right)$$

Donde:

R: Resistencia a la penetración (Kpa).

M: Peso de la pesa (g).

m: Peso del resto del penetrómetro, sin la pesa (g).

h: Altura de la caída de la pesa (cm).

n: Número de golpes.

S: Área de la base de la punta cónica.

Z: Profundidad de la penetración (cm).

Infiltración básica

La infiltración básica en las plantaciones establecidas con plátano se llevó a cabo de acuerdo con el método del doble anillo propuesto por Reynolds *et al.* (2002). Se colocó un juego de dos anillos concéntricos con diámetros de 12 y 16 pulgadas a una profundidad de 10 cm próximos al hijo de sucesión y otro en la entrecalle; ambos anillos estaban cerca de los sitios en los que se realizaron las minicalicatas, y se impusieron con la ayuda de un mazo golpeador y un trozo de madera.

Consecutivamente, en el centro de la cara interna del anillo de menor diámetro se colocó una regla graduada apoyada de un punto por su punto cero (0) en el borde del cilindro. La superficie del suelo al fondo del cilindro fue cubierta con la ayuda de unos plásticos con el fin de evitar el impacto del agua sobre el suelo. Una vez realizado esto, el cilindro se llenó con agua hasta unos 10 cm por debajo del borde superior, teniendo cuidado de que esta no pasara de un cilindro a otro; luego, se sacó cuidadosamente el plástico que protegía el suelo para evitar cualquier tipo de turbulencia (figura 7). Inmediatamente se tomó la lectura (L) al tiempo de inicio de la prueba (tiempo = 0).

Adicionalmente, se llevó un registro de las diferentes lecturas (L) en intervalos de 1, 3, 5, 10, 20 y 30 minutos, para obtener el tiempo parcial (Tp), que es el tiempo expresado en minutos que existe entre una lectura y otra. El tiempo acumulado (Ta) resultó de la sumatoria entre un tiempo parcial y otro, la lectura de la lámina expresada en cm, la lámina parcial, la cual se obtuvo del producto de restar la lectura anterior con la actual (Lp1 (cm) = L0 – L1; Lp2 (cm)= L1 – L2) y la infiltración acumulada, resultante del producto de una lámina parcial y otra. La prueba culminó a las cuatro horas. Para calcular la infiltración instantánea (Kostiakov, 1932, citado por Grassi, 1998), se aplicó la derivada

de infiltración acumulada, obteniéndose mediante una función potencial entre el tiempo acumulado y la infiltración acumulada, y posteriormente se consideró la siguiente ecuación:

$$I = a \cdot t^{bo}$$

Donde:

I: Velocidad de infiltración instantánea en cm/ h.

t: Tiempo de infiltración en min.

a: Coeficiente que representa la velocidad de infiltración a un t= 1.

b: Exponente adimensional, que varía entre 0 y -1.

Igualmente, se evaluó la infiltración básica (Kostiakov, 1932, citado por Grassi, 1998), con la siguiente formula:

$$Ib = a \cdot tb^{b}$$

Donde:

Ib: Infiltración básica.

a: Coeficiente que representa la velocidad de infiltración a un t= 1.

tb: Tiempo básico, que es igual a:

$$tb = 10 * b * 60$$

Donde:

tb: Tiempo básico.

b: Exponente adimensional, que varía entre 0 y -1.

Conductividad hidráulica saturada

Se determinó la conductividad hidráulica saturada del suelo (K) utilizando valores de arena y arcilla de la muestra de este recurso mediante el empleo del *software* Piras para evaluar las características hidráulicas de una muestra de suelo (Orellana, 2016).

Características químicas de los suelos

Las características químicas evaluadas en el estudio fueron pH, conductividad eléctrica, acidez intercambiable, materia orgánica

total, nitrógeno total y disponible, fósforo total y disponible, suma de cationes y porcentaje de saturación de bases (%SB).

Figura 7.
Fases para la determinación de infiltración básica.
7a. Ubicación de anillos entre calles
de lotes de producción de plátano.
7b. Colocación de un juego de dos anillos concéntricos con diámetros
de 12 y 16 pulgadas a una profundidad de 10 cm
próximos al hijo de sucesión y otro entre calle, ambos cercanos
a los sitios donde se realizaron las minicalicatas.
7c. Aplicación de agua hasta unos 10 cm por debajo del borde superior

pH

El pH se determinó en un extracto acuoso con una relación suelo-agua de 1:2,5 por agitación durante dos horas (McLean, 1982). Se utilizó un medidor de pH marca Digital pH Meter, modelo pH-2006.

Conductividad eléctrica

En el mismo extracto que se usó para la medición del pH del suelo, se determinó la conductividad eléctrica empleando un

conductivímetro HANNA, modelo HI 9033, calibrado previamente con una solución de KCL 0,040 mol/L a una temperatura de 25°C.

Materia orgánica total

La determinación de la materia orgánica total de suelo se realizó siguiendo el método de digestión húmeda propuesto por Walkley-Black en 1934, y modificado por Sims y Haby (1971). El procedimiento se basa en la oxidación incompleta del carbono orgánico por medio de una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. Se pesaron 0,5 g de muestra tamizada a 2 mm, se colocaron en una fiola de 125 mL, se le agregaron 2 mL de una solución de dicromato de potasio (1N) y 4 mL de ácido sulfúrico concentrado, y se dejó esa mezcla en reposo toda la noche. Al siguiente día, el contenido de la fiola se trasladó a tubos plásticos con capacidad de 50 mL para que fueran centrifugados durante diez minutos. Consecutivamente, se trasvasaron a balones aforados de 25 mL y se enrasó con agua destilada.

Para realizar la curva de calibración, se preparó una solución de glucosa con una concentración de 50 mg C/ml. De esta solución se tomaron 5, 10, 15 y 20 mL con pipetas graduadas, y se colocaron en balones aforados de 100 mL para obtener patrones con concentraciones de C de 2,5; 5; 7,5 y 10 mg C/mL. Posteriormente, se tomó 1 mL de cada solución patrón, se colocaron en balones aforados de 25 mL y se les hizo el mismo tratamiento descrito anteriormente para las muestras de suelo (figura 8). La absorbancia de los patrones y las muestras se midió en un fotocolorímetro UV-Visible marca Thermo Scientific Serie GENESYS 10uv a una longitud de onda de 600 nm.

La concentración de C (mg C/ g muestra) en cada muestra de suelo se obtuvo a partir de la ecuación de regresión obtenida al graficar los datos de absorbancia de la curva de calibración versus las respectivas concentraciones de C de los patrones. Los resultados fueron calculados de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%\text{COT} = (\text{mg C/g muestra}) * 0{,}2$$

Donde:

%COT: Porcentaje de carbono orgánico total.

0,2: se obtiene de dividir 0,1 entre el peso del suelo usado (0,5 g). El valor de 0,1 resulta de transformar los mg C/g muestra a porcentaje.

El porcentaje de materia orgánica total se obtuvo de la siguiente manera:

$$\%\text{MOT} = 1{,}724 * (\%\text{COT})$$

Donde:

%MO: Porcentaje de materia orgánica total.

1,724: Factor de Van Bemmelen, el cual parte del supuesto de que la materia orgánica del suelo contiene 58 % de CO.

Nitrógeno total

Para la determinación del nitrógeno total se siguió el método de Kjeldahl, el cual comprende la conversión del nitrógeno en amonio (Fleck y Munro, 1965). Se colocaron 200 mg (0,2 g) de muestra tamizada en malla n°. 100, en tubos de digestión aforado a 75 mL, se agregaron 0,2 g del catalizador (tableta): selenio metálico (Se, polvo), sulfato de cobre ($CuSO_25H_2O$) y sulfato de potasio (K_2SO_4). De igual forma, se agregaron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado y se llevaron a un digestor, a una temperatura de 360 °C durante cuatro horas, consecutivamente se dejó enfriar y se agregó agua destilada.

La destilación se realizó llevando el contenido del tubo a un balón Kjeldahl y el tubo se lavó con cuatro porciones de 10 mL de agua destilada vertiendo las aguas de lavado en el balón. Este se colocó en la unidad de destilación y se le agregaron 10 mL hidróxido de sodio (NaOH) al 40 %.

Figura 8.
Secuencia para la determinación de materia orgánica.
8a y 8b. Pesaje 0,5 g de muestra tamizada a 2 mm y colocación en una fiola de 125 mL.
8c y 8d. Aplicación 2 mL de una solución de dicromato de potasio 1N y 4 mL de ácido sulfúrico concentrado.
8e, 8f y 8h. Contenido de la fiola trasladado a tubos plásticos con capacidad de 50 mL y centrifugación durante 10 minutos.
8i. Traslado del contenido a balones aforados de 25 mL y enrasado con agua destilada

En la salida del tubo de condensación se colocó una fiola de 50 mL con una mezcla de 5mL de ácido bórico al 2 %, y el indicador mixto (verde de bromocresol + rojo de metilo). La destilación se efectuó hasta aproximadamente 20 mL de la fiola. El amoniaco obtenido en el extracto se tituló como ácido clorhídrico (HCl) 0,01 N hasta obtener el punto final (violeta pálido) (figura 9).

$$\text{Luego: \% Nitrógeno total} = 0{,}14 \times V$$

Donde:

V: volumen gastado de HCL 0,01 N durante la titulación del amoníaco.

0,14: resulta de multiplicar la normalidad del HCl (0,01) por el peso atómico del N (14).

Nitrógeno amoniacal

Se determinó siguiendo el método propuesto por Keeney y Nelson (1982). Se pesaron 3 g de suelo de malla < 2 mm, se colocaron en tubos de centrífuga de 50 mL de capacidad y se les adicionó 30 mL de KCl 2N; se agitó por 1 hora, se centrifugó a 5000 rpm por 10 minutos y se filtró a través de un papel Whatman N° 42. Los extractos se recogieron en envases plásticos con tapa de rosca y se analizaron inmediatamente.

Amonio

La determinación de amonio se realizó siguiendo la metodología de Anderson e Ingram (1993). Del extracto obtenido con la solución de KCl (2N) se tomó 1 mL de cada muestra y se transfirieron a tubos de ensayo. Luego, a cada tubo se le adicionaron 5 mL de un reactivo preparado con una mezcla de 34 g de salicilato de sodio, 25 g de citrato de sodio, 25 g de tartrato de sodio y 0,12 g de nitroprusiato de sodio en 1 L de agua. Luego de 15 minutos se adicionaron 5 mL de un reactivo alcalino preparado con 30 g de hidróxido de sodio en 750 mL de agua destilada, 10 mL de una solución de hipoclorito de sodio y aforado a un litro con agua destilada.

Figura 9.
Secuencia para la determinación de nitrógeno total.
9a. Pesaje de 0,2 g de muestra tamizada en malla N°100,
y colocadas en tubos de digestión aforado.
9b. Agregación de 3 mL de ácido sulfúrico concentrado y llevados
a un digestor a una temperatura de 360 °C durante cuatro horas.
9c. Unidad de destilación donde se observa de lado izquierdo,
el tubo digestión y del lado derecho, una fiola de 50 mL
con una mezcla de 5mL de ácido bórico al 2 % y el indicador
mixto (verde de bromocresol + rojo de metilo).
9d. Titulación con ácido clorhídrico (HCl) 0,01 N
hasta obtener el punto final (violeta pálido)

Finalmente, luego de mezclar bien las muestras y los reactivos, se dejó desarrollar completamente el color por una hora y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 655 nm. Los patrones se prepararon con una solución de sulfato de amonio con una concentración de 100 µg mL-1 N-NH_4^+. La concentración de N-NH_4^+ de las muestras y los blancos se obtuvieron al graficar su valor de absorbancia contra la concentración de los patrones y restando la media del blanco de la muestra. Luego:

$$N - NH_4^+ (\mu g\ g - 1\ suelo) = C * V/W$$

Donde:
C: concentración (µg mL-1).
V: volumen del extracto (mL).
W: peso de la muestra (g).

Fósforo total

La extracción se realizó mediante el procedimiento de digestión con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), siguiendo el método de Tiessen y Moir (1993). Así, se pesaron 0,25 g de suelo tamizado a través de una malla n°. 100 y se colocaron en tubos de digestión de 100 mL. A cada tubo se le adicionaron 5 mL de agua desmineralizada, se agitaron y se dejaron en reposo una noche. Al siguiente día, se agregaron 5 mL de ácido sulfúrico concentrado (95-97 %) y se agitó nuevamente. Los tubos se colocaron en un bloque digestor previamente calentado a 110 °C, y a intervalos de 30 minutos se aumentó la temperatura a 125 °C, 150 °C, 175 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C hasta alcanzar los 360 °C. Los tubos se dejaron enfriar por treinta minutos, se les añadió 0,5 mL de H_2O_2 al 30 %, se agitaron y se colocaron nuevamente al bloque digestor (a 360 °C) durante 30 minutos.

El fósforo total se determinó colorimétricamente de acuerdo con Murphy y Riley (1962). Para ello, se tomó una alícuota de 5 mL del extracto obtenido en el proceso antes señalado y se

colocó en balones aforados de 50 mL. Se añadieron tres gotas de o-paranitrofenol al 0,1%, y el pH se ajustó adicionando gota a gota una solución acuosa de hidróxido de sodio hasta que el color del indicador se tornó amarillo. Consecutivamente, se adicionó gota a gota una solución acuosa de H_2SO_4 0,5N hasta que la muestra se tornó incolora.

Finalmente, se añadieron 8 mL de reactivo mixto de color, el cual se obtiene al mezclar las siguientes soluciones en un balón aforado de 500 mL: 250 mL de solución acuosa de H_2SO_4 5N, 75 mL de solución acuosa de molibdato de amonio, 50 mL de una solución acuosa de ácido ascórbico y 25 mL de solución acuosa de tartrato de antimonio y potasio. Luego, se aforó a 50 mL con agua desmineralizada y después de los 40 minutos necesarios para el desarrollo del color azul, se midió la absorbancia a 712 nm en un espectrofotómetro de UV.

Los patrones se prepararon en balones aforados de 50 mL en un intervalo de concentración entre 0 y 1 mg/L, partiendo de una solución de P de 100 mg/L. La matriz para los patrones se preparó con una solución acuosa de H_2SO_4 2,4 N. El ajuste del pH y el desarrollo del color se realizaron de la misma forma que las muestras (figura 10). La absorbancia de los patrones se graficó contra la concentración de P (µg mL-1) y a partir de la curva de calibración se calculó la concentración de P de las muestras.

Finalmente, el fósforo total se calculó de la siguiente manera:

$$\text{P total } (\mu g\ g - 1 \text{ suelo}) = [\text{Concentración de P } (\mu g\ mL - 1)(V1 \text{ x } V2)]/(V3 \text{ x } PS)$$

Donde:
V1: volumen del balón aforado usado (50 mL).
V2: volumen del tubo de digestión (100 mL).
V3: volumen de la alícuota usada para determinar la concentración de P (5 mL).
PS: peso seco de la muestra (g).

Figura 10.
Algunas fases para la determinación de fósforo total.
10a. Pesaje de 0,25 g de suelo tamizado a través de una malla n°. 100
10b. Colocación de 5 mL de ácido sulfúrico concentrado (95-97%).
10c. Balones aforados de 50 mL con desarrollo de color para la determinación de fósforo total colorimétricamente

Suma de cationes

Otra propiedad evaluada fue la suma de cationes, que se realizó de la siguiente manera: la muestra de suelo se secó a 45 °C hasta peso constante. Posteriormente, se molió y tamizó utilizando una malla que permitió un tamaño de partícula máximo de 2 mm. Se colocaron 2,5 g de suelo en uno de los recipientes de la bandeja de extracción. Consecutivamente, se agregaron 25 ml de la solución Mehlich 3, se agitaron por cinco minutos, y se filtraron. Al filtrado sin diluir se le determinaron elementos como K, Ca, Mg y Na, en un equipo de absorción atómica modelo perkin Elmer 3110.

Determinación de sodio soluble (método de fotometría de llama)

Para realizar la curva patrón se llevó a cabo lo siguiente: se pesaron 1,9067 g de KCl y 2,5421 g de NaCl, se mezclaron y se disolvieron en agua hasta completar un volumen de 1000 mL. A partir de esta solución madre con concentración de 1000mg/L de Na, se tomaron alícuotas de 0, 1,0, 2,5, 5,0, 10,0 y 15,0 mg/L y se llevaron a 100 mL en balones aforados, obteniéndose soluciones intermedias de 0, 10, 25, 50, 100 y 150 mg/L de Na.

La longitud de onda en el espectro de emisión disponible para el análisis de sodio, en este caso estuvo entre 589,0 y 589,6 mm. Este método se basó en que el Na emite radiaciones características cuando es excitado en una llama, por lo cual, a esas longitudes de onda les ocurre un aumento en la emisión total de radiación cada vez que incrementa la concentración del sodio (Pérez y Gilabert, 1997).

Una vez calibrado el aparato con los patrones de Na, y haber establecido el rango de concentración con el cual se trabajó, se procedió a realizar las lecturas de sodio de las muestras respectivas. Si la concentración de Na es alta, la muestra se diluye tantas veces como sea necesario para que pueda ser leída en el rango de concentración seleccionado para calibrar el equipo.

Igualmente, para conocer la cantidad de sodio, se estimó la siguiente fórmula:

$$\text{Na}\left(^{\text{meq}}/_{\text{L}}\right) = \frac{\text{Lectura en la curva}\left(^{\text{mg}}/_{\text{L}}\right)}{23} \text{ x dilución}$$

23 = peso atómico del sodio.

Porcentaje de saturación de bases

Previo a la determinación de porcentaje de saturación de bases, se determinó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). Se tomaron los valores finales en cmol+/kg de las bases de la muestra analizada por espectrofotometría de absorción

atómica más el aluminio e hidrógeno retenido en las cargas del suelo (Chávez, 2015). En este sentido, la proporción de la CICE que es ocupada por cationes básicos ($Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+}$) se tomó en consideración en la siguiente fórmula para determinar porcentaje de saturación de bases:

$$\%SB = \text{Suma de bases intercambiables/CICE x } 100$$

Características biológicas de los suelos

Para el caso de las características biológicas, en este estudio se evaluaron los fitonemátodos en suelos, los fitonemátodos en raíces, los hongos en suelos, las bacterias, los actinomicetos, el carbono microbiano, la respiración basal del suelo, el cociente microbiano (Cmic/COT) y el cociente metabólico (qCO_2).

Fitonemátodos en suelos

Otro aspecto considerado fue la extracción de nemátodos del suelo. Para ello, se eligieron tres plantas de plátano recién florecidas y que tuvieran un hijo de sucesión de 1,2 a 1,8 m de altura. A 10 cm frente al hijo de sucesión, se realizó una excavación con un palín holandés, de 15 cm de profundidad. Se introdujo el palín de dos a tres veces en el mismo hoyo para obtener aproximadamente 1 kilogramo de suelo por punto de muestreo, el cual se depositó en una bolsa plástica. Todas las muestras fueron debidamente identificadas y transportadas al laboratorio en una hielera.

En condiciones de laboratorio, el suelo a utilizar se cernió. Los nemátodos se extrajeron utilizando el método de elutriador o de levigación de Oostenbrink (figura 11), el cual tiene como principio la separación de partículas pesadas del suelo y restos de raíces mediante la acción física del proceso de levitación. Para ello, se colocó el tubo perforado en la parte inferior del aparato que controló la entrada de agua. Se abrió la llave para permitir el flujo de agua (100 ml/minuto). El tanque del elutriador o levigador debió llenarse de agua hasta el nivel de salida.

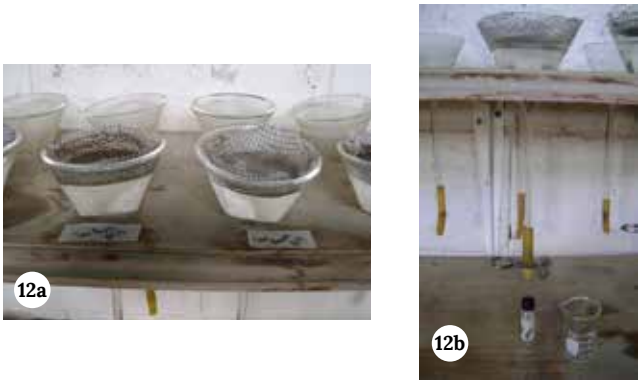
La muestra o submuestra de suelo fue de 100 g. Esta se colocó en el embudo superior y se lavó con una ducha (se usó la mano para lavar y revolver bien la muestra durante el proceso). El lavado se realizó hasta llenar dos terceras partes de la columna del elutriador (nivel 1), momento en el cual se debió cerrar el flujo superior y dejar solo el inferior, reduciéndolo a 600ml/minuto hasta que el elutriador termine de llenarse.

Figura 11.
Elutriador o levigación de Oostenbrink

Cuando el elutriador estuvo casi lleno, se abrió el drenaje lateral de la solución y se vertió sobre un conjunto de cuatro tamices (cribas número 325) colocados en serie frente al dispositivo de salida. Las partículas y los nemátodos retenidos en estos tamices se trasladaron mediante lavado con agua corriente a un vaso de precipitado. Las muestras obtenidas por lo general son muy turbias, por lo que se pueden pasar por un método de limpieza (Jacob y Van Bezooijen, 1971). El método de limpieza utilizado fue el método de embudo de Baermann: se insertaron los trozos

de tubo de goma en los cuellos de los embudos y se cerraron con pinzas, consecutivamente se llenaron los embudos con agua (figura 12). Posteriormente, se colocó un trozo de malla en cada embudo hasta la mitad del cono, luego se sacó un poco de agua por el cuello con el fin de desalojar el aire. De igual manera, se colocó una hoja de papel facial sobre la malla en el embudo y se vertió el contenido del vaso precipitado.

Figura 12.
Método de embudo de Baermann.
12a y 12b. Método de extracción y limpieza de nemátodos en muestras de suelos



Igualmente, se añadió más agua al embudo dejándola correr suavemente por las paredes, hasta que el suelo quedara ligeramente embebido en el agua (aproximadamente 1 cm). Se dejó la muestra por veinticuatro y se agregó agua cada vez que el nivel se separara del suelo. Así, los nemátodos se dirigieron hacia la humedad, atravesaron el papel facial, y cayeron en el cuello del embudo, concentrándose por encima de la pinza. Transcurridas veinticuatro, se extrajeron de 5 a 10 mL de agua en tubos de ensayos y se agregó una porción de formol al 10 %. El formol se calentó a 80 °C y se dispersó en el recipiente contentivo de la suspensión de nemátodos para la muerte y fijación de estos; inmediatamente se tapó la muestra para su posterior identificación.

En este sentido, se realizaron montajes de láminas permanentes por el método rápido de Baker (Jacob y Van Bezooijen, 1971), el cual consiste en colocar el nemátodo (juvenil de segundo estado) en láminas cavadas con una gota de lactofenol, a una temperatura de entre 60 y 70 °C en baño de vapor seco durante tres horas. Con este mismo proceso se pasó de manera consecutiva por cinco soluciones más, cada una durante tres horas (tabla 2).

Tabla 2.
Soluciones utilizadas para el método rápido de Baker

Baker	0	1	2	3	4	5
Lactofenol	100					
Glicerina		55	70	82	90	100
Ácido láctico		15	10	5	2.5	
Cristales de fenol		15	10	5	2.5	
Agua destilada		10	5	5	2.5	
Formalina		5	5	3	2.5	

Fuente: Dropkin (1989).

Luego de que los especímenes fueran pasados por cada una de las soluciones, se procedió a la preparación de láminas permanentes. En una lámina portaobjeto, se colocó un anillo de parafina, el cual se obtuvo de calentar la boca de un tubo de cobre (1,5 cm de diámetro) con la llama de un mechero y que tocara la parafina sólida; luego, sin dejar enfriar, se puso en contacto la boca del tubo con la lámina portaobjeto, dejando así marcado el anillo de parafina. En el centro del anillo, se colocó una gota de glicerina deshidratada y en el centro de la gota el nemátodo. Posteriormente, se ubicó sobre el anillo un cubreobjeto y luego la lámina se pasó sobre el mechero; de esta forma, la parafina se derritió, y la gota de glicerina quedó en el centro. Así, cuando se solidificó nuevamente la parafina, la lámina quedó sellada (Jiménez-Pérez, 2002).

Consecutivamente, con la ayuda de claves, dibujos obtenidos de los trabajos originales y revisiones de géneros se identificaron las especies.

Fitonemátodos en raíces

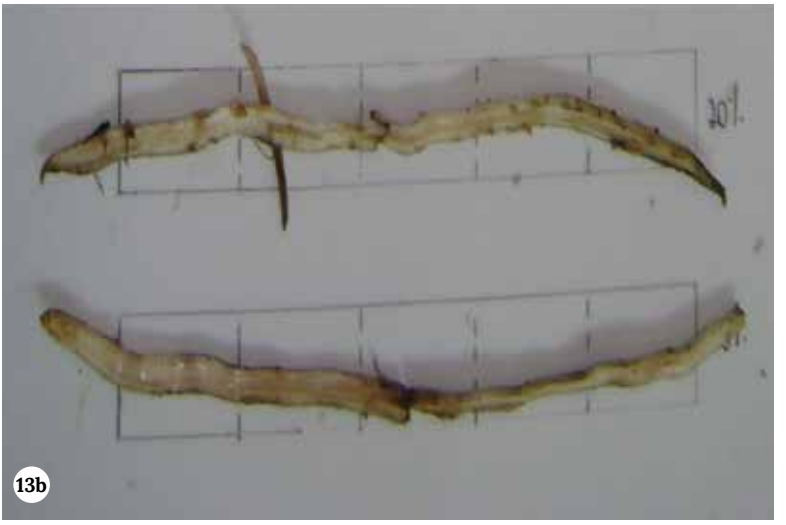
Se seleccionaron tres plantas recién florecidas con hijos de sucesión de 1,2 a 1,8 m de altura. En cada planta, a 10 cm frente al hijo de sucesión, se abrió una minicalicata, con una excavación de 13 cm de largo, 13 cm de ancho y 30 cm de profundidad. Se colectaron las raíces provenientes de la minicalicata en bolsas plásticas bien identificadas.

Las raíces de las tres plantas se mezclaron para conformar una muestra compuesta. Las muestras se almacenaron a una temperatura de 8 a 10 °C. Posteriormente, en condiciones de laboratorio, las raíces se lavaron con agua potable para remover el suelo y los residuos. Seguidamente, con un cuchillo o una tijera, se separaron las raíces funcionales y no funcionales (figura 13). Raíces funcionales son aquellas de color blanco o crema, a veces con coloraciones café rojizo, pero sin tejido necrosado. Raíces no funcionales son aquellas de color negro con tejido necrosado. Luego, las raíces funcionales y no funcionales se pesaron por separado.

Posteriormente, los segmentos de las raíces funcionales (únicamente) se homogenizaron en una bolsa plástica agitando manualmente. De esta bolsa, se tomaron cinco grupos de 4 g de raíces cada uno, hasta obtener un total de 20 g de raíces funcionales. Se colocaron los 20 g de raíces funcionales en la licuadora y se agregó agua potable hasta cubrir las raíces.

Se licuaron las raíces a baja velocidad por veinte segundos, luego se filtró el contenido en un tamiz de 325 mm (lavando inclusive la licuadora dentro del tamiz). De igual forma, se recolectó el contenido del tamiz en un vaso precipitado, y sobre el vaso

Figura 13.
Sitios de muestreos en raíces y selección para la determinación de fitonemátodos.
13a. Selección de los sitios de muestreo y apertura de minicalicata con una excavación de 13 cm de largo, 13 cm de ancho y 30 cm de profundidad, a 10 cm frente al hijo de sucesión.
13b. Separación de raíces funcionales y no funcionales, las primeras tomadas para el licuado y obtención de fitonemátodos en raíces



de precipitado se colocó papel facial y sobre el montaje del papel una malla. Seguidamente, se colocó el vaso con la malla dentro del embudo de Baermann (el cual previamente se encontraba ajustado al torniquete con una pinza y agua de chorro). Así, se dejó en reposo 48 horas. Transcurrido ese tiempo, se recolectó el contenido en un tubo de ensayo y se le agregó una porción de formol al 10 %, igual a la cantidad de suspensión de los nemátodos. El formol se calentó a 80°C y se vertió en el recipiente contentivo de la suspensión de nemátodos, e inmediatamente se tapó la muestra para su posterior identificación.

Para el montaje de láminas permanentes, así como también la fijación de estas con los especímenes para su identificación, se tomó en cuenta la misma metodología anteriormente descrita para fitonemátodos en suelos.

Hongo, bacterias y actinomicetos

Así mismo, para la extracción de estos microorganismos en el suelo se utilizó el mismo procedimiento de extracción de nemátodos. En la determinación e identificación se tomó en cuenta la técnica de los platos de dilución, que consiste en que, a partir de las muestras de suelos recolectadas, se homogeneiza y se separa en dos partes iguales (submuestras). Así, se tomaron bloques de suelo que contenían raíces de plantas y se rompieron tratando en lo posible de no dañar las raíces, las cuales fueron sacudidas suavemente para remover el suelo superficial.

Luego se colocaron 10 g de suelo en una fiola de 250 mL de capacidad que contenía 90 mL de agua destilada estéril (ADE). Consecutivamente, se agitó la suspensión vigorosamente durante diez minutos y, a partir de la solución madre, se procedió a preparar las diluciones decimales seriadas hasta 10^{-5} y 10^{-6} en tubos de ensayos que contenían 9 mL de ADE.

Asimismo, de la suspensión de cada dilución (10^{-5} y 10^{-6}) se tomaron alícuotas de 0,5 mL y se dispersaron con ayuda de la

varilla o rastrillo estéril en platos de Petri que contenían el medio de cultivo papa dextrosa agar reducido (PDA) por triplicado, el PDA reducido contenía: 80 g de papa, 15 g de agar y 5 g dextrosa.

Inmediatamente, se procedió a incubar los platos de Petri con el inóculo dispersado, sellado con cinta de papel adherente, e identificadas a temperatura ambiente (28 – 30 °C) durante cinco días. Transcurrido el tiempo de incubación, se procedió a realizar el contaje y la caracterización de colonias. Para el caso de bacterias y actinomicetos, se realizó entre las 48 y 72 horas; para los hongos, luego de cinco días. Además, se llevó a cabo el aislamiento de las colonias en platos de Petri con PDA reducido. Para la identificación de la especie de *Fusarium* se utilizó la clave de Nelson *et al.* (1983).

Se hicieron observaciones y cuantificación del número de unidades formadoras de colonias (UFC) y clases de microorganismos aislados, identificación y listado de microorganismos aislados.

Carbono microbiano

El carbono asociado con la biomasa microbiana del suelo se determinó mediante la técnica de fumigación-extracción, en la cual se provoca la muerte de la microbiota del suelo con cloroformo y se extrae con una solución de sulfato de potasio (K_2SO_4) 0,5 N (Vance *et al.*, 1987).

Para ello, se pesaron y colocaron en un desecador con tapa para hacer el vacío de 5 g de suelo fresco en vasos precipitados de 25 mL. Dentro del desecador se colocó un vaso precipitado con 30 mL de cloroformo libre de etanol, se hizo el vacío para crear una atmósfera de cloroformo y se dejó en la oscuridad por veinticuatro horas. Para las muestras sin fumigar se siguió el mismo procedimiento antes señalado, pero en lugar de un vaso precipitado con cloroformo se colocó uno con agua destilada.

Consecutivamente, transcurridas las veinticuatro horas, se sacaron los vasos de precipitado de cada desecador, y el suelo contenido allí, y se transfirieron a tubos de centrífuga de 50 mL, se adicionaron 25 mL de una solución de sulfato de potasio (K_2SO_4) 0,5 N, se agitaron por treinta minutos y se centrifugaron a 1500 rpm por 15-20 minutos. El sobrenadante se filtró con papel Whatman n°. 1, se recogió en balones de 25 mL y se aforó con K_2SO_4 0,5 N. Los extractos se transfirieron a envases plásticos con tapa de rosca y se refrigeraron.

Luego, se tomó una alícuota de 4 mL del extracto y se colocó en tubos de digestión de 100 mL a los que se les adicionó 1 mL de solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0,0667 M y 5 mL de H_2SO_4 concentrado. Asimismo, se prepararon dos blancos (frío y caliente) tratados con las mismas cantidades de $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4.

Los tubos con las muestras y un blanco (caliente) se colocaron en un bloque digestor previamente calentado a 150°C por un período de 45 minutos. Los tubos se dejaron enfriar y su contenido se transfirió a fiolas de 100 mL de capacidad. A cada fiola se le agregó 0,3 mL (3-4 gotas) de solución indicadora de ferroína (figura 14). Así, para la determinación del carbono microbiano de las muestras (M), el blanco caliente (BC) y el blanco frío (BF) fueron titulados con una solución estandarizada de sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \bullet 6H_2O$] 0,0333M. El carbono orgánico extraído en las muestras fumigadas y no fumigadas se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$C(\text{mg k}^{-1}\text{ suelo}) = \frac{(A)(\text{N sulfato})(0{,}0033)}{(K)(1000)(1000)/(V)(P)}$$

Donde:

A= ((BC-M) * (BF -BC)) / BF + (BC -M)).

M= solución de sulfato ferroso amoniacal gastada durante la titulación de la muestra (mL).

BC= solución de sulfato ferroso amoniacal consumido durante la titulación del blanco caliente (mL).

Figura 14.
Algunas fases para determinar carbono microbiano.
14a. Pesaje de 5 g de muestra de suelo.14b. Colocación de muestras de suelos en un desecador con tapa para hacer el vacío, en vasos precipitados de 25 mL, dentro del desecador se coloca un vaso precipitado con 30 mL de cloroformo libre de etanol, se hizo el vacío para crear una atmósfera de cloroformo y se deja en la oscuridad por veinticuatro horas. Para las muestras sin fumigar se siguió el mismo procedimiento antes señalado, pero se coloca un vaso precipitado con agua destilada. 14c. y 14d. Transferencia de las muestras de suelos a tubos de centrífuga de 50 mL, se adiciona 25 mL de una solución de sulfato de potasio (K2SO4) 0,5 N, y se agita por 30 minutos; así como también se centrifugan a 1500 rpm por 15-20 minutos. 14e. Filtración del sobrenadante con papel Whatman n°. 1, recogidos en balones de 25 mL y aforados con K2SO4 0,5 N. 14f. Contenido transferido proveniente de tubos de digestión a fiolas, donde se agrega 0,3 mL (3-4 gotas) de solución indicadora de ferroína

BF= solución de sulfato ferroso amoniacal consumido durante la titulación del blanco frío (mL).

N= normalidad del sulfato ferroso amoniacal (0,0333).

V= alícuota del extracto (mL).

0,003= peso de 1 miliequivalente de carbono (g).

K= cantidad de la solución extractante de sulfato de potasio (mL).

P= peso seco de la muestra (g).

De igual manera, la cantidad de C en la biomasa del suelo (Cmic) se calculó de la siguiente manera:

$$Cmic = EC/KEC$$

Donde:

EC= (C orgánico en el extracto de la muestra fumigada) – (C orgánico en el extracto de la muestra no fumigada).

KEC= 0,38. Factor de corrección que representa la fracción extraíble del total del carbono unido a la biomasa microbiana.

Respiración basal del suelo

Para la respiración microbiana o respiración basal del suelo, el análisis se realizó mediante la técnica de incubaciones estáticas. Se analiza la concentración de CO_2 desprendido (producto de la actividad biológica y del contenido de carbono orgánico fácilmente mineralizable presente en el suelo). El CO_2 es capturado en una solución alcalina (NaOH 0,2 N) durante diez días de incubación, bajo condiciones ambientales óptimas (Alef y Nannipieri, 1995). De esta manera, se pesaron 20 g de suelo húmedo sin tamizar, y se colocó esa cantidad en un frasco con capacidad de 500 mL. Consecutivamente, se introdujo un vial con 15 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 0,2N, con el fin de atrapar el CO_2 liberado. Posteriormente, se selló el frasco y se colocó en la oscuridad a una temperatura aproximada de 22 °C.

Figura 15.
Fases para determinar respiración basal del suelo.
15a. Pesaje de 20 g de muestra de suelo húmedo sin tamizar.
15b. Colocación de muestras en un frasco con capacidad de 500 mL e introducción de un vaso plástico con capacidad de 2 oz con 15 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 0,2N.
15c. Frascos de vidrio con contenido de muestras de suelos y un vaso plástico de capacidad de 2 oz con NaOH.
15d. Titulación de la solución del hidróxido de sodio con ácido clorhídrico estandarizado (HCl) 0,1 N.
15e y 15f. Aplicación y uso de fenolftaleína como indicador

Por consiguiente, se tituló la solución de hidróxido de sodio con ácido clorhídrico estandarizado (HCl) 1 N, previa precipitación de los carbonatos con una solución de cloruro de bario ($BaCl_2$) 0,05 N y se usó fenolftaleína como indicador (figura 15). En el

caso de los blancos, se utilizaron recipientes de vidrio solos con trampas de NaOH 0,2N para determinar el contenido de CO_2 del aire. Los cálculos se hicieron con base en el peso del suelo seco y los resultados se expresaron en mg C-CO_2 kg^{-1} 24 h. De la misma forma, se calculó la cantidad de mg de C desprendidos en forma de CO_2 mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mg C} - \text{CO2} = (\text{VB} - \text{VM}) \text{ x NHCI x } 6$$

Donde:

VB= cantidad de ácido clorhídrico gastado para valorar el blanco.

VM= cantidad de ácido clorhídrico gastado para valorar la muestra de suelo.

NHCL= Normalidad del ácido clorhídrico.

6= peso equivalente del carbono.

Cociente microbiano (Cmic/COT) y cociente metabólico (qCO2)

La determinación del cociente microbiano se realizó mediante la relación del carbono de la biomasa microbiana y el carbono orgánico total del suelo (Anderson y Domsch, 1989a). Mientras que para el cociente metabólico (qCO_2) se relacionó la respiración basal del suelo (µg C-CO_2) con la cantidad de biomasa microbiana (mg C-biomasa) por unidad de tiempo (hora) (Anderson y Domsch, 1989a).

Características de las plantas

Para este aspecto, se consideró evaluar el desarrollo radical de las plantas, y se contempló el peso radical, la longitud radical, el diámetro radical y el volumen radical.

Desarrollo radical

Peso radical

Entre los métodos utilizados para evaluar el desarrollo radical están el método de perfil de pared y el método de cilindro

modificado. Se utilizaron cilindros metálicos para extraer el volumen del suelo; este se sometió a un lavado y a un proceso de eliminación. Quedaron, de esta forma, solamente las raíces, las cuales se lavaron y pesaron, tanto frescas como secas. Estas últimas se obtuvieron al ser colocadas en estufa a 60 °C por cuarenta y ocho horas, para obtener, de esta manera, el peso fresco y el peso seco de las raíces, respectivamente. Los pesos se dividieron por el valor del volumen del cilindro utilizado para la toma de muestra y los resultados fueron expresados en densidad de peso fresco radical y densidad de peso seco radical.

$$\mathrm{DPFR} = \frac{\mathrm{PFR}}{\mathrm{VC}}$$

Donde:
DPFR: Densidad de peso fresco radical.
PFR: Peso fresco radical (g).
VC: Volumen del cilindro $(cm)^3$.

$$\mathrm{DPSR} = \frac{\mathrm{PSR}}{\mathrm{VC}}$$

Donde:
DPFR: Densidad de peso seco radical.
PFR: Peso seco radical (g).
VC: Volumen del cilindro $(cm)^3$.

Longitud radical:

Para el caso de la determinación de longitud de raíces, se utilizó el método de intersección modificado por Tennant (1975), el cual plantea el uso de una cuadricula, que en este caso tenía unas dimensiones de 1 cm por 1 cm en cada celda. Se colocaron las raíces frescas sobre la cuadrícula y se contaron el número de intersecciones tanto verticales como horizontales (figura 16). Con esta información se procedió a calcular la longitud de raíces mediante la siguiente fórmula:

$$LR = (11/14)\ x\ NxG$$

Donde:

LR: Longitud de raíces (cm).

N: Número de intersecciones.

G: Factor de tamaño de la cuadrícula (1X1).

11/14: Factor que permite el uso de diferentes unidades de cuadrículas.

Los resultados se expresaron en densidad de longitud radical (DLR), medida que indica los centímetros de longitud de las raíces, el cual contiene un centímetro cúbico de suelo; para ello, el valor de longitud radical se dividió entre el volumen del cilindro utilizado para la toma de las muestras de raíces, tal como lo indica la siguiente expresión:

$$DLR = \frac{LR}{\text{Vol del cilindro } (cm^3)}$$

Figura 16.
Cuadrícula utilizada para medir longitud radical de acuerdo con el método de intersección

Diámetro radical

Este valor se obtuvo a partir del peso fresco radical y la longitud radical, asumiendo que las raíces en cada muestra tienen forma cilíndrica. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$DR = (PFR/3{,}14159 \times LR)^{1/2}$$

Donde:

DR: Diámetro radical (cm).

LR: Longitud radical (cm).

PFR: Peso fresco radical (g).

Volumen radical

Se determinó por medio del principio de desplazamiento del volumen, el cual se basa en la calibración de una bureta con volumen conocido (50 cm^3) y el uso de un cilindro graduado (10 cm^3). En este último se introdujo la muestra de raíces, y se vació el agua destilada contenida en la bureta hasta que el cilindro se llenara (10 cm^3); el agua sobrante en la bureta representa el valor del volumen radical en centímetros cúbicos. Se determinó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$VR(cm^3) = Vb(cm^3) - Vd(cm^3)$$

Donde:

VR: Volumen radical (cm^3).

Vb: Volumen de bureta (50 cm^3).

Vd: Volumen desalojado (añadido al cilindro graduado).

Los resultados fueron expresados en densidad de volumen radical, para ello se dividió el valor de volumen radical entre el volumen del cilindro utilizado para la toma de muestra de raíces.

2.9. Determinación de índice de calidad de suelos

Para desarrollar el índice de calidad de suelo, previo al establecimiento del valor nominal de interpretación del indicador, se construyeron los índices (físicos, químicos, biológicos, de desarrollo radical y de actividad microbiana del suelo) de acuerdo con lo siguiente: los rangos de valores o las condiciones establecidas fueron de diferentes formas para cada indicador. Para algunas características, especialmente para las condiciones óptimas, se tuvieron en cuenta umbrales calculados a partir de los valores de los suelos reportados (Casanova, 2005; CIREN, 2009; Rodríguez, *et al.*, 2011; Sapucky 2007; Youngs, 2000); mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos reportados para suelos dedicados al cultivo de plátano (Abreu, 2007; Casaca, 2005; Draye *et al.*, 2003; González *et al.*, 2011; González *et al.*, 2014; Rodríguez, 2006; Turner, 2003).

En el caso del índice físico (if), se construyó al agrupar los datos de arena, limo y arcilla bajo un instrumento denominado RIA (relación índice de arcilla), densidad aparente y conductividad hidráulica (K) (anexo 1). Según Pérez (1992), las arenas o limos en ausencia de materia orgánica solo pueden formar agregados estables si existen materiales coloidales inorgánicos como la arcilla y los oxihidróxidos de Fe o Al. Por su parte, Evans (1980) señaló que el porcentaje de arcillas necesarias para lograr la estabilización de los agregados está entre 30 % y 35 %. Se considera que una baja proporción de arcilla provoca poca unión de las partículas y, por ello, en una escorrentía existe riesgo de arrastre del suelo, razón por la cual, mientras mayor sea el rango de índice de arcilla, más alta será la probabilidad de la pérdida de suelo (CIREN, 2009). La acción de las partículas del suelo en la fragilidad se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.
Clasificación de la condición de fragilidad según el rango índice arcillas

Rango índice arcilla $(\frac{\%arena+\%limo}{\%arcilla})$	**Clasificación**
0 – 2,31	Baja
2,31 – 5,14	Media
5,14 – 7,44	Alta
>7,44	Muy alta

Fuente: CIREN (2009).

Así, el criterio de valoración para RIA (CONDria) tiene que ver con que los valores mayores a 7,44 tienen valor de 0. En cuanto a los menores a 7,44, el valor es 1. Para el caso de densidad aparente del suelo, los valores entre 1,2 y 1,5 tienen valor de uno (1), y cero (0) los que están fuera de este rango. De igual forma, se señaló que el criterio de valoración de k (CONDk) fue que valores menores a 3 tienen una ponderación de uno (1); y mayores a este, de cero (0).

El índice químico (iq) se construyó al concentrar los datos de pH del suelo, la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica (MO), el nitrógeno total (NT), el amonio (AMON), el fósforo total (PT), la suma de cationes (SC), la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y la saturación de bases (SB) (anexo 2). Así, para el pH, el criterio de valoración (CONDpH) se relaciona con los valores entre 5 y 7,2, los cuales tenían un valor de uno (1); y cero (0) los que están fuera de este rango. En cuanto al criterio de valoración de CE (CONDce), se indicó que valores entre 0 y 0,3 tienen valor de uno (1) y los que se encuentran fuera de este rango, de cero (0). Para MO, el criterio de valoración (CONDmo) tiene que ver con que los valores menores a 2 tienen valor de cero (0) y los mayores a dos, valor de uno (1).

El criterio de valoración para NT (CONDnt) se ubicó entre valores de 0,1 y 0,15, que tiene valor de uno (1), y cero (0) los que están fuera de este rango. Para AMON (CONDamon), los valores menores a 100 tienen ponderación de cero (0), y los mayores, uno (1). Con respecto al PT el criterio de valoración (CONDpt), se tomó en cuenta que valores mayores a 15 tienen ponderación de uno (1), y cero (0) los menores a 15.

Igualmente, los valores que se consideraron para el criterio de valoración de SC (CONDsc) fueron datos mayores a 23,9, que tienen ponderación de uno (1) y los menores de cero (0). El criterio de valoración para CICE (CONDcice), fue que valores mayores a 15 tienen ponderación de uno (1) y los menores de cero (0). Y, finalmente para el caso de SB, el criterio (CONDsb) se estimó que valores mayores a 60 tienen ponderación de uno (1) y, los menores, de cero (0).

Por su parte, para el índice biológico (Ib), se incluyeron los datos de población total de nemátodos en suelos, UFC de hongos, bacterias y actinomicetos en suelos (anexo 3). Para el criterio de valoración o condición de la población total de nemátodos en suelos (CONDPtNS), se tuvo en cuenta que las poblaciones con individuos mayores a 100 tenían cero (0), y por debajo de este, uno (1). Adicionalmente, las UFC de hongos ubicados entre 1 y 5 tienen un valor de cero (0), y los mayores a 5 tienen uno (1). En cuanto a bacterias, los datos por encima de 5 tienen uno, (1) y por debajo de este, cero (0). Para actinomicetos, se consideró que valores entre 0 y 1 tienen valor de cero (0), y los mayores a 1, uno (1) (Alvares, 2009; Navas *et al.*, 2003).

Para la actividad microbiana del suelo se tomaron en consideración las características de carbono microbiano, la respiración basal del suelo, el cociente microbiano (Cmic/COT) y el cociente metabólico (qCO_2) (anexo 4). Así, para el carbono microbiano, los datos ubicados entre 1 y 9 se consideran como criterio de valoración (CondCM) cero (0), y de 9 en adelante,

uno (1). El criterio de valoración para respiración basal del suelo (CondRB) es que los valores ubicados entre 0,1 y 0,7 tienen valor de uno (1), y los mayores a 0,7 valor de cero (0). Para cociente microbiano (Cmic/COT) los valores ubicados entre 0 y 4, se consideró como condición o criterio de valoración cero (0), y de 5 o mayores de 5, como uno (1). Asimismo, la condición para unificar valores respecto a cociente metabólico (qCO_2) fue que valores entre 0,01 y 0,15 tendrían un valor de cero (0) y mayores a 0,15 valor de uno (1).

De igual forma, para la construcción del índice de desarrollo radical, se agruparon los valores de peso seco radical (PSR), longitud radical (LR), densidad de longitud radical (DLR), diámetro radical (DR) y volumen radical (VR) (anexo 5).

En cuanto al PSR, el criterio de valoración (CONpsr) fue que valores mayores de 0,39 tienen ponderación de uno (1), y los menores, de cero (0). Para la LR, el criterio (CONDlr), se señaló que los datos mayores a 10,5 tenían una ponderación de uno (1) y los menores de cero (0); el criterio de valoración (CONDdlr) utilizado para DLR era que valores mayores a 1 tendrán ponderación de uno (1) y los menores ponderación de cero (0).

Adicionalmente, los criterios de valoración para DR, se ubican entre valores de 4 y 10, para una ponderación de uno (1) y los que están fuera de este rango de cero (0). En el caso de VR, el criterio de valoración (CONDvr) fue que valores menores a 2,52 tendrán una ponderación de cero (0), y los mayores de uno (1).

Para construir el índice respectivo por cada grupo de parámetros o características del suelo (físico, químico, biológico, actividad microbiana del suelo, desarrollo radical), el procedimiento que se utilizó fue el aritmético, que consiste en sumar los valores de los parámetros y dividirlo entre el número de parámetros (características de los suelos y de las plantas). Este procedimiento permite construir un índice por cada unidad de producción y horizonte.

Índice = ∑ parámetros escalares / número de parámetros

La generación del indicador de calidad de suelo se realizó mediante el procedimiento aritmético de adición. Como en cada índice (físico, químico, biológico, actividad microbiana, desarrollo radical) su valor escalar máximo es uno (1), y dado que el índice aritmético de calidad de suelos cultivado con plátano (IACSCP) estará compuesto por un total de cinco índices, la suma total máxima será de cinco (5), y la mínima de cero (0).

Una vez obtenido el IACSCP mediante la utilización de la estadística descriptiva, se procedió a generar las escalas de valoración entre cero (0) y cinco (5), para lo cual se consideraron los siguientes criterios: valor mínimo, valor medio, moda y rango. En este sentido, se tomó en consideración como valor mínimo de ajuste para condición *muy baja calidad del suelo*: 2,1 – 0,89 = <1,21; valor de ajuste para la condición *baja calidad del suelo*: 1,22 – 2,44; valor de ajuste para la condición *moderada calidad del suelo*: 2,45 – 3,65; y valor de ajuste para la condición *alta calidad del suelo*: > 3,66.

Obtenida la CondICSCP (modelo determinista), se procedió a realizar el análisis de regresión múltiple entre CondICSCP y los IACSCP por cada punto; de esta manera fue posible establecer el modelo predictivo y su valor de determinación R^2. Igualmente, se realizó el análisis de correlación de Pearson y de componentes principales entre los parámetros del suelo y la CondICSCP.

2.10. Análisis estadístico

Una vez obtenidos los resultados de campo y laboratorio, se procedió a realizar un análisis estadístico univariado de las características físicas, químicas, biológicas y desarrollo radical, mediante el cual se determinaron parámetros estadísticos comunes: la media y el error estándar, así como también se realizó la comparación de medias con la prueba de Tukey, con el uso de una probabilidad de <0,05 % a través del programa Statistix

versión 8,0. Además, se realizó un análisis correlacional lineal de Pearson entre las variables biométricas y las características físicas, químicas y biológicas del suelo, y el desarrollo radical de plantas de plátano. El análisis estadístico univariado se ejecutó principalmente con la finalidad de apreciar las tendencias de las características de los suelos y el desarrollo radical de las plantas en relación con los lotes de vigor de plantas de plátano.

Las características físicas, químicas y biológicas de los suelos y el desarrollo radical de las plantaciones de plátano que se determinaron conformaron la base para construir un índice de calidad de los suelos cultivados de plátano. Se emplearon métodos estadísticos como el método aritmético (suma de índices), la regresión múltiple (con el objetivo de generar el modelo o índice de calidad) y el análisis de componentes principales, con la finalidad de establecer cuáles de las características del suelo influyen más en su calidad.

Se elaboraron cuadros y dendogramas para presentar los resultados. También se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con las variables físicas, químicas y biológicas del suelo analizadas con el fin de separar claramente los sitios de acuerdo con las características físicas, químicas y biológicas de los suelos y, además, reducir la matriz de datos originales, se generó un grupo de nuevas variables (componentes principales) que concentraron el máximo de la variabilidad que podían presentar los suelos.

Capítulo III.

RESULTADOS Y DISCUSIONES: índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur de Lago de Maracaibo

"*El cuidado del Planeta empieza en el Suelo.*"

Alianza Mundial por el Suelo y Organización de las Naciones Unidades para la Agricultura y Alimentación. (AMS y FAO, 2017).

3.1. Determinación de vigor de plantas de plátano de diferentes fincas ubicadas en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

En la tabla 4 se puede observar que el número de manos por racimo, la circunferencia de la planta madre (cm) y la altura del hijo de sucesión (m), fueron significativamente ($p<0,05$) más altos en lotes de plantas de plátano de alto vigor (AV) con respecto a los de bajo vigor (BV). Asimismo, al realizar la estimación de la densidad de plantas por hectáreas se refleja una tendencia mayor en lotes de alta producción.

Tabla 4.
Vigor de plantas de plátano en fincas del Sur del Lago de Maracaibo

	Parámetros biométricos de plantas de plátano			
Vigor de plantas	**Número de manos por racimo**	**Circunferencia de la planta madre (cm)**	**Altura del hijo de sucesión (m)**	**Densidad poblacional (plantas/ha)**
AV	*7,50±0,97[a]	66,86±8,29[a]	2,56±0,53[a]	3140
BV	4,96±0,89[b]	59,44± 9,16[b]	2,03±0,48[b]	2595
Proba-bilidad	<0,05	<0,05	<0,05	

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas ($p<0,05$) según prueba Tukey entre lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor.* AV: *Plantas de plátano de alto vigor*; BV: *Plantas de plátano de bajo vigor.*

Resultados similares fueron encontrados por González-Pedraza *et al.* (2021) en una finca con características de suelos relativamente similares cultivada con plátano hartón, ubicada en el municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia. Los lotes de alto vigor presentaron mayor número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo de la planta madre y altura del hijo de sucesión, que los lotes de bajo vigor.

Tabla 5.
Diferencias en algunas características físicas de los suelos entre horizontes genéticos en lotes de plantas de plátano de alto vigor ubicados en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Características físicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto vigor						
Horizontes	**Arcilla (%)**	**Limo (%)**	**Arena (%)**	**Densidad aparente ($g.cm^3$)**	**Humedad (%)**	**Conductividad hidráulica saturada (K) (cm/h^{-1})**
1	*6,56±1,29^{a}	77,81±16,66^{a}	15,62±16,94^{a}	1,27±0,10^{a}	21,48±8,41^{a}	3,99±0,44^{a}
2	3,75±1,33^{b}	81,25±16,20^{a}	15,00±15,64^{a}	1,33±0,11^{a}	20,52±9,13^{a}	3,96±0,42^{a}
3	4,06± 2,65^{bc}	73,56± 20,59^{a}	22,37±21,80^{a}	1,34± 0,12^{a}	18,34±7,00^{a}	4,14±0,55^{a}
Probabilidad	<0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Tukey entre horizontes para lotes de plantas de plátano de alto vigor. 1: Primer horizonte genético de suelo (0–17 cm), 2: Segundo horizonte genético de suelo subsuperficial (de 17 a 47 cm), 3: Tercer horizonte genético (de 47 a 60 cm).*

Por su parte, Hernández *et al.* (2007), en una zona de El Paraíso, municipio Colón, en el Sur del Lago de Maracaibo, no encontraron diferencias estadísticamente significativas en el número de manos por racimo, en suelos franco-limoso a franco-arcillo-limoso, con pH de 7,7 a 7,1. Estos autores señalan que, en los estudios de respuestas de fertilización en plátano, el número de manos y dedos por mano son variables poco afectadas por tratamientos de fertilización.

Los valores promedio para la circunferencia de la planta madre (cm) son relativamente altos, en comparación con los datos reportados (55,9 cm) por Delgado *et al.*, (2008b) en un trabajo realizado en los llanos centrales bajo condiciones de suelo y clima muy similares a las de este estudio, en plantaciones de plátano (*Musa* AAB cv. subgrupo plátano hartón) con densidades de siembra de 1111 plantas/ha.

No obstante, Rodríguez y Rodríguez (1998) presentaron datos relacionados con la biometría de la cepa de plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. hartón) en la planicie del río Chama, depresión del lago de Maracaibo, y encontraron que el perímetro promedio del pseudotallo de la planta madre fue de 76,36 cm. Estos autores recomiendan utilizar este valor como base para evaluar el manejo de la plantación, complementar el diagnóstico nutricional del cultivo y determinar su potencial productivo, en el área estudiada. Adicionalmente, Belalcázar (1995) reportó una circunferencia promedio del pseudotallo de 49 cm para plantaciones de plátano con densidades de siembra de 1666 plantas/ha en una región platanera de los Llanos colombianos.

3.2. Características físicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

En la tabla 5 se observan las características físicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto vigor (AV). En ella, se puede

Tabla 6.
Diferencias en algunas características físicas de los suelos entre horizontes genéticos en lotes de plantas de plátano de bajo vigor ubicados en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Características físicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de bajo vigor						
Horizontes	**Arcilla (%)**	**Limo (%)**	**Arena (%)**	**Densidad aparente ($g.cm^3$)**	**Humedad (%)**	**Conductividad hidráulica saturada (K) (cm/h^{-1})**
1	*4,38±2,22[a]	68,13±22,15[a]	27,50±21,04[a]	1,33±0,06[a]	15,33±5,39[a]	3,87±0,45[a]
2	5,00±2,67[a]	66,25±28,72[a]	28,75±27,03[a]	1,34±0,13[a]	15,52±7,96[a]	3,88±0,59[a]
3	5,00±2,67[a]	56,25±35,22[a]	38,75±33,88[a]	1,30±0,11[a]	15,54±7,85[a]	4,23±1,00[a]
Probabilidad	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas ($p<0,05$) según prueba Tukey entre horizontes para lotes de plantas de plátano de bajo vigor. 1: primer horizonte genético de suelo (0-20 cm), 2: segundo horizonte genético de suelo subsuperficial (de 20 a 42 cm), 3: tercer horizonte genético (de 42 a 60 cm).*

apreciar que los contenidos de arcilla fueron significativamente más altos en el primer horizonte en comparación con el segundo y tercer horizonte. Con respecto a los porcentajes de limo y arena, densidad aparente y porcentaje de humedad del suelo, no se observaron diferencias estadísticas entre los horizontes genéticos estudiados.

En los lotes de plantas de plátano de bajo vigor (BV) no se observaron diferencias estadísticas en cuanto a los porcentajes de arcilla, limo y arena, densidad aparente, porcentaje de humedad y conductividad hidráulica saturada entre los horizontes de suelo estudiados (tabla 6).

Al comparar entre lotes de plantas por horizonte, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para las características físicas del primero, segundo y tercer horizonte, con excepción del porcentaje de arcilla, el cual resultó mayor en AV con respecto a BV para el primer horizonte de suelo (tabla 7). Así, en relación con la granulometría de los suelos, en forma general las texturas varían entre franco-limoso y limoso.

En líneas generales, se observó mayor porcentaje de limo y contenido de humedad en suelos de lotes de plantas AV con respecto a BV. Por su parte, el porcentaje de arena tendió a ser más alto en BV, lo cual probablemente incidió en el menor porcentaje de humedad encontrado en esos lotes.

En una zona cercana al área objeto de estudio, González-García *et al.* (2021a) encontraron que el contenido de humedad y el porcentaje de limo fueron significativamente más bajos ($p< 0,05$) en los lotes de bajo vigor, mientras que el porcentaje de arena resultó más alto en los lotes de plantas de bajo vigor. En este estudio, aun cuando no se observaron diferencias estadísticas en el porcentaje de limo entre los horizontes de un mismo lote, ya sea de alto o bajo vigor, fueron aún mayores a los reportados por González-García *et al.* (2021b).

Tabla 7.
Diferencias en algunas características físicas entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético de suelo en el Sur del Lago de Maracaibo

Características físicas en los tres horizontes de suelo								
Vigor de plantas	**Horizonte**	**Arcilla (%)**	**Limo (%)**	**Arena (%)**	**Grupo textural**	**Densidad aparente ($g.cm^3$)**	**Humedad (%)**	**Conductividad hidráulica saturada (K) (cm/h^{-1})**
AV	1	*6,56±1,29[a]	77,81±16,66[a]	15,62±16,94[a]	FL	1,27± 0,10[a]	21,48±8,41[a]	3,99±0,44[a]
BV		4,38±2,22[b]	68,13±22,15[a]	27,50±21,04[a]	FL	1,33±0,06[a]	15,33±5,39[a]	3,87±0,45[a]
AV	2	3,75±1,33[a]	81,25± 16,20[a]	15,00±15,64[a]	L	1,33±0,11[a]	20,52±9,13[a]	3,96±0,42[a]
BV		5,00±2,67[a]	66,25± 28,72[a]	28,75±27,03[a]	FL	1,34±0,13[a]	15,52±7,96[a]	3,88±0,59[a]
AV	3	4,06±2,65[a]	73,56±20,59[a]	22,37±21,80[a]	FL	1,34±0,12[a]	18,34±7,00[a]	4,14±0,55[a]
BV		5,00± 2,67[a]	56,25±35,22[a]	38,75±33,88[a]	FL	1,30±0,11[a]	15,54±7,85[a]	4,23±1,00[a]

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas ($p<0,05$) según prueba Tukey entre lotes de plantas de plátano para cada horizonte de suelo. AV: Alto vigor, BV: Bajo vigor, FL: Franco limoso y L: Limoso.*

En relación con la textura, se debe señalar que estos son suelos de origen aluvial formados por la deposición de sedimentos provenientes de la Cordillera de los Andes, por lo que predominan las texturas medias, especialmente el limo (MARNR, 1978). Por su parte, los valores de densidad aparente se encuentran dentro de los rangos mínimos establecidos como ideales según la textura del suelo (Sélles van Shouwen *et al.*, 2012).

Para la variable de humedad, los contenidos porcentuales expresados son menores, tanto en los horizontes genéticos estudiados y en cada lote de plantas (AV y BV) con respecto a los señalados por González-García *et al.* (2021b), aspecto que podría ser asociado con los contenidos de arena encontrados en los lotes objeto de la investigación. Adicionalmente, los valores de conductividad hidráulica saturada (k), fueron mayores a los señalados por Rojas (2013), quien obtuvo los datos 0,53 y 1,75 cm/h en el sector central y occidental de una finca de banano en el departamento de Antioquia al noroccidente de Colombia. El autor menciona que, aunque no es el rango óptimo para el cultivo de banano, es el mejor en toda la finca. Por su parte, Sapucky (2007) estimó valores medios a altos de conductividad hidráulica saturada (>1 cm/h)

Para Rodríguez *et al.*, (2011) entre las limitantes, desde el punto de vista físico, estuvieron los menores valores de conductividad hidráulica saturada en el lote de baja producción de banano con 3,936 cm/h^{-1} a una profundidad de 0 - 17 cm y 0,422 cm/h^{-1} de 17 - 41 cm. Los mismos autores obtuvieron una conductividad hidráulica saturada de 6,431 cm/h^{-1} y 1,518 cm/h^{-1} en las dos profundidades estudiadas.

Resistencia a la penetración

En la tabla 8 se presentan los valores promedios de resistencia a la penetración (Kpa) a intervalos de 5 cm hasta 45 cm de profundidad en suelos de lotes de plantas de plátano AV y BV. De acuerdo con los resultados, no se observaron diferencias

Tabla 8.
Resistencia a la penetración (Kpa) de los suelos cultivados con plantas de plátano de alto y bajo vigor en el Sur del Lago de Maracaibo a diferentes profundidades

Vigor de plantas	Profundidad (cm) 0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	
AV	*1400,06[a]	1925,09±581,69[a]	2275,11±632,92[a]	2975,14±964,12[a]	3266,83±1028,53[a]	3325,16±1181,63[a]	4025,20±1474,48[a]	4316,88±1552,85[a]	4725,23±1736,14[a]	
BV	1400,06[a]	1633,41±432,07[a]	2216,77±598,17[a]	2683,46±648,10[a]	2975,14±824,99[a]	3325,16±1099,80[a]	3733,51±1028,53[a]	4025,20±1194,72[a]	4258,54±1258,14[a]	
Probabilidad	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	

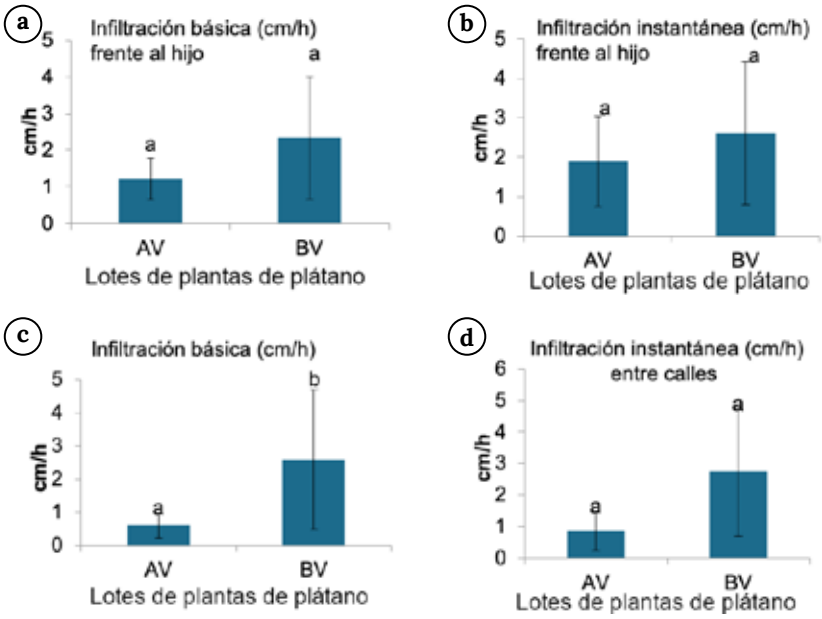
**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Tukey entre lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor. AV: Plantas de plátano de alto vigor; BV: Plantas de plátano de bajo vigor.*

estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre AV y BV en cada una de las profundidades. Sin embargo, se puede apreciar un ligero aumento de la resistencia a la penetración conforme aumenta la profundidad del suelo. El valor de resistencia a la penetración para la profundidad de 0 - 5 cm no presenta desviación estándar debido a que, en el cálculo de la resistencia, el número de golpes obtenido en esta profundidad para cada lote de producción y en cada finca estudiada fueron los mismos.

Los resultados mostrados para resistencia a la penetración de cada una de las profundidades son mayores a los señalados por Vaquero (2005) en capas de suelo de 25 cm de profundidad. De igual manera, según la categorización de la resistencia a la penetración mostrada por Sélles van Shouwen *et al.* (2012), los valores obtenidos en la presente investigación van de moderada a alta resistencia a la penetración, factor asociado con los contenidos porcentuales de limo. Esto trae como consecuencia una disminución en el crecimiento de las raíces pues aumenta la resistencia del suelo a la penetración en la mayoría de los cultivos, y puede llegar a detenerse completamente con valores cercanos a 3 Mpa (3000 Kpa). Este hecho se ha observado en la investigación: la presencia abundante de raíces en la mayoría de los perfiles de cada unidad de producción se concentró en los primeros 20 cm de profundidad.

Por su parte, Núñez *et al.* (2010) observaron que las primeras capas de suelo de 10 a 30 cm de profundidad ejercieron poca resistencia a la acción del penetrómetro con un valor menor de 2 Mpa (2000 Kpa) debido a que estos suelos fueron preparados para la siembra de plátano. Sin embargo, a partir de los 30 cm observaron una ligera tendencia a que aumentara el nivel de compactación hasta alcanzar valores mayores de 5 Mpa (5000 Kpa). El alto nivel de compactación fue asociado con una deficiente preparación de los suelos para la siembra de este cultivo, y esos autores sugieren preparar los suelos a una profundidad de 40cm para la obtención de buenos resultados.

Figura 17. Infiltración básica e infiltración instantánea en lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor a) y b) frente al hijo de sucesión y, c) y d) entre calles



Nota:Columnas ± barras de desviación estándar acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). AV: Lotes de plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

Infiltración básica e instantánea

En cuanto a esta variable, no se observaron diferencias significativas en la infiltración básica e instantánea frente al hijo de sucesión entre lotes AV y BV. Sin embargo, es de hacer notar que los lotes BV presentaron valores más altos de estas variables que los lotes AV (figura 17).

Por su parte, el valor promedio de infiltración básica entre calles resultó estadísticamente mayor en BV (2,59 cm/h) con respecto a AV; mientras que la infiltración instantánea entre calles no presentó diferencias entre lotes de plantas. Al igual que lo ocurrido para la medición de la infiltración instantánea frente

al hijo de sucesión, esta variable presentó una tendencia a ser más alta en los lotes BV.

La velocidad de infiltración básica e instantánea de lotes AV frente al hijo de sucesión y entre calles es moderadamente lenta y moderada en lotes BV (Florentino, 1999).

La infiltración básica es una de las características físicas más completas que se determinan en suelos dedicados al cultivo del banano y plátano, y puede ser afectada por otras variables como la textura, la densidad aparente, la porosidad, la estructura y la retención de humedad. Conocer la capacidad de infiltración de un suelo ayuda a determinar, de manera indirecta, por una parte, la cantidad de agua que se pierde por escorrentía y, además, el agua en los horizontes del suelo, que es susceptible de ser aprovechada por las raíces de las plantas (Sepúlveda, 1999).

Villareal (2010) observó resultados similares: en los sitios muy cercanos entre lotes de producción de una misma finca, había suelos con velocidad de infiltración básica muy baja y otros de mediana a alta. El autor señala que la velocidad de infiltración básica demasiado baja en áreas de producción podría indicar mal drenaje en algunas áreas de la finca y consecuentemente exceso de humedad para el cultivo.

Según Vaquero (2005), con valores menores a 6 cm/h se tendrían problemas de anoxia radical. De ser este valor mayor a 15 cm/h, existiría un grave problema de retención de agua (déficit hídrico en épocas de menor precipitación y lixiviación de nutrientes en períodos de alta pluviosidad).

Por su parte, Sapucky (2007) obtuvo valores altos de infiltración básica (>10 cm/h) en una finca ubicada en el municipio Libertador del estado Aragua; dichos valores son típicos de suelos lacustrinos; sin embargo, el autor indica que la mayor velocidad de penetración del agua en los suelos buenos favorece las condiciones de aireación, manteniéndolos mejor drenados.

3.3. Características químicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Los resultados no muestran diferencias estadísticamente significativas para las características químicas: pH, conductividad eléctrica (mS/cm), nitrógeno total (%), amonio (mg N/kg suelo), fósforo total ($\mu gP \cdot g^{-1}$suelo), suma de cationes, capacidad de intercambio catiónico efectiva y porcentaje de saturación de bases en los lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor. Por su parte, el porcentaje de materia orgánica resultó estadísticamente superior en el primer horizonte de suelo con respecto al tercer horizonte en los lotes de alto vigor. Por otro lado, en los lotes BV estos datos resultaron mayores en el primer horizonte con respecto al segundo y tercer horizonte (tablas 9 y 10).

Es lógico esperar un porcentaje de materia orgánica más alto en el primer horizonte del suelo, así como que una disminución conforme aumenta la profundidad, debido a que en la superficie es donde ocurre una mayor deposición de restos vegetales (Jaramillo, 2002). A su vez, la superficie del suelo es más aireada, lo cual facilita una mayor actividad por parte de los microorganismos responsables de la descomposición del material vegetal que entra al suelo (García *et al.*, 2012; Huerta *et al.*, 2008). A este respecto, Sapucky (2007) encontró porcentajes de materia orgánica más altos en la superficie del suelo >4 % y valores entre 2 y 3 % en los horizontes con una profundidad entre 19 y 42 cm y los estratos entre 42 y 61 cm.

En la tabla 11 se comparan los valores promedio de las características químicas evaluadas entre lotes AV y BV para cada horizonte de suelo. Se puede observar que no se encontraron diferencias estadísticas ($p<0,05$) entre lotes en ninguna de las variables. Igualmente, en el primer horizonte del suelo se observó una tendencia mayor de fósforo total, suma de cationes y capacidad de intercambio catiónico efectiva en lotes de bajo vigor con respecto a los de alto vigor.

El pH estuvo en el intervalo de moderada a ligeramente ácido en ambos lotes de plantas de plátano con diferente vigor, lo cual puede indicar ciertos problemas de disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin embargo, para Casaca (2005), las plataneras tienen una gran tolerancia a la acidez del suelo: el pH oscila entre 5,5 y 7,5. Igualmente, Nava (1997) indica que el cultivo del plátano no es muy exigente en cuanto a pH, y esta magnitud puede crecer entre 4,5 y 8,0, pero el valor óptimo está entre 6,0 y 7,5. Con pH bajos, las raíces no crecen bien, el cormo se aplasta —tiene poco anclaje—, y la plantación se declina en el segundo ciclo. Con pH altos se observa necrosis en el borde del limbo con reducción del área foliar útil, lo cual afecta el peso del racimo.

La conductividad eléctrica en general fue baja en todos los horizontes genéticos de ambos lotes de plantas, lo cual indica pocos problemas de salinidad. No obstante, se observa una ligera tendencia a la disminución con la profundidad del suelo. Para Griso *et al.* (2009), se debe evitar realizar mediciones cuando los suelos están secos a profundidades de 30 a 40 centímetros, pues la conductividad se reduce significativamente y las lecturas son más variables.

El porcentaje de nitrógeno total encontrado en estos suelos es bajo, principalmente si se compara con valores de referencia para suelos de origen aluvial y características texturales equivalentes (Casanova, 2005; Rodríguez *et al.*, 2004). Resultados similares fueron obtenidos por González-Pedraza y Escalante (2021) en una zona cerca de las áreas de producción objeto de este estudio.

Para el caso del nitrógeno disponible (N-amonio), estuvo por encima de lo reportado por González-Pedraza y Escalante (2021) : 90 a 100 mg de N/kg de suelo. Así mismo, estuvo por debajo de lo señalado por Molero *et al.* (2008) en el Sur del Lago de Maracaibo (585 mg de N/kg de suelo).

Tabla 9.
Diferencias en algunas características químicas de los suelos entre horizontes genéticos en lotes de plantas de plátano de alto vigor ubicados en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Características químicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto vigor								
Horizontes	pH	CE	MO	NT	Amonio (mg N/kg suelo)	PT	SC	CICE	%SB
1	*5,56±0,88[a]	0,15±0,09[a]	8,60±4,40[a]	0,02±0,01[a]	251,12±160,64[a]	637,85± 382,31[a]	8,82±1,96[a]	8,97±1,95[a]	98,26±1,59 [a]
2	5,90±0,56[a]	0,08±0,09[a]	5,06±1,46[ab]	0,02±0,009[a]	224,76±106,10[a]	670,12±305,37[a]	8,19±2,30[a]	8,30±2,27[a]	98,45±1,03[a]

(*Continúa*)

Características químicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto vigor									
Horizontes	pH	CE	MO	NT	Amonio (mg N/kg suelo)	PT	SC	CICE	%SB
3	6,16±0,60[a]	0,07±0,11[a]	4,23±2,19[b]	0,02±0,006[a]	147,31±123,95[a]	716,84±321,91[a]	8,25±2,38[a]	8,36±2,36[a]	98,46±1,03[a]
Probabilidad	>0,05	>0,05	<0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05		>0,05

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Tukey entre horizontes para lotes de plantas de plátano de alto vigor. 1: Primer horizonte genético de suelo (0-17 cm), 2: Segundo horizonte genético de suelo subsuperficial (de 17 a 47 cm), 3: Tercer horizonte genético (de 47 a 60 cm). CE: Conductividad eléctrica (mS/cm), MO: Materia orgánica (%), NT: Nitrógeno total (%); PT: Fósforo total (µgP·g^{-1}suelo); SC: Suma de cationes (cmol(+).kg^{-1}); CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+).kg^{-1}); %SB: Porcentaje de saturación de bases.*

Tabla 10.
Diferencias en algunas características químicas de los suelos entre horizontes genéticos en lotes de plantas de plátano de bajo vigor ubicados en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Características químicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de bajo vigor								
Horizontes	**pH**	**CE**	**MO**	**NT**	**Amonio (mg N/ kg suelo)**	**PT**	**SC**	**CICE**	**%SB**
1	*5,87±1,07[a]	0,09±0,06[a]	10,54± 5,25[a]	0,02±0,01[a]	208,28±109,16[a]	791,64±417,47[a]	9,76±3,27[a]	9,99±3,32[a]	97,36±2,85[a]
2	6,02±0,92[a]	0,09±0,09[a]	4,97± 2,07[b]	0,02±0,01[a]	290,67±226,88[a]	686,20±303,25[a]	8,25±2,43[a]	8,41±2,40[a]	97,83±1,95[a]

(*Continúa*)

Características químicas de los suelos en lotes de plantas de plátano de bajo vigor								
Horizontes	pH	CE	MO	NT	Amonio (mg N/ kg suelo)	PT	SC	CICE	%SB
3	6,13±0,72[a]	0,04±0,03[a]	3,17± 1,43[bc]	0,02±0,008[a]	180,27±143,36[a]	641,20±327,18[a]	7,33±1,97[a]	7,44±1,96[a]	98,36±0,77[a]
Probabilidad	>0,05	>0,05	<0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05	>0,05

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferente entre las columnas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Tukey entre horizontes para lotes de plántas de plátano de bajo vigor. 1: Primer horizonte genético de suelo (0-20 cm), 2: Segundo horizonte genético de suelo subsuperficial (de 20 a 42 cm), 3: Tercer horizonte genético (de 42 a 60 cm). CE: Conductividad eléctrica (mS/cm), MO: Materia orgánica (%), NT: Nitrógeno total (%); PT: Fósforo total (µgP·g^{-1}suelo); SC: Suma de cationes (cmol(+).kg^{-1}); CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+).kg^{-1}); %SB: Porcentaje de saturación de bases.*

Tabla 11.
Diferencias en algunas características químicas entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético en el Sur del Lago de Maracaibo

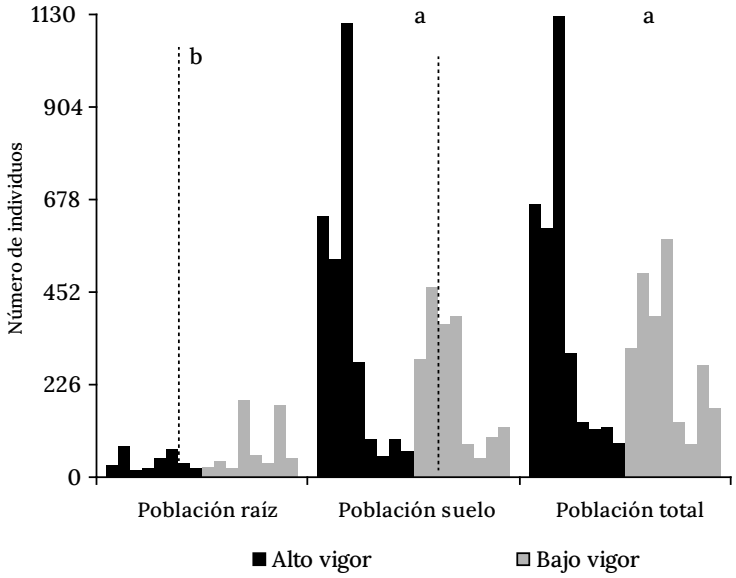
Vigor de plantas	Horizonte	Características químicas del suelo								
		pH	CE	MO	NT	Amonio (mg N/kg suelo)	PT	SC	CICE	%SB
AV	1	*5,56±0,88[a]	0,15±0,09[a]	8,60±4,40[a]	0,02±0,01[a]	251,12± 160,64[a]	637,85±382,31[a]	8,82±1,96[a]	8,97±1,95[a]	98,26±1,59[a]
BV		5,87±1,07[a]	0,09±0,06[a]	10,54±5,25[a]	0,02± 0,01[a]	208,28± 109,16[a]	791,64±417,47[a]	9,76±3,27[a]	9,99±3,32[a]	97,36±2,85[a]
AV	2	5,90±0,56[a]	0,08±0,09[a]	5,06±1,46[a]	0,02±0,009[a]	224,76±106,10[a]	670,12±305,37[a]	8,19±2,30[a]	8,30±2,27[a]	98,45±1,03[a]

(*Continúa*)

Vigor de plantas	Horizonte	Características químicas del suelo								
		pH	CE	MO	NT	Amonio (mg N/kg suelo)	PT	SC	CICE	%SB
BV	2	6,02±0,92[a]	0,09±0,09[a]	4,97±2,07[a]	0,02± 0,01[a]	290,67±226,88[a]	686,20±303,25[a]	8,25±2,43[a]	8,41±2,40[a]	97,83±1,95[a]
AV	3	6,16±0,60[a]	0,07±0,11[a]	4,23±2,19[a]	0,02±0,006[a]	147,31±123,95[a]	716,84±321,91[a]	8,25±2,38[a]	8,36±2,36[a]	98,45±1,03[a]
BV		6,13±0,72[a]	0,04±0,03[a]	3,17±1,43[a]	0,02±0,008[a]	180,27±143,36[a]	641,20±327,18[a]	7,33±1,97[a]	7,44±1,96[a]	98,36±0,77[a]

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Tukey entre lotes de plantas de plátano para cada horizonte de suelo. AV: Alto vigor, BV: Bajo vigor, CE: Conductividad eléctrica (mS/cm), MO: Materia orgánica (%), NT: Nitrógeno total (%); PT: Fósforo total ($\mu gP \cdot g^{-1}$suelo), SC: Suma de cationes ($cmol(+).kg^{-1}$); CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva ($cmol(+).kg^{-1}$); %SB: Porcentaje de saturación de bases*

Figura 18.
Población de nemátodos fitopatógenos cuantificados en raíz y suelo cultivados con plantas de plátano de alto y bajo vigor de las diferentes unidades de producción en el Sur del Lago de Maracaibo



Nota: Columnas acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). Cada barra representa el número de lotes de alto y bajo vigor de plantas de plátano de cada unidad de producción.

Los valores de fósforo total son mayores a los reportados por Berrocal *et al.* (2009) en suelos cultivados con plátano en el departamento de Córdoba, Colombia. Dichos resultados son igualmente más altos que los contenidos de fósforo en muestras de suelos cultivados con *Musa* AAB subgrupo plátano cv. hartón (Molero *et al.*, 2008); y menores a los obtenidos por Rodríguez y Lobo (2004) en suelos superficiales aluviales cultivados con tres clones brasilero (*Musa* AAA subgrupo Cavendish), pelipita (*Musa* ABB subgrupo Bluggoe) y hartón (*Musa* AAB subgrupo Plátanos).

Igualmente, la suma de cationes y la capacidad de intercambio catiónico efectiva en estos suelos estudiados fue menor a los señalados por Berrocal *et al.* (2009) y Rodríguez y Lobo (2004). Se

afirma, entonces que, bajo las condiciones en que se realizó este estudio, el exceso de K afectó tanto al Ca como al Mg y, por ende, a las características químicas evaluadas (Serrano *et al.*, 2006).

3.4. Características biológicas de suelos cultivados con plátano en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Fitonemátodos en suelos y raíces de plantas de plátano

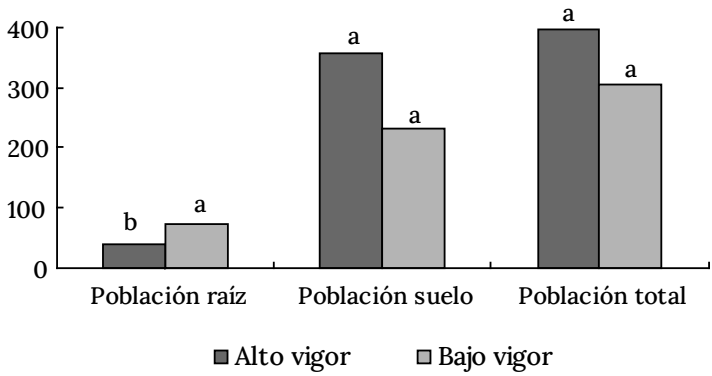
Procesadas las muestras de las diferentes fincas estudiadas bajo los criterios de lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor, se cuantificaron en total 16 810 individuos. La cantidad de especímenes presentaron fluctuaciones según el lote procesado (figura 18).

Asimismo, se observó que la cantidad varía según el tipo de muestra procesada, presentado mayor población en el suelo (14 140 individuos) que en la raíz (2670 individuos). Es decir que, en el suelo, se encontró el 84,11 % de la población total, mientras que en el sistema radical de la plantas estaba presente el 15,88 % restante, siendo estas diferencias estadisticamente significativas. La alta presencia de este grupo de patógenos en el suelo se asocia directamente con el ecosistema primario —es decir, con la rizósfera del cultivo, el cultivo y los niveles de parasistismo que pueden presentar los géneros presentes en la poblacion cuantificada (Agrios, 2005; Montiel *et al.*, 1997; Suárez y Rosales, 2004). Otro factor determinante de este incremento pueden ser los micronutrientes presentes en el suelo, una medida que permite establecer las condiciones óptimas para el crecimiento y la multiplicación poblacional (Araya *et al.*, 2011; Tabora *et al.*, 2002).

La población cuantificada por lotes de plantas de plátano estudiados (AV y BV) presentaron una respuesta divergente entre la cantidad de individuos contados y el tipo de muestra estudiada (figura 19). No existió diferencia estadística entre los lotes de plantas de plátano en la cantidad de nemátodos presente en

muestras de suelo y en las poblaciones totales. Sin embargo, se observó una tendencia de mayor población de nemátodos fitopatógenos en el suelo de lotes de plantas de plátano con alto vigor con respecto a los de bajo vigor. Por otro lado, y en cuanto a las muestras de raíz, a pesar de que la población acumulada fue la más baja, los resultados indican diferencias estadísticamente significativas entre lotes de plantas de diferente vigor: en el caso de bajo vigor, se da un 65,60 % de la población total; mientras que en los de alto, solo el 34,39 %.

Figura 19.
Población de nemátodos fitopatógenos cuantificados en lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor en el Sur del Lago de Maracaibo



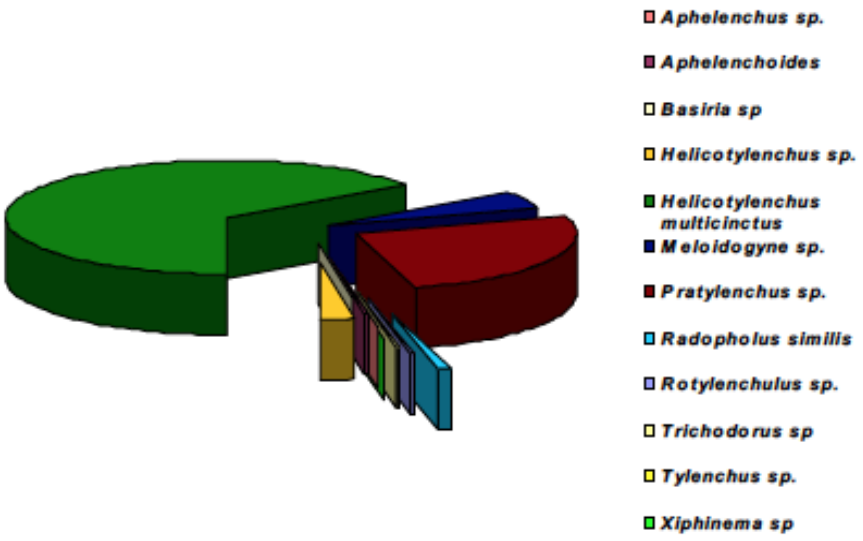
Nota: Columnas acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). Cada barra representa el total de lotes de alto y bajo vigor de plantas de plátano.

De los resultados se deduce que aplicaciones de fertilizantes simples o compuestos que contengan macro y micronutrientes sin análisis previo, y con proyecciones inadecuadas, producen más susceptibilidad en las plantas al ataque de patógenos. Adicionalmente, se conoce que plantas sometidas a estrés biótico o abiótico segregan hacia el suelo mayor cantidad de exudados (Badri y Vivanco, 2009): se trata de atrayentes o repelentes químicos en la rizósfera y la zona de influencia. Igualmente, los

componentes químicos alteran el comportamiento de los nemátodos y atraen hacia la raíz más microorganismos (De la Peña *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2013).

La conformación poblacional de las muestras procesadas independientemente del lote de vigor de plantas de plátano y del tipo de muestra estudiada (raíz y suelo) agrupa doce géneros taxonómicos distintos que indican diversidad de la nematofauna presente en los suelos estudiados y las raíces del cultivo de plátano (figura 20).

Figura 20.
Géneros taxonómicos que conforman las poblaciones de nemátodos fitopatógenos cuantificadas

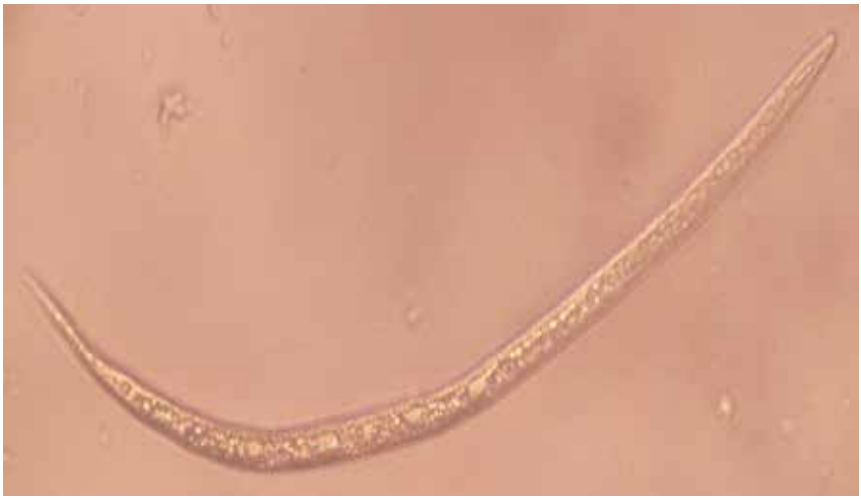


Adicionalmente, se observa que, en promedio, los lotes de alto vigor presentaron mayor cantidad de nemátodos fitopatógenos que los de bajo vigor (tabla 12), indiferente del tipo de muestra o ubicación, y se encuentran en este lote nemátodos de mayor importancia fitosanitaria para el cultivo de plátano (*H. multicinctus*, *R. similis*, *Meloidogyne* sp.) (figuras 21, 22 y 23).

Figura 21.
Nemátodo fitoparásito H. multicinctus observado con un microscopio óptico con objetivo 40X

Figura 22.
Nemátodo fitoparásito R. similis observado con un microscopio óptico con objetivo 40X

Figura 23.
Nemátodo fitoparásito Meloidogyne sp. observado con un microscopio óptico con objetivo 40X



H. multicinctus es el nemátodo más frecuente en el cultivo de banano y plátano en Venezuela (Crozzoli, 2009), y fue la especie más abundante en el estudio (10 920 individuos); tiene mayor presencia en las muestras de suelo que en las de raíz, a razón del hábitat parasítica del espécimen. Torrado-Jaime y Castaño-Zapata (2009) así como Suárez y Rosales (2004) señalan a *H. multicinctus* como una de las especies más agresivas: causa daños al cultivo de plátano en cuanto a la reducción en el peso del racimo y el tiempo de vida útil de las plantaciones.

En investigaciones realizadas en el Sur del Lago de Maracaibo, estos géneros también fueron encontrados por Montiel *et al.* (1997), quienes señalan que el género *Helicotylenchus multicinctus* fue encontrado en todos los sectores muestreados (Caño Blanco, Moralito, Mosioco, Taparones, Caño Muerto, el Uvito y el Treinta y Cinco), con una frecuencia poblacional variable entre los sectores, además *Helicotylenchus* es el nemátodo de mayor distribución en la zona (Chávez, 1991).

Por su parte, Labarca *et al.* (2011) identificaron, según sus características morfológicas, los géneros *Helicotylenchus*, *Radopholus*, *Meloidogyne* y *Aphelenchoides. En esta investigación*, las poblaciones fueron mayores en muestras de raíces de plantas de plátano con respecto a muestras de suelos, en dos sectores relativamente cercanos a la zona de estudio.

En el caso de *R. similis*, denominado "nemátodo barrenador", es considerado el de mayor importancia económica en musáceas debido a la severidad del daño que ocasiona a las raíces de las plantas; este nemátodo completa su ciclo de vida en las raíces, ya que solo sobrevive en el material vegetal (Montiel *et al.*, 1997).

Chávez (1991), Montiel *et al.*, (1997) y Assi Bou Assi *et al.* (2009) señalaron que el género *Radopholus* se encontró en muy bajas proporciones y solo en muestras de raíces en el Sur del Lago de Maracaibo. Contrariamente, Labarca *et al.* (2011) mostraron una población máxima de 780 nemátodos por 10 g de raíces en el sector Caño muerto del Sur del Lago de Maracaibo.

Meloidogyne fue otro de los géneros encontrados, con una población total de 850 nemátodos —mayor a lo identificado por Labarca *et al.* (2011)— con 502 nemátodos en muestras de raíces y suelos en el sector Caño Muerto. Adriano-Anaya *et al.* (2008) han señalado que *Meloidogyne* sp. ocasiona en el banano deficiencias en el crecimiento, lesiones severas en las raíces, reducción en el peso del racimo y pérdida en el rendimiento.

Igualmente, se destaca una diferencia estadísticamente significativa entre lotes de vigor, siendo mayor en lotes de AV con respecto a los de BV en dos géneros: *Helicotylenchus multicinctus* y *Radopholus similis*. También se encontró menor cantidad de *Pratylenchus* sp. en lotes de AV (figura 24). Por su parte, Assi Bou Assi *et al.* (2009) y Chávez (1991) encontraron al género *Helicotylenchus* en mayor porcentaje, seguido por *Pratylenchus*. Aun cuando ya han pasado varios años, se ha mantenido en el tiempo esta tendencia, lo cual puede deberse a diversos factores

como la época de muestreo, el manejo agronómico o problemas de drenaje en las plantaciones.

Figura 24.
Nemátodo fitoparásito Pratylenchus sp. con un microscopio óptico con objetivo 40X

Labarca *et al.* (2011) identificaron poblaciones de *Pratylenchus sp.* de 470 nemátodos/10 g raíces en el sector Caño Muerto. De este género, *P. coffeae* y *P. goodeyi* son las especies más importantes en banano y plátano (González *et al.*, 2007). En el plátano, se ha señalado que, por sus características endoparasíticas, este nemátodo penetra por la zona cortical de las raíces y que produce una lesión rojiza, la cual avanza a medida que el nemátodo se alimenta y se torna necrótica (Crozzoli, 2002).

Hongos, bacterias y actinomicetos

En la tabla 13 no se observaron diferencias estadísticamente significativas en suelos cultivados con plátano en diferentes lotes para la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos y bacterias; sin embargo, biológicamente crecieron más hongos y bacterias en suelos cultivados con lotes de BV con respecto a los de AV. Para Olvera y Pacheco (2009) la actividad de las bacterias es mayor en suelos con valores de pH intermedios y elevados.

Tabla 12.
Cuantificación poblacional por género de nemátodo fitopatógeno identificado en el tipo de muestra y lotes de plantas de plátano con diferente vigor en el Sur del Lago de Maracaibo

Género de nemátodo fitopatógeno	Tipo de muestra (ubicación)				Lotes de vigor de plantas			
	Raíz	Total de raíz	Suelo	Total de Suelo	Alto vigor	Total de alto vigor	Bajo vigor	Total de bajo bigor
Aphelenchus sp.	*0,04[a]	2	0,39[a]	19	0,37[a]	18	0,062[a]	3
Aphelenchoides	0[a]	0	0,31[a]	15	0,27[a]	13	0,06[a]	3
Basiria sp.	0,02[a]	1	0[a]	0	0,02[a]	1	0[a]	0
Helicotylenchus sp.	6,18[a]	297	3,08[a]	148	4,08[a]	196	5,18[a]	249
Helicotylenchus multicinctus	26,85[b]	1289	200,65[a]	9631	148,52[a]	7129	78,97[b]	3791
Meloidogyne sp.	1,52[b]	73	16,18[a]	777	12,20[a]	586	5,50[a]	264
Pratylenchus sp.	18,52[b]	889	70,50[a]	3384	27,39[b]	1315	61,62[a]	2958
Radopholus similis	1,54[a]	74	2,47[a]	119	3,48[a]	167	0,54[b]	26
Rotylenchulus sp.	0,77[a]	37	0,33[a]	16	0,46[a]	22	0,64[a]	31
Trichodorus sp.	0[a]	0	0,39[a]	19	0,35[a]	17	0,04[a]	2
Tylenchus sp.	0,17[a]	8	0,06[a]	3	0,17[a]	8	0,06[a]	3
Xiphinema sp.	0[a]	0	0,19[a]	9	0,17[a]	8	0,02[a]	1

**Valor promedio seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas ($p<0,05$) según prueba Tukey entre tipos de muestras o ubicación en los diferentes géneros y lotes de vigor de plantas de plátano.*

Tabla 13.
Unidades formadoras de colonia de hongos, bacterias y actinomicetos en suelos cultivados con plantas de plátano de diferente vigor del Sur del Lago de Maracaibo

Lotes de vigor de plantas	UFC Hongos (10^5)	UFC Bacterias (10^5)	UFC Actinomicetos (10^5)
AV	*1,29[a]	9,74[a]	0,88[a]
BV	1,30[a]	9,93[a]	0,51[b]
Probabilidad	>0,05	>0,05	<0,05

**Valor promedio seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas (p<0,05) según prueba Tukey entre lotes de vigor de plantas de plátano. UFC: Unidades formadoras de colonia.*

Para el caso de actinomicetos, las UFC fueron mayores en suelos cultivados con plantas de plátano de alto vigor con respecto a los de bajo vigor. Por su parte, Cardona *et al.* (2009) manifiestan que los procesos de intervención humana tienden a disminuir la abundancia y diversidad de actinomicetos. Igualmente, George (2006) señaló que suelos provenientes de fincas con manejo orgánico presentaron mayor humedad, más lombrices de tierra y más actinomicetos respecto a fincas convencionales con agroecosistemas tales como Café-*Erythrina*; Café-*Erythrina-Musa*; Café-*Musa*; Café-*Erythrina-Cordia*.

El número de UFC de hongos encontradas en este estudio, independientemente de los suelos cultivados con distinto vigor de plantas de plátano, fueron menores a las señaladas por Pineda *et al.* (2009): entre 2 y 7 UFC; y Ulacio *et al.* (1997), con más de 100 colonias de *Aspergillus niger* en la rizósfera y rizoplano de muestras de tabaco. Las características edafoclimáticas de cada zona de muestreo varían de un sector a otro, aun cuando pertenecen a la misma zona de vida (bosque húmedo tropical), lo que podría estar condicionando el ambiente para el crecimiento micobiótico.

Estos resultados son similares a los señalados por Stark *et al.* (2007) y Álvarez (2009), quienes obtuvieron mayor cantidad de bacterias que de hongos y actinomicetos en suelos tropicales, siendo incluso mayores a las de este estudio. Asimismo, Acuña *et al.* (2006) demostraron mayores valores de UFC de bacterias con respecto a hongos en suelos cultivados con banano, y los autores indican que esto posiblemente se deba a que se trata de microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación necesaria para la biota del suelo.

Por su parte, Cerda (2008) obtuvo mayor cantidad de hongos que de bacterias, actinomicetos y micoparásitos en suelos cultivados con plátano. Los autores mencionan que la aplicación de insumos sintéticos no afecta a todos los microorganismos de la misma forma. Al respecto, Das y Mukherjee (2000) manifiestan que existen microorganismos sensitivos y no sensitivos a los plaguicidas, y la aplicación de estos causa la muerte a los sensitivos y también a la macrofauna del suelo, de esta forma se liberan nutrientes (disponibilidad de N y P, especialmente) que son aprovechados por los no sensitivos; como resultado, se da un incremento de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos.

Es importante mencionar que los actinomicetos han sido descritos como agentes de biocontrol por la capacidad de producir enzimas biodegradativas como quitinasas, glucanasas, peroxidasas y otras involucradas en el papel del micoparasitismo que llevan a cabo estos microorganismos (Tokala *et al.*, 2002).}

La mayoría de los antibióticos que producen los actinomicetos y algunos otros hongos —como el *Penicillium*— son bastante tóxicos a las bacterias (incluso a las bacterias fastidiosas vasculares), micoplasmas, e incluso a algunos hongos (Agrios, 2005; Pineda-Zambrano *et al.*, 2020). Al respecto, Ríos y Montilva (2009) mostraron que el crecimiento del *Penicillium* no fue impedido en ningún grado por ninguna de las cepas de *Trichoderma* empleadas durante su estudio. Por lo tanto, se presume que la cantidad de UFC de hongos, bacterias y actinomicetos

en estos suelos se deba al efecto supresor que tienen dichos microorganismos fitopatógenos.

La biodiversidad fúngica existente en suelos cultivados con plátano en la zona Sur del Lago estuvo representada por tres hongos fitopatógenos a saber: *Aspergillus* sp, *Fusarium* spp, *Penicillium* sp y un antagonista: *Trichoderma* sp. De los hongos identificados no se observaron diferencias estadísticas entre los suelos cultivados con plantas de plátano de diferente vigor para UFC de *Fusarium* spp., *Penicillium* sp., y micelio estéril. Igualmente, se identificó mayor UFC de *Aspergillus* sp. en suelos con lotes de BV respecto a los de AV (figura 25).

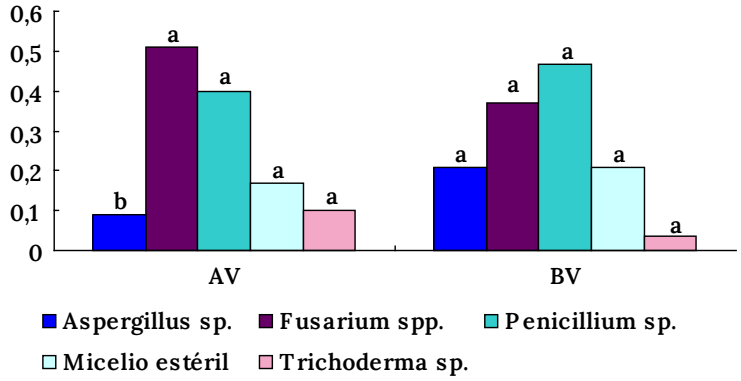
El 100 % de los géneros aislados corresponde a hongos comunes que se desarrollan en diferentes sustratos, frecuentemente encontrados en el suelo (Domsch *et al.*, 1980) y solo uno de ellos señalado como patógeno del cultivo del banano (*Fusarium* spp.) (Román, 2012). En el estado Trujillo, cerca del 80 % de las plantaciones de banano han sido infectadas por *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) (Rodríguez, 2000). En el estudio se observaron diferentes características fenotípicas en el crecimiento micelial, específicamente en la coloración y el desarrollo del micelio, tipificándose como especie 1 y especie 2.

Los hongos identificados como *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. producen sus toxinas principalmente en semillas almacenadas, heno o alimentos y forrajes procesados con fines comerciales, aunque la infección de las semillas a menudo se efectúa en el campo (Agrios, 2005). Adicionalmente, se presume que suelos con pH entre 6,5 y 7 son suelos de mayor presencia de *Aspergillus* sp. (Marín *et al.*, 2007), y en suelos con pH entre 5 y 5,5, se observó un mayor incremento del género *Fusarium* sp. (Orozco de Amézquita *et al.*, 1993). Las especies de *Trichoderma* no son exigentes con relación al pH del sustrato: pueden crecer en suelos con pH desde 5,5 a 8,5, aunque los valores óptimos se encuentran entre 5,5 y 6,5 —es decir, en un ambiente ligeramente ácido (Martínez *et al.*, 2013)—. Para Romero-Arenas *et al.*

(2009), las especies de este género generalmente prefieren un pH ácido —de 4.5 a 5— y se desarrollan en áreas con un excesivo contenido de humedad.

Figura 25.

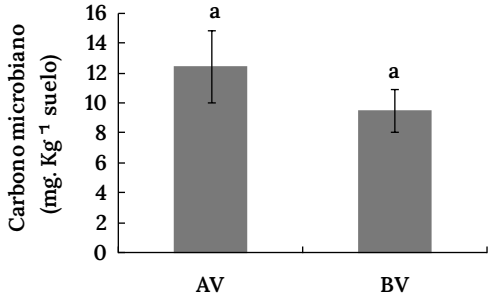
Unidades formadoras de colonias de hongos aislados en suelos cultivados con plantas de plátano de diferente vigor del Sur del Lago de Maracaibo



Nota: Columnas acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). Cada barra representa el total de unidades formadoras de colonia de los hongos aislados en suelos cultivados con plátano. AV: Lotes plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

Figura 26.

Carbono microbiano de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor



Columnas ± barras de error estándar acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). AV: Lotes plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

Actividad microbiana de los suelos cultivados con plátano

Carbono microbiano

Para esta variable, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el carbono microbiano (Cmic) de los suelos entre los lotes de alto y bajo vigor. Sin embargo, es de hacer notar que el Cmic en los lotes AV fue mayor que en BV (figura 26).

Los valores de Cmic encontrado en AV y BV están por encima a los reportados para otros suelos tropicales cultivados (Sánchez *et al.*, 2005; Trannin *et al.*, 2007).

A diferencia de los resultados encontrados en este estudio, González-Pedraza *et al.* (2014) mostraron diferencias significativas ($p<0,05$) en el Cmic entre lotes de alto vigor (AV) y bajo vigor (BV). Estos autores señalan que los lotes AV presentaron menor contenido de Cmic con respecto a BV, y concluyeron que los suelos en AV están sometidos a una mayor condición de estrés en comparación con BV; así mismo, encontraron que las características texturales están jugando un papel importante en ese comportamiento.

De igual forma, los niveles de carbono microbiano se ven afectados por la agroclimatología que sufren las muestras *in situ*: es decir, la humedad, el calor, la biodiversidad de residuos orgánicos al ecosistema y las sustancias agresivas a la actividad microbiana (Acuña *et al.*, 2006). En este estudio es posible que el mayor porcentaje de humedad (21,48±8,41) encontrado en los suelos AV con respecto a BV (15,33±5,39) permita unas mejores condiciones del suelo para la realización de la actividad de los microorganismos del suelo (tabla 7).

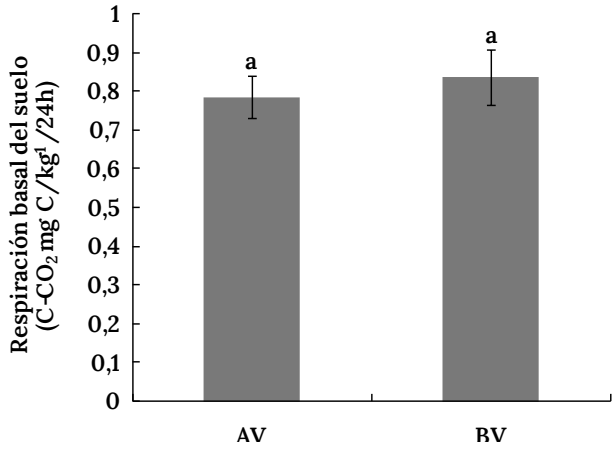
Por su parte, Powlson *et al.* (1987) relacionan los niveles de Cmic en los suelos a menudo con la calidad y la cantidad de la materia orgánica (MO) disponible. El primer horizonte de los lotes AV y BV presentó un mayor porcentaje de materia orgánica total (tabla 11). Por lo tanto, hay una mayor fuente de sustra-

to para los microorganismos. Adicionalmente, este comportamiento pudiera ser un indicativo de la presencia de una MO muy lábil para los microorganismos del suelo en ambos lotes (Chen *et al.*, 2004).

Respiración basal del suelo (C-CO_2)

Según la figura 27, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en la respiración basal de los suelos entre lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor. No obstante, se manifiesta un ligero incremento en la C-CO_2 en lotes de BV.

Figura 27.
Respiración basal de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor



Nota: Columnas ± barras de error estándar acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano ($p<0,05$). AV: Lotes plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

Por su parte, González-Pedraza *et al.* (2014) observaron diferencias significativas de respiración basal (C-CO_2) entre lotes de producción, siendo más altos en AV con respecto a BV. Estos datos posiblemente se deban a diferencias en la composición de las comunidades microbianas de ambos suelos, aun cuando no se caracterizó a los microorganismos presentes en cada sitio.

Los datos de respiración basal ($C\text{-}CO_2$) obtenidos en este estudio son mayores a los encontrados en otros suelos agrícolas tropicales (González-Pedraza *et al*., 2014; Trannin *et al*., 2007).

La respiración es un indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo (Acuña *et al*., 2006). De igual forma, da una idea de la dinámica de la biota y, por lo tanto, de los procesos metabólicos. Tales procesos varían en función de factores biofísicos y climáticos del suelo y del uso de la tierra, por lo cual su medición es un indicador de la biomasa microbiana presente (Mora, 2006). Valores altos de respiración a menudo están asociados con condiciones de estrés y menor eficiencia de los microorganismos.

Adicionalmente, la respiración del suelo permite establecer diferencias estructurales y fisiológicas de las comunidades microbianas y en la calidad de la materia orgánica (Anderson y Domsch, 1989 a y b).

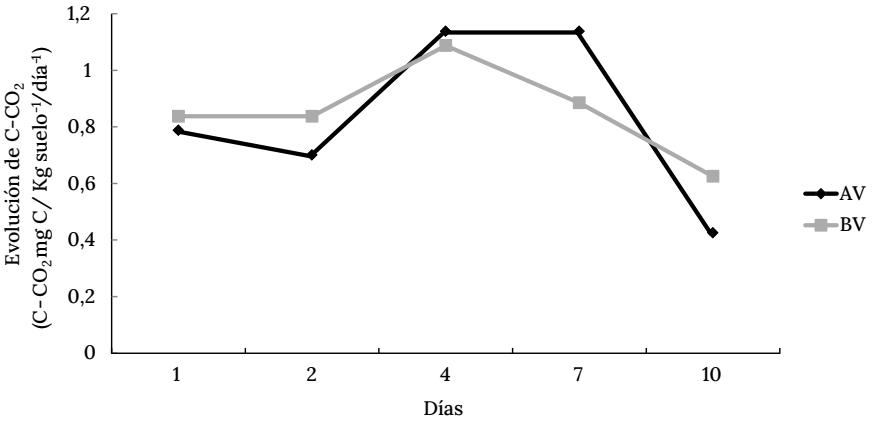
Evolución de C-CO_2

Durante el segundo día de incubación, se observó una disminución de la respiración ($C\text{-}CO_2$), tanto en AV como en BV. Entre lotes se apreció un mayor $C\text{-}CO_2$ en BV con respecto a AV (figura 28). Para el cuarto y el séptimo día de incubación hubo un incremento acelerado del $C\text{-}CO_2$ en AV, que disminuyó drásticamente al décimo día de incubación. Por su parte, en los lotes de BV el $C\text{-}CO_2$ subió solamente durante el cuarto día de incubación y decreció gradualmente para el día diez de incubación.

El incremento del $C\text{-}CO_2$ en AV puede ser atribuido al contenido de C orgánico presente en los materiales de partida, los cuales suministraron el sustrato necesario para la proliferación de los microorganismos responsables de la descomposición (tabla 10). La actividad de los microorganismos que intervienen al inicio del proceso es máxima como consecuencia de tener a su alcance gran cantidad de compuestos fácilmente

biodegradables procedentes de los materiales orgánicos de partida (Acosta *et al.*, 2006).

Figura 28.
Evolución de C-CO2 en suelos cultivados con plátano durante 10 días de incubación. AV: Lotes plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor



Después del séptimo día hubo un descenso gradual de la respiración, esto probablemente se deba al agotamiento del sustrato más lábil, quedando solamente aquellos materiales de mayor resistencia a la degradación.

En líneas generales, la respiración al cuarto y séptimo día de incubación en ambos lotes de producción fue de 1 mg $C\text{-}CO_2$/ kg suelo/día. Según Peña *et al.* (2004), los valores medios de respiración microbiana para zonas tropicales pueden oscilar entre 1,1 y 2 mg $C\text{-}CO_2$ /kg suelo/día.

La variación de la respiración basal de suelos cultivados con lotes de vigor de plantas de plátano puede explicarse por el uso de herbicidas y fertilizantes sintéticos y por la humedad. El glifosato es capaz de estimular la respiración microbiana (Busse *et al.*, 2001), que puede ser tres o cuatro veces mayor que en suelos sin aplicación de este herbicida (Ratcliff *et al.*, 2006). Este ma-

nejo se corresponde con el realizado por los productores en los lotes de alto vigor de plantas de plátano, efectuando aplicaciones de este herbicida sistémico con dosis y frecuencias preestablecidas (tabla 1).

Los lugares en los que se aplican agroquímicos, especialmente fertilizantes, se consideran zonas de "estrés biológico", pues al modificar el pH podrían alterarse de igual forma las poblaciones de microorganismos y actividad microbiana. Con un pH ácido hay poca actividad microbiana y baja actividad enzimática (Vargas y Flores, 1996). Con un pH más neutro, ocurriría lo contrario. El pH en ambos lotes de vigor se ubicó en el intervalo de moderada a ligeramente ácido, lo cual pudiera generar ciertos problemas en la respiración basal de los suelos, así como la disponibilidad de nutrientes para las plantas (tabla 11).

La mayor humedad del suelo es otro factor clave que estimula la respiración microbiana (Adachi *et al.*, 2006); en términos generales, se observaron mayores contenidos porcentuales de humedad en lotes de alto vigor con respecto a los de bajo (tabla 7).

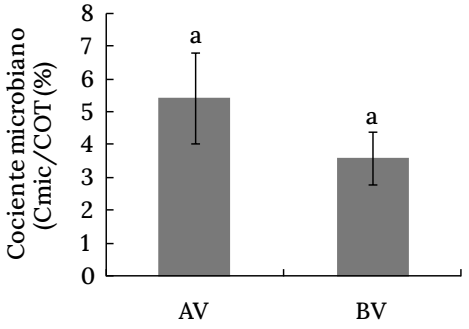
Cociente microbiano (Cmic/COT) y cociente metabólico (qCO_2):

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) en el cociente microbiano y cociente metabólico entre AV y BV (figuras 29 y 30).

Los datos de Cmic/COT son similares a los reportados por González-Pedraza *et al.* (2011) de 3,5 y 5,54 $mg.kg^{-1}$en suelos del Sur del Lago cultivados con cacao y palma aceitera, respectivamente; y mayores (entre 2,2 y 3,3 %) a los obtenidos por Ruiz y Paolini (2004) en suelos lacustrinos y aluviales cultivados con vegetación natural, caña de azúcar y banano. Este cociente ha sido propuesto como un indicador sensible de los cambios en la materia orgánica del suelo y proporciona una idea de los niveles y calidad de ésta, así como del estado de degradación de los suelos (Hart *et al.*, 1989). Una disminución en la relación Cmic/COT estaría indicando pérdidas del C del suelo asociadas con

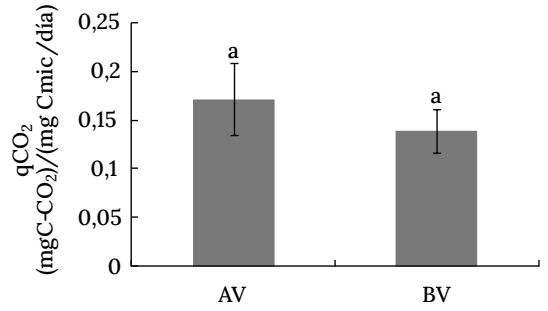
una menor eficiencia en la utilización del sustrato por parte de los microorganismos (Anderson y Domsch, 1989b).

Figura 29.
Cociente microbiano de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor



Nota: Columnas ± barras de error estándar acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). AV: Lotes plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

Figura 30.
Cociente metabólico de los suelos en lotes de plantas de plátano de alto y bajo vigor



Nota: Columnas ± barras de error estándar acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano (p<0,05). AV: Lotes plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor.

Para el caso de qCO_2, los valores obtenidos están por debajo de los reportados en otros estudios (Acuña *et al.*, 2006;

González-Pedraza *et al.*, 2011; Sánchez de Prager *et al.*, 2006) aun cuando en esta investigación no se observaron diferencias estadísticas, se observó un incremento del cociente microbiano en lotes de AV con respecto al BV. Dichos resultados se asemejan a los presentados por González-Pedraza *et al.* (2014) las cuales señalan una tendencia a un mayor gasto de C en respiración en AV.

De acuerdo con la literatura, el qCO_2 tiende a ser alto en ecosistemas sometidos a un nivel alto de estrés fisiológico (perturbadas). Esto significa que los organismos tienen que gastar una gran cantidad de energía por unidad de biomasa. También están asociados con condiciones de estrés —entre ellas el mal drenaje de los suelos asociado con mayor porcentaje de partículas finas—, lo que trae como consecuencia una menor eficiencia de los microorganismos; mientras que un qCO_2 bajo ha sido relacionado con una mayor eficiencia microbiana (Sparling *et al.*, 1994).

Por su parte, Cerda (2008) reportó variaciones apreciables en el cociente metabólico (sistema plátano monocultivo convencional), e indicó que los sistemas son jóvenes o no están en equilibrio, con alta tasa de descomposición de la materia orgánica. Mientras incrementa el estrés —reflejado por el cociente metabólico—, los microorganismos desvían la energía del crecimiento para el mantenimiento.

3.5. Desarrollo radical de las plantas de plátano ubicadas en los lotes de alto y bajo vigor, en las diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

Al comparar el desarrollo radical de plantas de plátano entre los lotes por cada lado muestreado (cormo, derecho e izquierdo) no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguna de las variables estudiadas (tabla 14).

Tabla 14.
Desarrollo radical entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético de suelo en el Sur del Lago de Maracaibo

Vigor de plantas	Desarrollo radical de plantas de plátano para lotes de alto y bajo vigor Hor	Lado	PFR	DPFR	DPFR	DPSR	LR	DLR	DR	VR	DVR
AV BV		Cormo	*5,62±4,24[a] 7,55±9,57[a]	0,50±0,42[a] 0,82±1,16[a]	0,06±0,06[a] 0,07±0,09[a]	0,00529±0,004[a] 0,00800±0,011[a]	11,16±4,52[a] 13,68±10,45[a]	0,11±0,05[a] 0,13±0,10[a]	4,28±2,38[a] 5,44±5,39[a]	0,47±0,28[a] 0,56±0,47[a]	0,00473±0,003[a] 0,00559±0,005[a]
AV BV	1	Derecho	5,37±4,47[a] 6,41±7,89[a]	0,55±0,43[a] 0,66±1,03[a]	0,05±0,04[a] 0,06±0,08[a]	0,00554±0,004[a] 0,0063±0,010[a]	12,37±5,52[a] 10,60±5,32[a]	0,13±0,12[a] 0,10±0,05[a]	4,43±2,67[a] 4,31±2,62[a]	0,51±0,26[a] 0,54±0,41[a]	0,00510±0,003[a] 0,00539±0,004[a]
AV BV		Izquierdo	5,06±5,51[a] 5,65±4,92[a]	0,53±0,66[a] 0,51±0,50[a]	0,04±0.05[a] 0,05±0,05[a]	0,00467±0,006[a] 0,00596±0,008[a]	12,90±9,08[a] 11,60±7,34[a]	0,12±0,09[a] 0,11±0,07[a]	4,35±3,89[a] 4,30±2,74[a]	0,46±0,24[a] 0,49±0,25[a]	0,00456±0,002[a] 0,00485±0,003[a]

(*Continúa*)

Desarrollo radical de plantas de plátano para lotes de alto y bajo vigor									
Vigor de plantas	**Hor**	**Lado**	**PFR**	**DPFR**	**DPFR**	**DPSR**	**LR**	**DLR**	**DR**	**VR**	**DVR**
AV BV		Cormo	3,43±4,00[a] 2,08±1,00[a]	0,36±0,38[a] 0,19±0,08[a]	0,06±0,15[a] 0,02±0,01[a]	0,00355±0,004[a] 0,00179±0,001[a]	11,50±10,68[a] 9,30±6,61[a]	0,11±0,10[a] 2,47±8,57[a]	3,48±3,69[a] 2,36±1,29[a]	0,45±0,32[a] 0,28±0,11[a]	0,00447±0,003[a] 0,00281±0,001[a]
AV BV	2	Derecho	2,71±2,83[a] 2,24±1,91[a]	0,22±0,24[a] 0,21±0,17[a]	0,02±0,03[a] 0,02±0,02[a]	0,00226±0,002[a] 0,00351±0,005[a]	11,73±12,65[a] 7,24±4,64[a]	0,12±0,12[a] 0,07±0,05[a]	2,80±2,23[a] 2,21±1,55[a]	0,29±0,21[a] 0,30±0,15[a]	0,00290±0,002[a] 0,00296±0,001[a]
AV BV		Izquierdo	3,38±2,96[a] 2,64±2,91[a]	0,33±0,31[a] 0,17±0,13[a]	0,03±0,03[a] 0,02±0,03[a]	0,00299±0,002[a] 0,00215±0,002[a]	9,65±6,39[a] 8,25±4,84[a]	0,10±0,06[a] 0,08±0,05[a]	3,12±2,33[a] 2,52±2,10[a]	0,36±0,20[a] 0,34±0,21[a]	0,00354±0,002[a] 0,00331±0,002[a]

**Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferentes entre las columnas indican diferencias significativas ($p<0,05$) según prueba Tukey entre lotes de plátano para cada horizonte de suelo. AV: Alto vigor; BV: Bajo vigor; Hor: Horizonte; Hor 1: 0–15 cm de profundidad; Hor 2: 15–30 cm de profundidad; Lado: Distancias laterales de muestreo de raíces en las calicatas (derecho e izquierdo de 0–30cm a partir del cormo); PFR: Peso fresco de la raíz (g); PSR: Peso seco de la raíz (g); DPFR: Densidad del peso fresco radical (g/cm^3); DPSR: Densidad del peso seco radical (g/cm^3); LR: Longitud radical (cm); DLR: Densidad de longitud radical (cm /cm^3); DR: Diámetro radical (cm); VR: Volumen radical (cm^3) y DVR: Densidad del volumen radical (m^3).*

La densidad del peso radical es considerada como el peso de raíces con relación al volumen del cilindro del suelo tomado para la obtención de las muestras. Esta fue evaluada en extensión lateral desde el pseudotallo de la planta, en las dos primeras capas del suelo (0-15 cm y 15-30 cm). Se pudo observar que la densidad, peso fresco y seco radical, aun cuando no se observaron diferencias estadísticas, tendió a ser mayor en el primer horizonte del suelo y en todas las distancias laterales. Este resultado hace inferir un mayor y mejor desarrollo de las raíces en la primera capa del suelo, la cual posee características físicas y químicas que favorecen la expresión de su crecimiento y desarrollo. No se observó presencia de raíces en las siguientes distancias laterales (30-60 cm y 60-90 cm), por lo tanto, los datos presentados solo fueron de 0-30 cm de cada lado del pseudotallo de la planta.

Resultados similares fueron señalados por Rodríguez (2006), quien obtuvo valores de densidad radical mayores en la primera capa del suelo (0-17 cm) con respecto a la segunda (17-35 cm). Al respecto, Belalcázar *et al.* (2003) indican que el mayor número de raíces se encuentra en la capa de suelo correspondiente a los primeros 20 cm de profundidad. Igualmente, mencionan que el crecimiento y el desarrollo están orientado hacia las áreas más fértiles del suelo.

Diversos investigadores señalan que las raíces laterales de musáceas propenden a desarrollarse en los primeros centímetros del suelo (Araya, 2003a; Avilán *et al.*, 1980; Pérez, 1987; Soto, 1992). De igual forma, existen diferentes investigaciones que indican que, entre el 80 y el 90 % del peso fresco de las raíces se encuentra entre los 45 y 60 cm de extensión lateral. En cuanto a la profundidad del suelo, el 80 % de las raíces se ubica en los primeros 30 cm del perfil (Soto, 1992; Araya, 2003a).

Estos resultados son contrarios a los obtenidos por Abreu *et al.* (2007) quienes encuentran que el peso radical fue mayor en

el lote bueno con respecto al malo. Al respecto, Serrano (2003) indica que, cuando el peso radical se encuentra por debajo de los 43 g por planta, el porcentaje de raíz funcional y la productividad disminuyen, siendo considerado entonces el valor crítico de referencia para el cultivo de banano. Adicionalmente, Abreu *et al.* (2007) informa también mayor densidad radical en la finca "buena" y menor en la finca "mala".

En lo que respecta a la densidad de longitud radical (DLR), hubo tendencias mayores en los lados muestreados —derecho e izquierdo—, en distancias de 0-30 cm del pseudotallo de la planta en el primer horizonte del suelo. Resultados similares fueron encontrados por Rodríguez (2006) quien obtuvo valores más altos de densidad de longitud radical en la primera capa del suelo en comparación con la segunda, disminuyendo los valores de DLR a medida que aumenta la extensión lateral en ambas capas del suelo.

Al analizar los valores encontrados para el diámetro radical (DR), observamos diámetros relativamente mayores en el primer horizonte del suelo con respecto al segundo. Esto coincide con lo mostrado por Rodríguez (2006), quien expresa, además, resultados mayores de DR en la zona inmediatamente cercana al pseudotallo de la planta. Posteriormente, a medida que avanza lateralmente, las raíces se tornan más delgadas. Por su parte, Stover y Simmonds (1987) encuentran para el patrón de arquitectura de raíces en *Musa*, que las raíces de anclaje —denominadas primarias o adventicias— son más gruesas y suberizadas, encontrándose en las zonas más cercanas al cormo, mientras que aquellas raíces con la función de absorber agua y nutrimentos (raíces laterales) se extienden lateralmente y tienen diámetros inferiores.

En cuanto al comportamiento del volumen radical, este llegó a ser mayor en la primera capa del suelo en comparación con la segunda, y no se observaron valores en extensiones laterales

de 30-60 cm y de 60-90 cm de cada lado muestreado. Por su parte, Rodríguez (2006) manifiesta que la extensión lateral en sus resultados es predominante en la primera capa del suelo, ya que en la segunda capa identificada las raíces solo llegan hasta los 60 cm como máxima extensión lateral.

3.6. Relación de las características físicas, químicas y biológicas evaluadas en los suelos con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas del eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

En general, se encontraron correlaciones bajas entre las características físicas, químicas y biológicas evaluadas en los suelos y el vigor de plantas de plátano (tablas 15, 16, 17, 18). Así, se observa una correlación negativa entre la arena y el número de manos por racimo (NMR) y la altura del hijo de sucesión (AHS); densidad aparente respecto a NMR y circunferencia de la planta madre (CPM); y, por último, la infiltración básica e instantánea en calle con el NMR. Por lo tanto, a medida que aumentan los porcentajes de arena, la densidad aparente, la infiltración básica e instantánea en los suelos disminuirá los parámetros de vigor mencionados (tabla 15).

En este sentido, se confirma que suelos con texturas arenosas no son favorables para la retención de humedad; además se puede presentar compactación facilemente. Esto, sin duda, ocasionaría un bajo vigor en las plantaciones de plátano. Por ello, Serrano (2002) manifiesta que valores de densidad aparente (Da) mayores a 1,30 $Mg.kg^{-1}$ para suelos bananeros indican un grado de compactación moderada. Resultados similares son presentados por Herrera *et al.* (2017) señalando correlaciones negativas entre arena y la densidad aparente respecto al número de manos por racimo.

Si se observa una alteración en las propiedades hidrológicas del suelo por aumento de compactación del suelo, se manifiesta

una reducción en las tasas de infiltración ocasionando a su vez pérdidas del suelo por escorrentía (Sepúlveda, 1999).

Adicionalmente, se observa una correlación positiva y significativa entre limo y humedad y el número de manos por racimo. De esta manera, conforme aumentan los contenidos de limo y porcentaje de humedad, se incrementa el número de manos por racimo.

Tabla 15.
Relación de las características físicas con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características físicas del suelo/ vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
ARC	*0,02^{ns}	0,08^{ns}	-0,02^{ns}
LIM	0,19**	0,02^{ns}	0,13*
ARE	-0,20**	-0,03^{ns}	-0,13*
HUM	0,15*	0,05^{ns}	0,03^{ns}
DA	-0,13*	-0,14*	-0,01^{ns}
K	0,01^{ns}	-0,02^{ns}	-0,07^{ns}
RES	0,10^{ns}	- 0,06^{ns}	0,04^{ns}
IBC	-0,50*	-0,18^{ns}	-0,58*
IIC	-0,49*	-0,19^{ns}	-0,50^{ns}
IBH	-0,40^{ns}	-0,11^{ns}	-0,03^{ns}
IIH	-0,23^{ns}	-0,01^{ns}	0,12^{ns}

**Valor de R, acompañado de letra de significancia.* ARC: *Arcilla.* LIM: *Limo.* ARE: *Arena.* HUM: *Humedad.* DA: *Densidad aparente.* K: *Conductividad hidráulica saturada.* RES: *Resistencia a la penetración.* IBC: *Infiltración básica entre calles.* IIC: *Infiltración instantánea entre calle.* IBH: *Infiltración básica frente al hijo.* IIH: *Infiltración instantánea frente al hijo.* ^{ns}: *No significativo.* *: *Significativo.* **: *Altamente significativo.*

Para el caso de las características químicas evaluadas —pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, amonio

disponible, fósforo total, suma de cationes, capacidad de intercambio catiónico efectiva y porcentaje de saturación de bases—, no se observó correlación positiva ni significativa respecto a las variables de vigor (anexo 6).

Adicionalmente, se manifestó una correlación negativa entre la población total de fitonemátodos en raíces (PTNR) y las variables de vigor estudiadas (número de manos por racimo y circunferencia de la planta madre). En cuanto a los géneros de los nemátodos, se manifiesta una correlación negativa entre *Helicotylenchus* sp, y el NMR y la AHS; y entre *Pratylenchus* sp y el NMR y la CPM. Esto significa que, conforme aumenta la PTNR y los géneros de fitonemátodos indicados, disminuyen las características de las plantas mencionadas (tablas 16).

Los principales fitonemátodos que causan pérdidas económicas en el cultivo del banano y el plátano son los endoparásitos migratorios *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae*, el ectoparásito migratorio *Helicotylenchus multicinctus* y el endoparásito sedentario *Meloidogyne* spp. (Moens *et al.*, 2003). Por su parte, Araya (2003b) concluye que en el banano generalmente se encuentran comunidades poliespecíficas compuestas por los cuatro principales fitonemátodos anteriormente mencionados, y que la importancia económica es en el siguiente orden: *R. similis* > *Helicotylenchus* spp. > *Meloidogyne* spp. > *Pratylenchus* spp.

Los resultados de este estudio confirman lo referenciado por los autores, ya que se identificaron, en orden decreciente, mayor número de individuos de *H. multicinctus*, *Pratylenchus* sp. y *Meloidogyne* sp. (figura 5).

Aun cuando en términos generales se observó mayor cantidad de fitonemátodos en suelos que en raíces, no se expresa correlación entre la población total de nemátodos en suelos (PTNS) y los géneros identificados respecto al vigor de las plantas de plátano (anexo 7). Similarmente, no existió correlación entre las

UFC de hongos y los géneros señalados respecto al NMR, CPM y AHS (anexo 8). Tampoco entre las variables de desarrollo radical y las de vigor de plantas de plátano (anexo 9).

Tabla 16.

Relación de la población total de fitonemátodos y los géneros encontrados en raíces con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características biológicas del suelo/vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTNR	*-0,25*	-0,44*	-0,24^{ns}
***Aphelenchus* sp.**	-0,05^{ns}	-0,07^{ns}	-0,03^{ns}
***Basiria* sp.**	0,07^{ns}	-0,01^{ns}	0,26^{ns}
***Helicotylenchus* sp.**	-0,24*	-0,02^{ns}	-0,28*
Helicotylenchus multicinctus.	0,02^{ns}	-0,18^{ns}	-0,08^{ns}
***Meloidogyne* sp.**	-0,20^{ns}	-0,24^{ns}	-0,13^{ns}
***Pratylenchus* sp.**	-0,29*	-0,36*	-0,15^{ns}
***Radopholus similis*.**	0,10^{ns}	0,19^{ns}	0,19^{ns}
***Rotylenchulus* sp.**	0,01^{ns}	-0,24^{ns}	-0,10^{ns}
***Tylenchus* sp.**	0,15^{ns}	0,07^{ns}	0,37*

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTNR: Población total de fitonemátodos en raíces. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Los resultados de poblaciones totales de bacterias no presentan correlaciones significativas (tabla 17), lo que implica que las poblaciones microbianas sobreviven con el aporte de nutrimentos añadidos por los fertilizantes (Acuña *et al.*, 2006). Sin embargo, para actinomicetos, se observaron correlaciones positivas y significativas respecto a NMR y AHS.

Tabla 17.
Relación de la población total de bacterias y actinomicetos encontrados en suelos con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características biológicas del suelo/vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTB	*0,05^{ns}	0,06^{ns}	-0,04^{ns}
PTA	0,18*	0,08^{ns}	0,16*

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTB: Población total de bacterias en suelos. PTA: Población total de actinomicetos en suelos. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Tabla 18.
Relación de carbono microbiano y respiración basal del suelo con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características biológicas del suelo/vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
Cmic	*0,03^{ns}	0,13*	0,13*
RB	-0,06^{ns}	0,07^{ns}	0,05^{ns}

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. Cmic: Carbono microbiano en suelos. RB: Respiración basal del suelo. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Por otra parte, se observa que no hay correlación lineal entre carbono microbiano y NMR, pero sí una correlación positiva y significativa entre esta variable y CPM y AHS. En cuanto a la respiración basal del suelo, no existe correlación con respecto a ninguna de las variables de vigor estudiadas (tabla 18).

3.7. Índice de calidad de suelos a partir de los datos físicos, químicos y biológicos de los suelos y del desarrollo radical de las plantas de plátano en el eje central de mayor producción del Sur del Lago de Maracaibo

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 19, el índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano en el horizonte 1 de lotes AV y BV ubica a estos suelos en una condición entre baja y moderada calidad del suelo; y, en el horizonte 2, muy baja, baja y moderada calidad del suelo.

Esos valores se ubican por debajo a los publicados por Herrera *et al.* (2017), quienes muestran que los índices se encuentran entre 0,53 y 0,58, y a su vez son similares a los indicados por Villareal-Núñez *et al.* (2013); se señalan mejores índices de calidad en las áreas de alta, en comparación con las de baja producción de banana ubicadas en la vertiente del Pacífico de Panamá.

Prieto-Méndez *et al.* (2013) obtuvieron el índice de calidad promedio de los suelos de 0,50, y lo clasificaron en la clase 3 de moderada calidad de suelos en la región cebadera del sur del estado de Hidalgo, México. Los mismos autores señalan que el valor del índice de calidad de suelo está fuertemente influenciado por la característica carbono orgánico, siendo la propiedad más afectada debido al manejo de estos suelos (sistema de monocultivo).

En líneas generales, se acentúa que los índices de mayor ponderación para el IACSCP fueron el iq, iam e idr. En referencia al iq, las características químicas de mayor influencia fueron conductividad eléctrica, materia orgánica, amonio, fósforo total y porcentaje de saturación de bases. Para iam, el carbono microbiano del suelo destacó la mejor condición en iam. En el caso de idr, las variables de longitud y volumen radical son las que mayor peso tuvieron en el índice mencionado (anexos 2, 4 y 5).

Tabla 19.
Indicadores e índice aritmético de calidad del suelo cultivados con plátano

Vigor	HOR	UP	Finca	if	iq	ib	idr	iam	IACSCP	Valor	Interp
AV	1	SD	1	0,33	0,56	0,25	0,8	0,625	2,57	3	M
AV	1	SB	2	0,33	0,67	0,00	0,2	0,500	1,70	2	B
AV	1	SI	3	0,33	0,67	0,50	0,8	0,375	2,68	3	M
AV	1	AGROP	4	0,33	0,67	0,25	0,2	0,625	2,08	2	B
AV	1	EB	5	0,00	0,56	0,50	0,2	0,625	1,89	2	B
AV	1	EB	6	0,00	0,67	0,50	0,4	0,625	2,20	2	B
AV	1	LMD	7	0,00	0,56	0,50	0,4	0,375	1,84	2	B
AV	1	PR	8	0,33	0,56	0,25	0,8	0,500	2,44	3	M
BV	1	SD	1	0,33	0,56	0,25	0,8	0,500	2,44	3	M
BV	1	SB	2	0,33	0,56	0,00	0,8	0,375	2,07	2	B
BV	1	SI	3	0,33	0,56	0,25	0,6	0,500	2,24	2	B
BV	1	AGROP	4	0,33	0,56	0,50	0,6	0,500	2,49	2	B
BV	1	EB	5	0,33	0,67	0,00	0,2	0,750	1,95	2	B
BV	1	EB	6	0,33	0,67	0,25	0,4	0,625	2,28	2	B
BV	1	LMD	7	0,33	0,67	0,50	0,6	0,625	2,73	3	M
BV	1	PR	8	0,33	0,67	0,50	0,6	0,875	2,98	3	M
AV	2	SD	1	0,33	0,56	0,50	0,8	0,250	2,44	3	M
AV	2	SB	2	0,33	0,67	0,25	0,6	0,125	1,98	2	B
AV	2	SI	3	0,33	0,44	0,25	0,2	0,375	1,60	2	B

(*Continúa*)

Vigor	HOR	UP	Finca	if	iq	ib	idr	iam	IACSCP	Valor	Interp
AV	2	AGROP	4	0,00	0,56	0,00	0,2	0,625	1,39	1	MB
AV	2	EB	5	0,33	0,67	0,75	0,4	0,625	2,78	3	M
AV	2	EB	6	0,00	0,67	0,75	0,6	0,375	2,40	3	M
AV	2	LMD	7	0,33	0,67	0,50	0,4	0,625	2,53	3	M
AV	2	PR	8	0,33	0,56	0,75	0,6	0,750	2,99	3	M
BV	2	SD	1	0,00	0,44	0,00	0,2	0,250	0,89	1	MB
BV	2	SB	2	0,33	0,56	0,25	0,2	0,125	1,47	2	B
BV	2	SI	3	0,00	0,44	0,25	0,2	0,250	1,14	1	MB
BV	2	AGROP	4	0,33	0,44	0,50	0,2	0,250	1,72	2	B
BV	2	EB	5	0,33	0,67	0,50	0,2	0,625	2,33	3	M
BV	2	EB	6	0,33	0,67	0,25	0,0	0,375	1,63	2	B
BV	2	LMD	7	0,00	0,56	0,25	0,4	0,625	1,84	2	B
BV	2	PR	8	0,33	0,56	0,25	0,2	0,500	184	2	B

AV: Lotes de alto vigor de plantas de plátano. BV: lotes de bajo vigor de plantas de plátano. HOR: Horizonte. UP: Unidad de producción. SD: Unidad de producción San Diego. SB: Unidad de producción San Benito. SI: Unidad de producción San Isidro. AGROP: Unidad de producción Agropecuaria Dos Rios. EB: Unidad de producción El Bosque. LMD: Unidad de producción La Mano de Dios. PR: Unidad de producción Puerto Rico. if: índice físico. iq: índice químico. ib: índice biológico. idr: índice de desarrollo radical. iam: índice de actividad microbiana del suelo. IACSCP: índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano. Valor: Condición de la calidad del suelo expresado de forma cuantitativa. Interp: Interpretación. MB: Muy baja calidad del suelo. B: Baja calidad del suelo. M: Moderada calidad del suelo.

El análisis de regresión múltiple entre CondICSCP y los IACS-CP por cada punto permitió establecer el modelo predictivo, y su valor de determinación R^2 arrojó que el modelo general para IACSCP predice el 78,71% de la variabilidad (R- cuad. Pred) (tabla 20), siendo el modelo significativo (tabla 21).

Tabla 20.

Análisis de regresión R2 para el modelo general del IACSCP

Modelo general para IACSCP	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	S (error estándar de la estimación)
1	81,14 %	80,51%	78,71%	0,284535

Cuadro 21.

Análisis de varianza para el modelo general IACSCP

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor p
Regresión	1	10,4462	10,4462	0,000
IACSCP	1	10,4462	10,4462	0,000
Error	30	2,4288	0,0810	
Falta de ajuste	26	2,4288	0,0934	
Error puro	4	0,0000	0,0000	
Total	31	12,8750		

IACSCP: Índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano. Gl: Grados de libertad. SC Ajust: Suma de cuadrados ajustados. MC Ajust: Cuadrados medios ajustados.

Con base en los cuadros anteriores, se estableció la siguiente ecuación de regresión para el IACSCP:

$$\text{Valor} = -0{,}052 + 1{,}1223\ \text{IACSCP}$$

Igualmente, los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo predicen para el análisis de regresión el 78,10 % de la variabilidad (R- cuad. pred) (tabla 22). Además, se observa que los índices químicos y la actividad microbiana del suelo resultaron no significativos (tabla 23).

Tabla 22.

Análisis de regresión R2 para los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiológica del suelo del modelo general de IACSCP

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	S (error estándar de la estimación)
86,29 %	83,29 %	78,10 %	0,266715

Tabla 23.

Análisis de varianza para los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiológica del suelo del modelo general de IACSCP

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor p
Regresión	5	10,9958	2,19915	0,000
If	1	1,4553	1,45533	0,000
Iq	1	0,0872	0,08720	0,279
Ib	1	2,8066	2,80655	0,000
Idr	1	1,6475	1,64752	0,000
Iam	1	0,2471	0,24711	0,074
Error	25	1,7784	0,07114	
Falta de ajuste	24	1,7784	0,07410	
Error puro	1	0,0000	0,00000	
Total	30	12,7742		

if: índice físico. iq: índice químico. ib: índice biológico. idr: índice de desarrollo radical. iam: índice de actividad microbiana del suelo. Gl: Grados de libertad. SC Ajust: Suma de cuadrados ajustados. MC Ajust: Cuadrados medios ajustados.

En tal sentido, se estableció la siguiente ecuación de regresión para los índices:

Valor = 0,176 + 1,625 if + 0,820 iq + 1,084 idr + 0,550 iam + 1,475 iab

El modelo general de IACSCP de AV predijo el 74,10 % de la variabilidad (R- cuad. pred) (tabla 24), siendo el modelo significativo (tabla 25).

Tabla 24.
Análisis de regresión R2 para el modelo general del IACSCP de lotes de plantas de plátano de alto vigor

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	S (error estándar de la estimación)
81,75 %	80,45 %	74,10 %	0,278188

Tabla 25.
Análisis de varianza para el modelo general del IACSCP de lotes de plantas de plátano de alto vigor

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor p
Regresión	1	4,85406	4,85406	0,000
IACSCP	1	4,85406	4,85406	0,000
Error	14	1,08344	0,07739	
Falta de ajuste	13	1,08344	0,08334	
Error puro	1	0,0000	0,0000	
Total	15	5,93750		

IACSCP: Índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano. Gl: Grados de libertad. SC Ajust: Suma de cuadrados ajustados. MC Ajust: Cuadrados medios ajustados.

Tabla 26.
Análisis de regresión R2 para los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo de lotes de plantas de plátano de alto vigor

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	S (error estándar de la estimación)
87,72 %	81,58 %	63,46 %	0,270001

De esta manera, la ecuación de regresión para el modelo de ICSCP de AV fue la siguiente:

Valor = -0,322 + 1,243 IACSCP

Además, en la tabla 26 observamos que los índices de AV predicen el 63,46 % de la variabilidad, donde el iq y el iam resultaron no significativos (tabla 27).

Tabla 27.
Análisis de varianza para los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo de lotes de plantas de plátano de alto vigor

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor p
Regresión	5	5,20849	1,04170	0,000
If	1	0,76385	0,76385	0,009
Iq	1	0,00657	0,00657	0,770
Ib	1	1,14467	1,14467	0,003
Idr	1	0,98917	0,98917	0,004
Iam	1	0,11601	0,11601	0,236
Error	10	0,72901	0,07290	
Total	15	5,93750		

if: índice físico. iq: índice químico. ib: índice biológico. idr: índice de desarrollo radical. iam: índice de actividad microbiana del suelo. Gl: Grados de libertad. SC Ajust: Suma de cuadrados ajustados. MC Ajust: Cuadrados medios ajustados.

La ecuación de regresión de los índices de AV que se obtuvo fue la siguiente:

Valor = 0,462 + 1,573 if + 0,30 iq + 1,311 idr + 0,560 iam + 1,311 ib

Por su parte, el modelo general de IACSCP para BV predijo el 75,14 % de variabilidad (tabla 28), y además es significativo (tabla 29).

Tabla 28.
Análisis de regresión R2 para el modelo general del IACSCP de lotes de plantas de plátano de bajo vigor

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	S (error estándar de la estimación)
80,28 %	78,87 %	75,14 %	0,301132

Tabla 29.
Análisis de varianza para el modelo general del IACSCP de lotes de plantas de plátano de bajo vigor

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor p
Regresión	1	5,16798	5,16798	0,000
IACSCP	1	5,16798	5,16798	0,000
Error	14	1,26952	0,09068	
Falta de ajuste	13	1,26952	0,09766	
Error puro	1	0,0000	0,0000	
Total	15	6,43750		

ICSCP: índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano. Gl: Grados de libertad. SC Ajust: Suma de cuadrados ajustados. MC Ajust: Cuadrados medios ajustados.

Así, la ecuación de regresión para el modelo de IACSCP de BV es la siguiente:

$$\text{Valor} = 0{,}107 + 1{,}043\ \text{IACSCP}$$

Los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo para BV predijeron el 68,17 % (tabla 30). No obstante, el if, iq e iam resultaron no significativos (tabla 31).

Tabla 30.
Análisis de regresión R2 para los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo de lotes de plantas de plátano de bajo vigor

R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)	S (error estándar de la estimación)
86,37%	78,80%	68,17%	0,311278

Tabla 31.
Análisis de varianza para los índices físicos, químicos, biológicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo de lotes de plantas de plátano de bajo vigor

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust.	Valor p
Regresión	5	5,52796	1,10559	0,001
If	1	0,12950	0,12950	0,277
Iq	1	0,11161	0,11161	0,311
Ib	1	1,21263	1,21263	0,006
Idr	1	0,51601	0,51601	0,046
Iam	1	0,00582	0,00582	0,812
Error	10	0,87204	0,09689	
Total	15	6,40000		

if: índice físico. iq: índice químico. ib: índice biológico. idr: índice de desarrollo radical. irbs: índice de actividad microbiana del suelo. Gl: Grados de libertad. SC Ajust: Suma de cuadrados ajustados. MC Ajust: Cuadrados medios ajustados.

En consecuencia, la ecuación de regresión obtenida de los índices de BV es la siguiente:

Valor = -0,439 + 1,060 if + 2,40 iq + 0,948 idr + 0,200 iam + 1,744 ib

Con el fin de entender mejor la estructura de la correlación existente entre las variables del suelo consideradas, así como la interrelación entre estas y los sitios estudiados, se realizó

un análisis de componentes principales (ACP) con las variables físicas, químicas y biológicas del suelo, así como con el desarrollo radical de las plantas. Con la aplicación del ACP se lograron separar claramente los sitios de acuerdo con las características antes mencionadas. También se logró reducir la matriz de datos originales, pues se generó un grupo de nuevas variables (componentes principales) que concentraron el máximo de la variabilidad que podían presentar los suelos estudiados.

Tabla 32.
Análisis de componentes principales de las características del suelo estudiadas

Variable	PC1	PC2	PC3
HOR	-0,091	-0,171	-0,185
ARC	-0,087	0,083	0,391
LIM	0,203	-0,232	-0,047
ARE	-0,201	0,231	0,008
RIA	0,079	-0,101	-0,350
DA	-0,015	-0,028	-0,244
K	0,036	0,032	-0,092
PH	0,162	-0,037	0,178
CE	0,221	-0,050	-0,002
MO	0,253	0,117	0,116
NT	-0,098	0,048	0,007
AMON	0,074	-0,080	0,176
PT	0,277	0,023	-0,082
SC	0,316	-0,064	0,129
CICE	0,316	-0,067	0,123
%SB	0,108	0,044	0,143
PTNS	-0,256	0,100	-0,031
Hongos	0,034	0,026	0,285
Bact	-0,075	0,060	-0,094

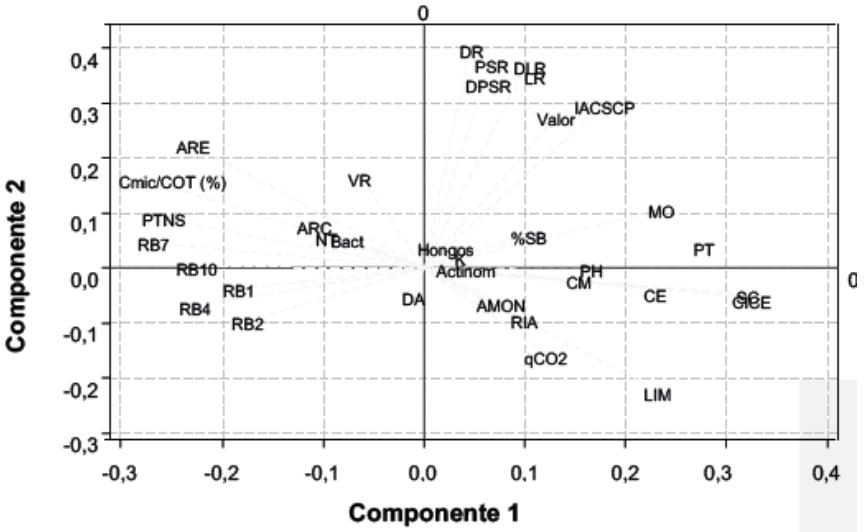
(*Continúa*)

Variable	PC1	PC2	PC3
Actinom	0,027	-0,025	-0,249
CM	0,150	-0,023	0,185
RB1	-0,177	-0,023	0,037
RB2	-0,160	-0,092	0,334
RB4	-0,210	-0,056	0,253
RB7	-0,256	0,041	0,181
RB10	-0,213	0,020	0,004
Cmic/COT (%)	-0,241	0,155	-0,152
qCO_2	0,116	-0,146	0,176
PSR	0,086	0,369	0,012
DPSR	0,071	0,369	-0,019
LR	0,115	0,333	-0,009
DLR	0,115	0,334	-0,008
DR	0,065	0,392	0,028
VR	-0,052	0,161	0,120
IACSCP	0,169	0,240	-0,136

Hor: Horizonte. ARC: Arcilla. LIM: Limo. ARE: Arena. RIA: Rango de índice de arcillas. DA: Densidad aparente. K: Conductividad hidráulica saturada. PH: pH. CE: Conductividad eléctrica. MO: Materia orgánica. NT: Nitrógeno total. AMON: Amonio. PT: Fósforo total. SC: Suma de cationes. CICE: Capacidad de intercambio catiónico efectiva. %SB: Saturación de bases. PTNS: Población total de nemátodos en suelos. Hongos: UFC de hongos en suelos. Bact: UFC de bacterias en suelos. Actinom: UFC de actinomicetos en suelos. CM: Carbono microbiano. RB1, RB2, RB4, RB7, RB 10: Respiración basal del suelo al primer, segundo, cuarto, séptimo y décimo día. Cmic/COT (%): Cociente microbiano. qCO_2: Cociente metabólico. PSR: Peso seco radical. DPSR: Densidad de peso seco radical. LR: Longitud radical. DLR: Densidad de longitud radical. DR: Diámetro radical. VR: Volumen radical. IACSCP: índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano.

Los primeros tres componentes acumularon el mayor porcentaje de varianza (99,6 %), y por tal razón fueron los únicos considerados en el análisis (anexo 10). En este sentido, se observó que el PC1 presentó una correlación positiva con LIM, PH, CE, MO, PT, SC, CIC, %SB, CM, qCO_2, LR, DLR e IACSCP y una correlación negativa con HOR, ARC, ARE, DA, NT, PtNS, Bact, RB1, RB2, RB4, RB7, RB10, Cmic/COT (%) y VR. Con el resto de

Figura 31.
Proyección de los sitios de estudio con relación a los CP1 y CP2



ARC: *Arcilla*. LIM: *Limo*. ARE: *Arena*. RIA: *Rango de índice de arcillas*. DA: *Densidad aparente*. K: *Conductividad hidráulica saturada*. PH: *pH*. CE: *Conductividad eléctrica*. MO: *Materia orgánica*. NT: *Nitrógeno total*. AMON: *Amonio*. PT: *Fósforo total*. SC: *Suma de cationes*. CICE: *Capacidad de intercambio catiónico efectiva*. %SB: *Saturación de bases*. PTNS: *Población total de nemátodos en suelos*. Hongos: *UFC de hongos en suelos*. Bact: *UFC de bacterias en suelos*. Actinom: *UFC de actinomicetos en suelos*. CM: *Carbono microbiano*. RB1, RB2, RB4, RB7, RB 10: *Respiración basal del suelo al primer, segundo, cuarto, séptimo y décimo día*. Cmic/COT (%): *Cociente microbiano*. qCO2: *Cociente metabólico*. PSR: *Peso seco radical*. DPSR: *Densidad de peso seco radical*. LR: *Longitud radical*. DLR: *Densidad de longitud radical*. DR: *Diámetro radical*. VR: *Volumen radical*. IACSCP: *índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano*.

las variables la correlación es casi nula (tabla 32). Por su parte, el PC2 presentó una correlación positiva con respecto a ARE, MO, PT, PtNS, Cmic/COT (%), IACSCP y todas las características de desarrollo radical evaluadas. También se distingue una correlación negativa entre este componente y HOR, LIM, DA, RIA, PH, CE, AMON, SC, CIC, Actinom, CM, RB1, RB2, RB4 y el qCO_2 (tabla 32).

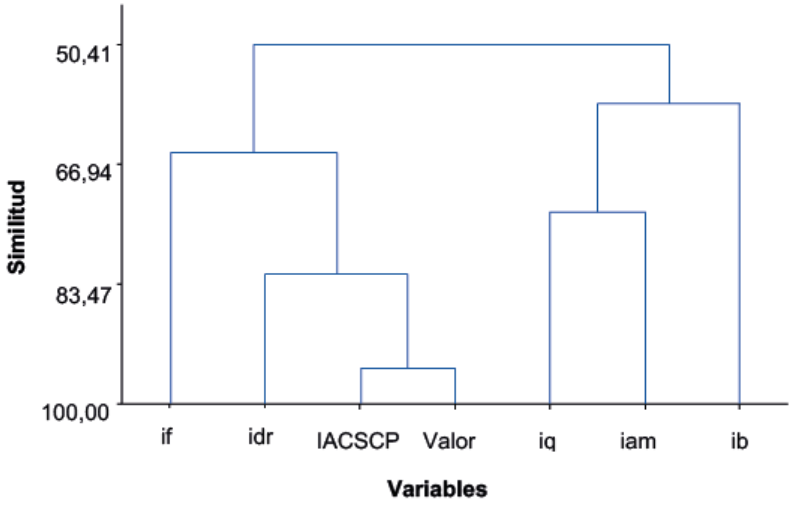
De igual forma, para el PC3, se observó una correlación positiva con ARC, PH, MO, AMON, SC, CIC, %SB, Hongos, CM, RB2, RB4, RB7, qCO_2 y VR. Finalmente, se refleja una correlación negativa entre PC3 y HOR, LIM, AREN, K, DA, RIA, CE, PT, PtNS, Bact, Actinom, Cmic/COT (%), DPSR, LR, DLR e IACSCP (tabla 32).

Torres *et al.* (2006) destacan un grupo de variables físicas y químicas asociadas entre sí —unas positivas y otras negativas—, y así muestran una correlación positiva entre DA y el PC2, y el MO respecto a PC1 y PC2. En cuanto a la conductividad hidráulica, los autores señalan una correlación positiva con PC2 en ultisoles bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista.

En la figura 31 se puede apreciar que las características SC, CICE, PT, LIM y CE tienen influencia positiva en el componente 1; y DR, PSR, DPSR, DLR, LR e IACSCP la tienen en el componente 2. La densidad aparente, el pH, y el CM, así como las UFC de hongos y actinomicetos tienen una relación casi nula con los componentes 2 y 1. La RB1, la RB2 y la RB4 tienen influencia negativa sobre los componentes 1 y 2.

Por último, se realizó un dendograma que agrupa los índices de calidad del suelo, y en él es posible observar tres grupos bien definidos: el primero, con un nivel de similitud aproximadamente de 50,41, que agrupa todas las variables; el segundo, con una similitud de 58,51 y que agrupa iq, iam, ib; y, el tercero, con similitud de 65,33, que agrupa if, idr, IACSCP. De esta manera, los valores de calidad del suelo son los siguientes: muy baja, baja, moderada y alta (figura 32).

Figura 32.
Dendograma resultante del análisis de agrupamiento jerárquico para los índices de calidad de suelos cultivados con plátano



if: índice físico. idr: índice de desarrollo radical. IACSCP: índice aritmético de calidad de suelos cultivados con plátano. Valor: valor nominal del índice aritmético (muy baja, baja, moderada y alta calidad del suelo). iq: índice químico. iam: índice de actividad microbiana del suelo. ib: índice biológico.

Capítulo IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: índice de calidad de suelos cultivados con plátano en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo

"Sea la solución a la contaminación del suelo."

Organización de las Naciones Unidades
para la Agricultura y Alimentación.
(FAO, 2018).

Conclusiones

- Los parámetros de vigor de las plantas: número de manos por racimo, circunferencia de la planta madre y la altura del hijo de sucesión fueron superiores en los lotes de alto vigor.

- La textura es una variable que afecta el comportamiento de otras variables físicas en estos suelos, aun cuando no se observaron diferencias estadísticas para las características físicas estudiadas, se apreció un mayor porcentaje de limo y contenido de humedad en suelos de lotes de plantas AV con respecto a BV. Por su parte, los suelos BV presentaron un porcentaje de arena, lo cual explica el menor porcentaje de humedad y la mayor infiltración básica e instantánea en esos suelos.

- En general, los suelos presentaron un alto porcentaje de limo, y fueron clasificados dentro del grupo textural de los franco-limosos. Esta condición, aunada a las condiciones de manejo, podría conducir a efectos indeseables como el sellado superficial, encostramiento y aumento en la compactación de los suelos.

- Los valores de moderada a alta resistencia a la penetración fueron asociados con alto porcentaje de limo. Esto trae como consecuencia una disminución en el crecimiento de las raíces a medida que aumenta la resistencia del suelo a la penetración en la mayoría de los cultivos, el cual puede llegar a detenerse completamente con valores cercanos a 3 Mpa (3000 Kpa), y este hecho fue observado en la investigación: la presencia abundante de raíces en la mayoría de los perfiles de cada unidad de producción se concentró en los primeros 20 cm de profundidad.

- La velocidad de infiltración básica e instantánea permite concluir que el comportamiento de esta variable también es influenciado por la textura limosa de estos suelos.

- La medición de pH determinó un intervalo de moderada a ligeramente ácido en ambos lotes de plantas de plátano con diferente vigor.

- Desde el punto de vista químico, estos suelos no parecen tener problemas de fertilidad; sin embargo, el alto porcentaje de materia orgánica y la baja concentración de nitrógeno indican una alta relación carbono-nitrógeno.

- Se identificaron doce géneros de fitonemátodos, tanto en los suelos como en las raíces del cultivo de plátano, lo que indica una alta diversidad de este grupo, con la mayor población total de individuos en las muestras de suelos, y es significativa la presencia de *Helicotylenchus multicinctus*, *Radopholus similis*, *Meloidogyne* sp en los lotes AV y *Helicotylenchus* sp., *Pratylenchus* sp., y *Rotylenchus* sp. en los lotes BV.

- Se identificaron tres hongos fitopatógenos: *Aspergillus* sp, *Fusarium* spp, *Penicillium* sp en suelos cultivados con plátano; de estos, *Aspergillus* sp. presentó diferencias entre los lotes de vigor. Además, se presume que la mayor presencia de UFC de los hongos identificados en cada lote de vigor se deba al pH del suelo.

- La cantidad de UFC de actinomicetos es baja comparada con valores de referencia; sin embargo, se presentaron diferencias estadísticas entre los lotes de vigor.

- En cuanto a la actividad microbiana del suelo, se observaron tendencias mayores de Cmic en los lotes AV, y de

$C\text{-}CO_2$ mayor en BV. Esto probablemente se deba a los contenidos de humedad en el suelo, materia orgánica y al manejo del suelo que le dan los productores de la zona.

- La mayor densidad de peso radical fresco y seco en el primer horizonte del suelo y en todas las distancias laterales evidencia mayor y mejor desarrollo de las raíces en la primera capa del suelo. También se encontraron, para el diámetro y el volumen radical, valores relativamente mayores en el primer horizonte del suelo con respecto al segundo. Este comportamiento se explica por una mayor resistencia a la penetración encontrada con el aumento de la profundidad del suelo.

- En cuanto a la relación de las variables de suelos y los parámetros de vigor, el mayor porcentaje de arena, densidad aparente, infiltración básica e instantánea encontrados en los suelos incide en un menor número de manos por racimo, mientras que el mayor porcentaje de limo, humedad y saturación de bases favoreció el número de manos por racimo.

- En cuanto a la microbiota del suelo, no se observa una correlación entre la población total de nemátodos en el suelo y las variables de vigor estudiadas, pero sí una correlación negativa entre la población total de nemátodos en raíces y las variables de vigor. Por lo tanto, este indicador estudiado tiene un efecto importante en el vigor de las plantaciones.

- Los suelos estudiados presentaron un índice de calidad de moderado a bajo en ambos lotes de plantas (bajo y alto vigor), siendo los índices químicos, desarrollo radical y actividad microbiana del suelo los que mayor influencia tuvieron en el índice de calidad del suelo. Los índices obtenidos muestran que, en algunas fincas, las diferencias

entre los lotes de alto y bajo vigor son muy estrechas. Posiblemente un factor de gran influencia es que los productores hacen un manejo indiferenciado del cultivo, sin considerar los rendimientos y las propiedades físicas, químicas y biológicas que presenta el suelo.

Recomendaciones

- En aras de mejorar las características químicas y microbiológicas de los suelos que resultaron más limitantes, se recomienda cambiar el esquema de fertilización química tradicional por un enfoque agroecológico que implique incentivar el uso de abonos orgánicos que estimulen una mayor actividad microbiana en el suelo y mejoren la salud de los suelos.

- Debido a que el índice de calidad de los suelos cultivados con plátano es una herramienta útil que permite a los productores aplicar mejores técnicas de manejo con el fin de aumentar la productividad, y que, a su vez, no afecten negativamente las características de los suelos, se recomienda socializar estos resultados con los productores a fin de orientar las estrategias a implementar para mejorar las características de suelos limitantes.

- Se recomienda el acompañamiento a los productores a través de charlas y talleres de concienciación, y la implementación de buenas prácticas agrícolas con el fin de mejorar el bajo índice de calidad de estos suelos.

Referencias bibliográficas

Abreu, Y. (2007). *Salud y desarrollo radical de banano (Musa AAA) en sistemas de producción en "San Mateo" Estado Aragua* [Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía].

Abreu, E., Gutiérrez, A., Quintero, M., Molina, L., Anido, J., Ablan, E., Cartay, R., & Mercado, C. (2007). *El cultivo del plátano en Venezuela. Desde el campo hasta la mesa.* Fundación Empresas-Polar.

Acosta, Y., Cayama, J., Gómez, E., Reyes, N., Rojas, D., & García, H. (2006). Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(3), 220-227.

Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J., & Segura, A. (2006). La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos *Reunião Internacional da Associação para a Cooperaçãonas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical* (ACORBAT) (pp. 222-233).

Adachi, M., Sakata, Y., Rashidah, W., Okuda, T., & Koizumi, H. (2006). Differences in soil respiration between different tropical ecosystems. *Appl. Soil Ecol.*, 34(2-3), 258-265.

Adriano-Anaya, M., Herrera-López, D., Albores-Flores, V., Salvador-Figueroa, M., & Velasco-Zebadua, M. (2008). Nemátodos endorrizosféricos del banano (Musa AAA. subgrupo Cavendish) clon «Grande Naine» en el Soconusco, Chiapas, México. *Rev. Mex. Fitopatol.*, 26(2), 147-152.

Agnelli, A., Ugolini, F., Corti, G., & Pietramellara, G. (2001). Microbial biomass-C and basal respiration of fine earth and highly altered rock fragments of two forest soils. *Soil Biol. Biochem*., 33, 613-620.

Agrios, G. (2005). *Fitopatología*. Editorial Limusa.

Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Academic Press.

Álvarez, J. (2009). La calidad microbiológica del suelo y del compost del parque Itchimbía en su proceso de recuperación [Trabajo de grado, Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida].

Alves da Silva, J., Dourado, D., & Da Costa, É. (2007). Atributos químicos e físicos de solos cultivados com bananeira 'prata-anã' (aab), em três níveis de produtividade, no norte de minas gerais. *Rev. Bras. Frutic*., *29*(1), 102-106.

Anderson, T., & Domsch, K. (1989a). Application of eco-physiological quotients (qCO2 and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Bioch*., *22*(2), 251-255.

Anderson, T., & Domsch, K. (1989b). Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Bioch*., *21*(4), 471-479.

Anderson, J., & Ingram, J. (1993). *Tropical soil Biology and fertility: A handbook of methods*. CAB International.

Anido, J., & Cartay, R. (2010). *El plátano en la gastronomía venezolana* (*Musa paradisiaca cv Hartón*). Centro de Investigaciones Agroalimentarias (CIAAL), Editorial Océano.

Aranguren, Y. A., Castellanos, L., & Escalante, J. C. (2020). Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) en frutales de Colombia y su comparación con investigaciones internacionales. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 27–37. https://doi.org/10.24054/cyta.v5i1.794

Araya, M., Serrano, E., & Vargas, A. (2011). Relación entre el contenido de nutrientes en suelo y raíces de banano (Musa AAA) con el peso de raíces y número de nemátodos. *Revista Fitosanidad*, 15(3), 163-177.

Araya, M. (2003a). Distribución y estratificación del sistema radical en Musa AAA (Subgrupo Cavendish cvs Valery y Grand Nain). En: *Simposium internacional: Sistema radical de banano (hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo*). International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP), Corporación Bananera Nacional (CORBANA).

Araya, M. (2003b). Situación actual del manejo de nemátodos en banano (Musa AAA) y plátano (Musa AAB) en el Trópico Americano. En: G. Rivas, y F. Rosales (Eds.). *Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas. International Network for the Improvement of Banana and Plantain* (INIBAP). La Red Latinoamericana y del Caribe para la Investigación y el Desarrollo de las Musáceas (MUSALAC).

Arias, F. (2006). *El proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología científica.* Editorial Episteme.

Assi Bou Assi, K., Guillén, J., Labarca, J., Casassa, A., Paredes, C., Casanova, M., & Sandoval, L. (2009). Nemátodos fitoparasíticos asociados al cultivo del plátano (Musa AAB. cv. Hartón) en bosque seco tropical. *Rev. UDO Agrícola*, 9(1), 199-207.

Avilán, L., Meneses, R., Sucre, C., Corta, M., & Sangle, O. (1980). Distribución del sistema radical del banano "pineo gigante" bajo cuatro sistemas de manejo de suelo. *Rev. Agro. Trop.*, 29(4), 299-312.

Bautista, A., Etcheverry, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97.Bautista, L., Bolaños, M., Massae, A., & Villegas, B. (2015). Respuesta de fitonemátodos de plátano Musa AAB Simmonds a estrategias de manejo integrado del suelo y nutrición. *Revista Luna Azul*, (40), 69-84.

Badri, D., & Vivanco, J. (2009). Regulation and function of root exudates. *Plant, Cell and Environment*, 32(6), 666-681.

Belalcázar, S. (1995). Cultivo de plátano en altas densidades, una nueva posición. *Informaciones Agronómicas*, (20), 1-4.

Belalcázar, S. (1991). *El cultivo del plátano (Musa AAB Simmonds) en el trópico. Manual de asistencia técnica* N° 50. *Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo CIID (IDRC), Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano (INIBAP).

Belalcázar, S., Rosales, E., & Pocasangre, L. (2003). Formación y desarrollo de raíces de plátano (Musa AAB Simmonds). En: *Simposium internacional: Sistema radical de banano (hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo)*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP), Corporación Bananera Nacional (CORBANA).

Berrocal, E., Durango, J., Barrera, J., & Díaz, B. (2009). Evaluación de formas de fósforo en suelos cultivados con plátano. *Acta Agronómica*, 58(3), 152-159.

Blake, G., & Hartge, K. (1986). Bulk density. En: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis, Part I: Physical and mineralogical methods.* (2ª ed., nro. 9). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Blomme, G., Teugels, K., Blanckaert, I., Sebuwufu, G., Swennen, R., & Tenkouano, A. (2003). Metodologías para la evaluación del sistema radical en Musa spp. En: *Simposium Internacional: Sistema radical de banano (hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo). Red Internacional para el mejoramiento del banano y plátano (INIBAP)*. Corporación Bananera Nacional (CORBANA).

Bolan, N., & Kandaswamy, K. (2005). pH. En: D. Hillel, H. Hatfield, K. Scow, D. Powlson, M. Singer, C. Rosenzweig, & D. Sparks (Eds.). *Encyclopedia of soils in the environment*. Academic Press.

Bradford, J. (1986). Penetrability. En: A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods*. (2ª edición, nro. 9). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Buelvas J. M. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28-34. https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcyta/article/view/1080

Busse, M., Ratcliff, A., Shestak, C., & Powers, R. (2001). Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 1777-1789.

Castellanos González, L., González Pedraza, A. F., & Capacho Mogollón, A. E. (2021). Caracterización de los suelos de seis municipios en el Norte de Santander. *INGE CUC* 17(1): 69-80. http://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.06

Camberato, J. (2001). Nitrogen in soil and fertilizers. *South Carolina Turfgrass Foundation News*, 8, 6-10.

Cardona, G., Peña-Venegas, C., & Ruiz-García, M. (2009). Comunidades de hongos actinomicetos en tres tipos de vegetación de la Amazonia colombiana: abundancia, morfotipos y el gen 16s ADNr. *Revista Biología Tropical*, 57(4), 1119-1139.

Casaca, A. (2005). *El cultivo del plátano. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales*. Proyecto de Modernización de los Servicios de Transferencia de Tecnología Agrícola (PROMOSTA).

Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

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 [Trabajo de grado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)].

Chávez, A. (2015). Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras [Trabajo de grado, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, Honduras].

Chávez, L. (1991). Población de nemátodos en plátano (*Musa* AAB) en el sur del lago de Maracaibo [ponencia]. *Memorias XII Congreso Venezolano de Fitopatología*.

Chen, C., Condron, L., Davis, M., & Sherlock, R. (2004). Effects of plant species on microbial biomass phosphorus and phosphatase activity in a range of grassland soils. *Biology and Fertility of Soils*, 40, 313-322.

CIREN (2009). *Determinación de erosión actual y fragilidad de suelos en la* V *región*. Centro de Información de Recursos Naturales. http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/publica/Erosion_v_region_CIREN.pdf

Consejo Comunal Bancada de Limones (2016). *Censo de productores de plátano de la parroquia el Moralito, sector Bancada de Limones*.

Consejo Comunal Caño Negro (2016). *Censo de productores de plátano de la parroquia el Moralito, sector Caño Negro*.

Crozzoli, R. (2009). Nematodes of tropical fruit crops in Venezuela. En: A. Ciancio, & K. Mukerji (Eds.), *Integrated management of fruit crops and forest nematodes*. Springer.

Crozzoli, R. (2002). Especies de nemátodos fitoparasíticos en Venezuela. *Interciencia*, *27*(7), 354-364.

Cubero, D. (1994). *Manual de manejo y conservación de suelos y aguas*. Universidad Estatal a Distancia.

Dalurzo, H., Toledo, D., & Vázquez, S. (2005). Estimación de parámetros químicos y biológicos en oxisoles con uso citrícola. *CI. Suelo (Argentina)*, *23*(2), 159-165.

Das, A., & Mukherjee, D. (2000). Soil application of insecticides influences microorganisms and plant nutrients. *Applied Soil Ecology* ,14, 55-62.

De Berrios, O., & Briceño de Gómez, M. (2009). Enfoques epistemológicos que orientan la investigación de 4to. Nivel. *Visión Gerencial*.

Delgado, R., Castro, L., Cabrera de Bisbal, E., Mújica, M., Caniche, S., Navarro, L., & Noguera, I. (2008a). Relación entre propiedades físicas del suelo y algunas características del sistema radical del maíz, cultivado en un suelo Fluventic Haplustoll de textura franco-arenosa de Maracay, Venezuela. *Agronomía Tropical*, *58*(3), 245-255.

Delgado, E., Gómez, N., González, O., & Marín, C. (2008b). Evaluación a nivel de finca del efecto de la alta densidad de siembra en plátano (Musa AAB cv. Subgrupo plátano Hartón), municipio Obispo, Barinas, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, *25*, 603-616.

De la Peña, C., Dayakar, B., & Loyola, V. (2012). Plant Root Secretions and Their Interactions with Neighbors. En: J. Vivanco y F. Baluŝka (Eds.), *Secretions and Exudates in Biological Systems* (pp. 1-27). Springer, London.

Delvaux, B. (1995). Soils. En: S. Gowen (Ed.), *Bananas and Plantains* (pp. 230-257). Springer.

Domsch, K., Gams, W., & Anderson, T. (1980). *Compendium of Soil Fungi*. London, Reino Unido: Academic Press.

Donado, L. (2004). *Modelo de conductividad hidráulica en suelos* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería].

Draye, X., Lecompte, F., & Pagès, L. (2003). Distribución de las raíces de banano en tiempo y espacio. En: *Simposium Internacional: Sistema radical de banano (hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo)*. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano (INIBAP).

Drinkwater, L., Cambardella, C., Reeder, J., & Rice, C. (1996). Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. En: J. W. Doran, & A. J. Jones (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality* (pp. 217-230). Soil Science Society of America Inc.

Dropkim, V. (1989). *Introduction to Plant Nematology*. John Wiley & Sons.

Echeverri, J. (2018). Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia].

Escalante, J. C., & Fuenmayor, E. (2020). Estandarización de los criterios físicos de calidad del fruto del plátano hartón (Musa AAB) en función de su comercialización. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 21–26. https://doi.org/10.24054/cyta.v5i1.790

Evans, R. (1980). Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: An empirical viewpoint. En: M. Kirby, & R. Morgan (Eds.), *Soil Erosion* (pp. 102-128). Wiley, Chichester.

Fernández, C., Porporato, A., Laio, F., & Rodríguez, I. (2001). The ecohydrological role of soil texture in a water-limited ecosystem. *Water Resources Research*, 37(12), 2863–2872.

Fleck, A., & Munro, H. (1965). The determination of organic nitrogen in biological materials. *Clinica Chimica Acta*, 2, 2-12.

Florentino, A. (1999). Evaluación y diagnóstico de las condiciones hidrológicas del suelo, infiltración, flujo, retención y disponibilidad de agua [Guía de práctica, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Cátedra de Edafología aplicada I].

Flores, Y. E., Romero, A. J., Torres, A. M., Briceño, F. A., & García, A. J. (2021). Efecto de abonos biológicos y fertilizantes químicos en el cultivo de maíz, FLASA Cojedes Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 21–27. https://doi.org/10.24054/cyta.v6i1.1079.

Fondo para el Desarrollo Agrario Socialista (FONDAS) (2014). *Base de datos de cartera crediticia de la zona sur del lago de Maracaibo. Santa Bárbara de Zulia, Venezuela.*

García, G., Reyes, O., Levasseur, V., & Mathieu, M. (2012). *Manual técnico de conservación de suelo y agua*. SOCODEVI-CECI, Proyecto PROSOL.

Gardner, W. (1986). Water content. En: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods* (pp. 493-544). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Gaublomme, E., De Vos, B., & Cools, N. (2006). *An indicator for Microbial Biodiversity in Forest Soils*. INBO. R.2006.40 Instituutvoor Natuur- en Bosonderzoek.

Gauggel, C., Moran, D., & Gurdian, E. (2003). Interrelations between the soil chemical properties and the banana plant root system. En: D. Turner, & F. Rosales (Eds.), *Banana root system: Towards a better understanding for its productive management* (pp. 132-141). International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP).

Gee, G., & Bauder, J. (1986). Particle-size Analysis. En: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods* (pp. 383-412). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

George, A. (2006). Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].

Ghanem, N., Soraya, S., El-Sherif, Z., & Abu El-Ela, G. (2000). Isolation and enumeration of marine actinomycetes from seawater and sediments in Alexandria. *Journal of General and Applied Microbiology*, 46, 105–111.

González-García H., González-Pedraza A. F., Atencio J., & Soto, A. (2021a). Evaluación de calidad de suelos plataneros a través de la actividad microbiana en el sur del lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron*, 38(2), 216-240. https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n2.01

González-García, H., González-Pedraza, A. F., Rodríguez-Yzquierdo, G., León-Pacheco, R., & Betancourt-Vásquez, M. (2021b). Vigor en plantas de plátano (Musa AAB cv. Hartón) y su relación con características físicas, químicas y biológicas del suelo. *Agronomía Costarricense*, 45(2). https://doi.org/10.15517/rac.v45i2.47772

González-Pedraza, A., Atencio, J., Cubillán, K., Almendrales, A., Ramírez, L., & Barrios, O. (2014). Actividad microbiana en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. *Hartón*) con diferente vigor de las plantas. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 31, 526-538. http://revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_2014/ing/ingsupl12014526538.pdf

González-Pedraza, A., Piñero-Calixtro, E., & Atencio-Pulgar, J. (2011). Actividad microbiana en suelos cultivados con palma aceitera, cacao, pasto y bosque natural. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 28, 592-604. http://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/12520/12507

González-Pedraza, A. F., Castellanos, G. L., & Capacho, M. A. (2023). *Influencia de tres modelos agroecológicos sobre la calidad del suelo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander* (1era edición). Sello editorial Unipamplona,

Universidad de Pamplona. https://books.unipamplona.edu.co/index.php/editorial/catalog/book/56

González-Pedraza, A. F. & Escalante, J. C. (2021). Mineralización de nitrógeno en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón), estado Zulia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 38(3), 525-547. https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n3.04

González-Pedraza, A., Rey, J. C., Martínez, G., Lobo, D., Rodríguez, G., & Delgado, E. (2011). Relación entre el vigor de plantas de banano y la actividad microbiana en suelos de un sector de La Ceiba, Estado Trujillo [conferencia]. XIX *Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, Calabozo, Estado Guárico.

González, C., Aristizábal, M., & Aristizábal, J. (2007). Dinámica poblacional de nemátodos fitopatógenos en plátano (*Musa* AAB) Dominico Hartón. *Revista de Agronomía*, 15(2), 25-31.

Gowen, S., Quénéhervé, P., & Fogain, R. (2005). Nematode parasites of bananas and plantains. En: M. Luc, R. Sikora, & J. Bridge (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (pp. 611-644). Centre for Agricultural Bioscience International (CAB).

Goyal, M., & Ramírez, V. (2007). *Manejo de Riego por Goteo*. Universidad de Santa Rosa de Cabal.

Grassi, C. (1998). *Fundamentos de riego.* Talleres gráficos del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).

Griso, R., Alley, M., Holshouser, D., & Thomason, W. (2009). *Precision farming tools: soil electrical conductivity. virginia cooperative extension.* Polytechnic Institute and State University.

Haddad, O., Meredith, J., & Martinez, G. (1975). Nemátodos parasíticos asociados a cultivares y clones de bananos en Venezuela. *Nematropica*, 5(2), 33-39.

Haddad, O., Machado, W., & Del Valle, R. (1994). Un índice para evaluar el vigor en musáceas comestibles en el bosque seco tropical. *Fruits*, 49(1), 47-60.

Hart, P., August, J., & West, A. (1989). Long term consequences of topsoil mining on select biological and physical characteristics of two New Zealand loessial soils under grazed pasture. *Land Degrad Rehábil*, 1, 77-88.

Hanlon, E. (2012). *Soil ph and electrical conductivity: a county extension soil laboratory manual.* University of Florida.

Hernández, Y., Marín, M., & García, J. (2007). Respuesta en el rendimiento del plátano (*Musa* AAB cv. Hartón) en función de la nutrición mineral y su ciclo fenológico. Parte I. Crecimiento y producción. *Rev. Fac. Agron.* 24, 607-626.

Herrera, R., Calderón, L., & Gutiérrez, A. (2017). Soil quality index in conventional and semi-ecological farms producing plantain (*Musa* AAB Simmonds cv. Dominic Harton) in Anolaima-Cundinamarca, Colombia. *Rev. Acta Agron.*, 66(4), 457-465.

Hodge, A. (2005). Plant Uptake. En: D. Hillel, H. Hatfield, K. Scow, D. Powlson, M. Singer, C. Rosenzweig, & D. Sparks (Eds.), *Encyclopedia of soils in the environment* (pp. 39-46). Academic Press.

Huerta, E., Rodríguez, J., Evia, I., Montejo, E., De la Cruz, M., & García, R. (2008). Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, 26(82), 171-181.

Jacob, J., & Van Bezooijen, J. (1971). A *Manual for Practical Work in Nematology*. Wageningen, Agricultural University.

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Medellín.

Jiménez-Pérez, N. (2002). Nemátodos fitoparasíticos asociados con el cultivo de la papa en el estado Lara y estudio de la patogenicidad, emergencia y ciclo biológico de una población larense de globodera rostochiensis (*Nematoda: Tylenchida*) [Tesis de doctorado, Universidad Central de Venezuela.

Keeney, D., & Nelson, D. (1982). Nitrogen-inorganic forms. En: A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties* (pp. 643-698). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Kijerwski, J., Colina, L., Steegmayer, P., & Patiño, H. (1976). *Estudio agrológico semidetallado, zona sur del lago, río Mucujepe- río Escalante*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Labarca, J., Casassa, A., Pineda, M., Ulacio, D., Casanova, M., & Sandoval, L. (2011). Diagnóstico de nemátodos fitoparásitos en plátano (*Musa* AAB) cv. Hartón en el sur del lago de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron.*, 28, 213-227.

Latorre Araque, C. A., & Villamizar Quiñones, C. (2019). Evaluación del efecto de la fertilización en el rendimiento de cuatro clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et. Buk) en Mutiscua, Norte de Santander. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(1), 3–9. https://doi.org/10.24054/cyta.v4i1.1072.

López, R. (2002). *Degradación del suelo. Causas, procesos, evaluación e investigación*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Universidad de los Andes.

Marcelino, L., González, V., & Ríos, D. (2004). *El cultivo del plátano en Panamá. Manual de recomendaciones técnicas para el cultivo tecnificado de plátano (Musa paradisiacal L.)*. Impresora Pacífico.

Marín, S., Sanchis, V., & Ramos, A. (2007). Factores determinantes en la producción de micotoxinas. En: J. Soriano (Ed.), *Micotoxinas en alimentos* (pp. 73-94). Ediciones Díaz de Santos.

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) (1978). *Hacia un Plan Rector de Ordenación del Territorio. Zona Sur del Lago de Maracaibo*. Serie Informe Técnicos DGPOA/IT/16.

Martínez, A. (1998). *El cultivo del plátano en los Llanos Orientales. Aspectos generales y principales labores del cultivo del plátano*. Editorial Siglo XX.

Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). Trichoderma spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Rev. Protección Veg*., 28(1), 1-11.

Martínez, G. (2009). Situación nacional de las musáceas: Breve análisis. *Producción Agropecuaria*, 2(1), 31-44.

Martínez, G., Rey, J., Rodríguez, G., Crozzoli, C., Colmenarez, R., Lobo, D., González, M., Rodríguez, M., Cortez, A., Pocasangre, L., Delgado, E., & Rosales, F. (2006). Aspectos sobre calidad y salud de suelos bananeros en Venezuela, y su relación con la productividad. *Producción agropecuária*, 2(1), 52-55.

Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant. Nutr*., 8(1), 68-96.

McLean, O. (1982). Soil pH and lime requirement. En: A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis, part ii: Chemical and microbiological properties* (pp. 199-224). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Moens, T., Araya, M., Swennen, R., & De Waele, D. (2003). Biodegradación acelerada de nematicidas de Musa. En: G. Rivas, & F. Rosales (Eds.), *Taller manejo convencional y alternativo de la sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas* (pp. 105-118). International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP).

Molero, M., Gutiérrez, L., Contreras, Q., Rondón, C., Carrero, P., & Rojas, E. (2008). Determinación de los niveles de: K, P, N, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, y Mn en muestras de suelos y tejido foliar del cultivo Musa AAB, subgrupo plátano cv. Hartón. *Producción Agropecuaria*, 1(1), 3-6.

Montiel, A., Sosa, L., Medrano, C., & Romero, D. (1997). Nemátodos fitoparásitos en plantaciones de plátano (Musa AAB) de la margen izquierda del río Chama, Estado Zulia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron*., 14, 245-251.

Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Revista Luna Azul*, (5-6).

Murphy, J., & Riley, H. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.

Nacci, S., & Pla, I. (1992). Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical*, *42*(1-2), 115-132.

Nava, C. (1997). *El plátano. Su cultivo en Venezuela*. Editorial Astro Data.

Navas, G., Chacón, A., & Linares, V. (2003). *Tecnologías para el manejo sostenible de los suelos con cultivos anuales de los pequeños productores del bajo y medio Ariari*. Editora Guadalupe Ltda. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).

Navarro, S., & Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa.

Navarro, A., Figueroa, B., Martínez, M., González, F., & Osuna, E. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura Técnica en México*, *34*(2), 151-158.

Nava de Boscán, N., Fuentes, J., Gómez, A., Nava, C., & Balza, J. (1996). Caracterización de modelos gerenciales de sistemas de producción de plátanos (*Musa* AAB plátano cv. Hartón), microregión Chama, sur del lago de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron.*, *13*(4), 457-467.

Nelson, P., Toussoun, T., & Marasas, W. (1983). *Fusarium species: Illustrated manual for identification*. Pennsylvania State University Press.

Núñez, R., López, V., Palácio, S., & Paz, A. (2010). Estudio de la resistencia de penetración de un suelo vertisol con el uso del penetrómetro de impacto en la localidad de "Antonio Maceo". Cacocum. Holguín. Cuba. *Ciencias Holguín*, XVI(2), 1-9.

Obade, V., y Lal, R. (2016). Towards a standard technique for soil quality assessment. *Geoderma*, 265, 96-102. doi: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.023

Oertli, J. (2008). Plant nutrients. En: W. Chesworth (Ed.). *Encyclopedia of earth sciences Series. Encyclopedia of soil science* (pp. 560-571). Springer.

Olvera Luna, G., de la Rosa Álvarez, P., & Fernández San Juan, L. F. (2009). Generación de recubrimientos resistentes a la corrosión por tratamiento electroquímico. En: *Memorias del Octavo Verano de la Investigación Científica de la* UAQ (pp. 160-165). Universidad Autónoma de Querétaro. https://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2009/OctavoVerano_38/27_Olvera_Luna.pdf

Orellana, R. (2016). Evaluación de las características hidráulicas de la muestra de suelo. Curso INSAI. Intersuelo. Software.

Orellana, R., Orellana, E. C., & Méndez, R. (2020). Calidad del agroecosistema de producción de cacao (*Theobroma cacao* L) en la finca Los Lirios municipio Sucre estado Portuguesa, Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 3–8. https://doi.org/10.24054/cyta.v5i1.786

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (1996). *Ecología y enseñanza rural. Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage. Fecha de consulta: enero 2024.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de Tierras y Aguas*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Cómo gestionar los sistemas en peligro*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2012). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. *La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. Mundi-Prensa.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014). *Faostat*, *Datos Cultivos*. http://www.fao.org/faostat/es/#-data/QC

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016). *Estado mundial del recurso suelo.* Resumen Técnico. Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2020). *Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019*. http://www.fao.org/3/ca7567es/CA7567ES.pdf

Orozco de Amézquita, M., Garcés de Granada, E., & Arbeláez, G. (1993). Efecto de diferentes niveles de nitrógeno, potasio y pH en el desarrollo de *Fusarium oxysporum* f.sp. dianthi, agente causal del marchitamiento vascular del clavel. *Agron. Colomb*., 10(1), 90-102.

Peña, W., Alfaro, M., & Leirós de la Peña, M. (2004). Indicadores bioquímicos para la calidad de suelos forestales desarrollados sobre serpentinitas en Galicia, España. *I Congreso nacional de suelos forestales* UNISEFOR/UNA.

Pérez, J. (1992). *Estudio de la estabilidad estructural del suelo en relación con el complejo de cambio. Comportamiento de algunos suelos característicos españoles* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid].

Pérez, V. (1987). *Desarrollo y distribución radical de clones de musáceas de distinta composición genómica en suelos de lenta infiltración* [Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía].

Pérez, R., & Gilabert, J. (1997). *Métodos para caracterizas suelos y aguas afectados por sales. Manual de métodos de referencia*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Decanato de Agronomía.

Pineda, M., Pineda, D., Labarca, J., Ulacio, D., Paredes, C., & Casassa, A. (2009). Micobiota del suelo asociada al cultivo del plátano (*Musa* AAB cv. Hartón)

en bosque seco tropical del Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Rev. UDO Agrícola*, 9(1), 158-165.

Pineda-Zambrano, M. C., Pineda, D., Labarca, J. L., & González-García, H. (2020). Caracterización y comportamiento biológico de una cepa nativa de *Trichoderma harzianum* Rifai del sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5(1), 9–15. https://doi.org/10.24054/cyta.v5i1.788

Pocasangre, L. (2003). Nuevas estrategias para el manejo de nemátodos en musáceas. En: G. Rivas, & F. Rosales (Eds.), *Taller Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP), La Red Latinoamericana y del Caribe para la Investigación y el Desarrollo de las Musáceas (MUSALAC).

Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa.

Powlson, D., Brookes, P., & Christensen, B. (1987). Measurement of soil microbial biomass provides in early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Bioch*., 19, 159-164.

Prescott, L., Harley, J., & Klein, D. (2002). *Microbiology*. McGraw-Hill. Interamericana de España.

Prieto- Mendéz, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O., & Méndez-Marzo, M. (2013). Indicadores e Índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de hidalgo, México. *Rev. Agro. Mesoamericana*, 24(1), 83-91.

Project RLA (2009). *Proyecto Environmental Radionuclides as Indicators of Land Degradation in Latin American, Caribbean and Antarctic Ecosystems, (ARCAL C). Protocolo de muestreo de suelos.* http://arcal.unsl.edu.ar/documentos/Protocolo%20de%20muestreo%20ver%202.doc.

Ratcliff, A., Busse, M., & Shestak, C. (2006). Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. *Applied Soil Ecology*, 34, 114-124.

Red de Productores Libres y Asociados Bancada de Limones (REPLABAL) (2016). *Censo de productores de plátano de la parroquia el Moralito*.

Reynolds, W., Elrick, D., Youngs, E., Amoozegar, A., Booltink, H., & Bouma, J. (2002). Saturated and field-saturated water flow parameters. En: J.H. Dane, & G. C. Topp. (Eds.), *Methods of soil analysis, Part 4: Physical Methods* (pp. 797-878). Soil Science Society of America.

Ríos, W., & Montilva, N. (2009). Estudio del comportamiento in vitro de una cepa nativa y dos comerciales de Trichoderma harzianum Rifai frente a tres hongos patógenos. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Experimental Sur del Lago "Jesús María Semprum"].

Rodríguez, D. (2000). Ocurrencia de *Fusarium oxysporum* en plantaciones de cambur manzano en el estado Trujillo, Venezuela. *Rev. Fito. Venez*, 13, 22-24.

Rodríguez, G., Abreu, Y., Rey, J., Lobo, D., & Muñoz, N. (2011). Relación entre el vigor del cultivo de banano (*Musa* AAA) con la salud y desarrollo radical, en suelos aluviales del estado Aragua, Venezuela [conferencia]. XIX *Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*, Calabozo, Venezuela.

Rodríguez, G. (2009). Aspectos sobre salud radical de banano en Suelos de Venezuela. *Producción Agropecuaria*, 2(1), 49-52.

Rodríguez, G. (2006). Desarrollo y distribución de raíces en diez clones de *Musa* y su relación con las propiedades de un suelo de la Depresión de la Cuenca del Lago de Valencia [Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela].

Rodríguez, G., & Lobo, D. (2004). Desarrollo y distribución de raíces en tres clones de musáceas y su relación con las propiedades de un suelo lacustrino de la cuenca del lago de Valencia. *Rev. Fac. Agron.*, 21, 121-128.

Rodríguez, V., Da Silva A., & Rodríguez, O. (2005). Balance nutricional y número de hojas como variables de predicción del rendimiento del plátano Hartón. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40(2), 175-177.

Rodríguez, V., Malavolta, E., Sánchez, A., & Lavoranti, O. (2004). Balance nutricional de referencia de suelos y hojas en el cultivo de plátano Hartón. *Rev. Bioagro*, 16(1), 39-46.

Rodríguez, V., & Rodríguez, O. (1998). Biometría de la cepa de plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en plantas con rendimientos superiores a 18 kilogramos por racimo, en Venezuela. *Rev. Fac. Agron.*,15, 439-445.

Rojas, M. (2013). *Efectos de la disminución de la aireación del suelo en los rendimientos del cultivo de banano (Musa acuminata) mediante sistemas de información geográfica* [Trabajo de grado, Universidad San Francisco de Quito].

Román, C. (2012). *Consideraciones epidemiológicas para el manejo de la marchitez por Fusarium (Fusarium oxysporum f. sp. cubense) del banano en la región central del Perú* [Trabajo de grado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)].

Romero-Arenas, O., Huerta, M., Damián, M., Domínguez, F., & Arellano, D. (2009). Características de Trichoderma harzianum, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, XI(2), 143-151.

Rosales, F., Pocasangre, L., Trejos, J., Serrano, E., & Peña, W. (2008). *Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos*. Bioversity International.

Rosales, F., Pocasangre, L., Trejos, J., Serrano, E., Acuña, O., Segura, A., Delgado, E., Pattison, T., Rodríguez, W., & Staver, C. (2006). Guía para el

diagnóstico de la calidad y la salud de suelos bananeros [conferencia]. XVII. *Reunião Internacional da Associação para a Cooperaçãonas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical* (ACORBAT), Santa Catarina, Brasil.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Universidad de la República, Facultad de agronomía. Departamento Suelos y Aguas. Montevideo-Uruguay.

Ruiz, M., & Paolini, J. (2004). El cultivo y el agua de riego sobre el carbono de la biomasa microbiana. *Agronomía Trop*., 54(2), 161-178.

Salguero, B. (2006). *Caracterización de nemátodos de vida libre como bioindicadores de calidad y salud de suelos bananeros en Costa Rica* [Trabajo de grado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)].

Sapucky, M. (2007). *Relaciones entre la productividad del Banano (Musa AAA) y propiedades físicas y químicas de suelos lacustrinos de la Depresión del Lago de Valencia* [Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela].

Sánchez, B., Ruiz, M., & Rios, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*, 55, 507-534.

Sánchez de Prager, M., Rojas, A., Pérez, J., Zúñiga, O., & Gascó, J. (2006). Actividad y biomasa microbianas como indicadores de materia orgánica en sistemas de cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Toro, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 55(4), 7-12.

Sellés van Schouwen, G., Fereyra, R., Ruiz, R., Ferreyra, R., & Ahumada, R. (2012). Compactación de suelos y su control: estudio de casos en el Valle de Aconcagua. Boletín INIA Nº 234. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile.

Sepúlveda, R. (1999). El infiltrómetro de cilindro simple como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea. *Baética. Estudios de Arte, Geografía e Historia*, 21, 9-33.

Serrano, E., Sandoval, J., Pocasangre, L., Rosales, F., & Delgado, E. (2006). Importancia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica [conferencia]. XVII. *Reunião Internacional da Associação para a Cooperação nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical* (ACORBAT), Santa Catarina- Brasil.

Serrano, E. (2003). Relationship between functional root content and banana yield in Costa Rica. En: D. Turner, & Rosales, F. (Eds.), *Banana root system: Towards a better understanding for its productive management*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP).

Serrano, E. (2002). Diagnóstico físico-químico del suelo y su relación con el crecimiento del banano en fincas con diferentes condiciones edafoclimáticas de la zona Caribe de Costa Rica. En: *Informe anual 2002*. Dirección de Investigaciones de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA).

Soto, M. (1992). *Bananos: cultivos y comercialización*. Lil, S. A.

Sims, J., & Haby, V. (1971). Simplified colorometric determination of soil organic matter. *Soil Sci*., 112, 137-141.

Sparks, D. (2003). *Environmental soil chemistry*. Academic Press, Elsevier Science.

Sparling, G., Hart, P., August, J., & Leslie, D. (1994). A comparison of soil and microbial carbon, nitrogen, and phosphorus contents, and macro-aggregate stability of a soil under native forest and after clearance for pastures and plantation forest. *Biol. Fertil Soils*., 17, 91-100.

Soil Quality Institute (SQI) (1996). *Indicators for soil quality evaluation*. United States Department of Agriculture (USDA) Natural Resources Conservation Service, The National Soil Survey Center / The Soil Quality Institute, NRCS, USDA / The National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USA.

Srinivasan, M., Laxman, R., & Deshpande, M. (1991). Physiology and nutrition aspects of actinomycetes—An overview. *World J. Microbiol. Biotechnol*., 7(2), 171-184.

Stark, C., Condron, L., Stewart, A., Di, H., & O'Callaghan, M. (2007). Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. *Applied Soil Ecology*, 35(1), 79-93.

Stover, R., & Simmonds, N. (1987). *Bananas*. Tropical Agriculture Series. Editorial Wiley.

Suárez, Z., & Rosales, L. (2004). Problemas nematológicos en musáceas. *Revista Digital del CENIAP HOY*, 6.

Tabora, P., Okumoto, S., & Elango, F. (2002). Organic and transition bananas: experience with effective microorganisms (EM). En: A. S. Riveros, L. E. Pocasangre, F. E. Rosales (Eds.), *Inducción de resistencia y uso de tecnologías limpias para el manejo de plagas en plantas* (pp. 87-93). CATIE-INIBAP.

Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal Ecology*, 63, 995-1001.

Tiessen, H., & Moir, J. (1993). Characterization of available P by sequential extraction. En: M. Carter (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Pub.

Thomas, G. (1982). Exchangeable Cations. En: A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.). *Methods of soil analysis, Part II: Chemical and microbio-*

logical properties. (2da edición, nro. 9). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Tokala, R., Strap, J., Jung, C., Crawford, D., Michelle Hamby, S., Deobald, L., Bailey, F., & Morra, M. (2002). Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving streptomyces lydicus wyec108 and the pea plant (*Pisum sativum*). *Applied and Environmental Microbiology*, 68(5), 2161–2171.

Torrado-Jaime, M., & Castaño-Zapata, J. (2009). Incidencia de nemátodos en plátano en distintos estados fenológicos. *Agron. Colomb*., 27(2), 237-244.

Torres, C., Etchevers, J., Fuentes, M., Govaerts, B., De León-González, F., & Herrera, J. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71 - 84.

Torres, D., Florentino, A., & López, M. (2006). Indicadores e índices de calidad del suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. *Rev. Bioagro*, 18(2), 83-91.

Trannin, I., Siqueira, J., & Moreira, F. (2007). Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 31, 1173-1184.

Turner, D. (2003). Factors affecting the physiology of the banana root system. En: D. Turner, & F. Rosales (Eds.), *Banana root system: Towards a better understanding for its productive management*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP).

Ulacio, D., Pérez, C., & Pineda, J. (1997). Micoflora asociada a las raíces de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) provenientes del estado portuguesa. *Rev. Bioagro*, 9(1), 3 -11.

United States Department of Agriculture (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf

United States Department of Agriculture (USDA) (2008). *Soil quality indicators. The apparent density*. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-01/Soil%20Quality-Indicators-Bulk%20Density.pdf

Valencia, E., & Peña, J. (2001). El suelo y sus habitantes microbianos: consideraciones ecológicas. *Rev. Avance y Perspectiva*, 20, 401-406.

Vance, E., Brookes, P., & Jenkinson, D. (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. *Soil Biology y Biochemistry*, 19, 703-707.

Vance, C. (2001). Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*, 127, 390-397.

Vaquero, R. (2005). Soil physical properties and banana root growth. En: D. Turner, & F. Rosales (Eds.), *Banana root system: Towards a better un-*

derstanding for its productive management (pp. 125-131). International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP).

Vásquez, N. (2003). Anatomía y morfología de raíces de monocotiledóneas y dicotiledóneas [conferencia]. *Simposium internacional: Sistema radical de banano (hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo)*. International Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP). Corporación Bananera Nacional (CORBANA). San José, Costa Rica.

Vargas, G., & Rodríguez, A. (2000). Influencia de las aguas de riego en los procesos de salinización y sodificación de suelos en cultivos de plátanos y tomates (I. CANARIAS). *Edafología*, 7-3, 129-136.

Vargas, R., & Flores, C. (1996). Fluctuaciones poblacionales en microorganismos en suelos dedicados al cultivo de banano (*Musa* AAA). CORBANA, 21(45), 11-18.

Villareal, J. (2010). Determinación de un índice de calidad del suelo en áreas productoras de banano (*Musa* x paradisíaca L.) de la vertiente del pacifico de Panamá [Tesis de doctorado, Universitat de Lleida Escola Técnica Superior D`Enginyeria Agrària, Departament De Medi Ambient I Ciències Del Sòl].

Villarreal-Núñez, J., Pla-Sentis, I., Agudo-Martínez, L., Villaláz-Perez, J., Rosales, F., & Pocasangre, L. (2013). Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 301-315.

Vogel, H. (1992). Morphological and hydrological characteristics of gleyic granitic soils and their potential for crop production. A case study from Zimbabwe. *Soil Technology*, 303-317.

Waisel, Y., Eshel, A., & Kafkafi, U. (1996). *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker, Inc.

Yepes, O. R. (2019). Nutrición y fertilización con micronutrientes y su efecto en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jack). Revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(2), 93–110. https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcyta/article/view/1068

Yépez, T., Meredith, J., & Pérez, A. (1972). Nemátodos de banano y plátano (*Musa* sp.) en Venezuela. *Nematropica*, 2(2), 47-51.

Youngs, E. (2000). Hydraulic conductivity of saturated soils. En: K. Smith, & C. Mullins (Eds.), *Soil environmental analysis. Physical methods*. Marcel Dekker, Inc.

Zambrano, J. (2011). La formación del espacio en la zona sur del lago de Maracaibo: una aproximación a su estudio. *Rev. Geográfica Venezolana*, 52(1), 121-143.

Anexos

Anexo 1.
Condición de las características físicas de los suelos e índice físico por lote de vigor, horizonte y unidad de producción

VIGOR	HOR	UP	ARC	LIM	ARE	K	CONDK	DA	CONDda	RIA	CONDria	if
AV	1	SD	7,5	62,5	30	3,45	0	1,35	1	12,33	0	0,33
AV	1	SB	7,5	95	-2,5	4	0	1,25	1	12,33	0	0,33
AV	1	SI	5	47,5	47,5	4,47	0	1,41	1	19,00	0	0,33
AV	1	AG	5	87,5	7,5	4,47	0	1,42	1	19,00	0	0,33
AV	1	EB	5	87,5	7,5	4,47	0	1,14	0	19,00	0	0,00
AV	1	EB	7,5	85	7,5	3,97	0	1,18	0	12,33	0	0,00
AV	1	LM	7,5	90	2,5	3,56	0	1,18	0	12,33	0	0,00
AV	1	PR	7,5	67,5	25	3,53	0	1,27	1	12,33	0	0,33
BV	1	SD	2,5	72,5	25	3,74	0	1,28	1	39,00	0	0,33
BV	1	SB	7,5	37,5	55	3,41	0	1,24	1	12,33	0	0,33
BV	1	SI	5	47,5	47,5	4,47	0	1,28	1	19,00	0	0,33
BV	1	AG	2,5	92,5	5	3,56	0	1,37	1	39,00	0	0,33
BV	1	EB	7,5	85	7,5	3,97	0	1,35	1	12,33	0	0,33
BV	1	EB	2,5	87,5	10	3,56	0	1,44	1	39,00	0	0,33

(*Continúa*)

VIGOR	HOR	UP	ARC	LIM	ARE	K	CONDK	DA	CONDda	RIA	CONDria	if
BV	1	LM	2,5	80	17,5	3,62	0	1,35	1	39,00	0	0,33
BV	1	PR	5	42,5	52,5	4,64	0	1,30	1	19,00	0	0,33
AV	2	SD	2,5	77,5	20	3,65	0	1,30	1	39,00	0	0,33
AV	2	SB	5	95	0	4,48	0	1,36	1	19,00	0	0,33
AV	2	SI	5	47,5	47,5	4,47	0	1,42	1	19,00	0	0,33
AV	2	AG	2,5	87,5	10	3,56	0	1,53	0	39,00	0	0,00
AV	2	EB	2,5	95	2,5	3,57	0	1,25	1	39,00	0	0,33
AV	2	EB	5	85	10	4,28	0	1,15	0	19,00	0	0,00
AV	2	LM	2,5	92,5	5	3,56	0	1,27	1	39,00	0	0,33
AV	2	PR	5	70	25	4,15	0	1,36	1	19,00	0	0,33
BV	2	SD	5	77,5	17,5	4,18	0	1,17	0	19,00	0	0,00
BV	2	SB	10	5	85	2,89	1	1,13	0	9,00	0	0,33
BV	2	SI	7,5	65	27,5	3,48	0	1,50	0	12,33	0	0,00
BV	2	AG	2,5	95	2,5	3,57	0	1,41	1	39,00	0	0,33
BV	2	EB	5	90	5	4,38	0	1,29	1	19,00	0	0,33
BV	2	EB	2,5	75	22,5	3,7	0	1,38	1	39,00	0	0,33
BV	2	LM	5	75	20	4,17	0	1,47	0	19,00	0	0,00
BV	2	PR	2,5	47,5	50	4,74	0	1,37	1	39,00	0	0,33

AV: Lotes de plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor. Hor: Horizonte. UP: Unidad de Producción. SD: Unidad de producción San Diego. SB: Unidad de producción San Benito. SI: Unidad de producción San Isidro. AGROP: Unidad de producción Agropecuaria Dos Ríos. EB: Unidad de producción El Bosque. LMD: Unidad de producción La Mano de Dios. PR: Unidad de Producción Puerto Rico. ARC: Arcilla. LIM: Limo. ARE: Arena. K: Conductividad hidráulica saturada. CONDK: Criterio de valoración para K. DA: Densidad aparente. CONDDa: Criterio de valoración para DA. RIA: Rango índice de arcilla. CONDria: Criterio de valoración para RIA. if: índice físico.

Anexo 2.

Condición de las características químicas de los suelos e índice químico por lote de vigor, horizonte y unidad de producción

Vig	Hor	UP	PH	CONDpH	CE	CONDce	MO	CONDmo	NT	CONDnt	AMON	CONDamon	PT	CONDpt	SC	CONDsc	CICE	CONDcice	%SB	CONDsb	iq
AV	1	SD	5,65	1	0,16	1	3,31	1	0,056	0	83,05	0	306,53	1	6,7266923	0	6,8266923	0	98,535162	1	0,56
AV	1	SB	6,36	1	0,1	1	6,87	1	0,021	0	214,88	1	314,07	1	10,994	0	11,094	0	99,098612	1	0,67
AV	1	SI	5,72	1	0,03	1	4,83	1	0,007	0	148,96	1	414,57	1	5,1933077	0	5,2933077	0	98,110822	1	0,67
AV	1	AG	5,14	1	0,06	1	7,05	1	0,014	0	162,15	1	311,56	1	9,3785897	0	9,4785897	0	98,944991	1	0,67
AV	1	EB	4,39	0	0,34	1	9,07	1	0,014	0	491,71	1	620,43	1	8,4323846	0	8,9323846	0	94,402391	1	0,56
AV	1	EB	7,09	1	0,15	1	13,33	1	0,007	0	504,90	1	762,7	1	10,528564	0	10,628564	0	99,059139	1	0,67
AV	1	LM	4,58	0	0,14	1	16,66	1	0,035	0	148,96	1	1317,54	1	9,6915641	0	9,7915641	0	98,978713	1	0,56
AV	1	PR	5,59	0	0,22	1	7,65	1	0,007	0	254,43	1	1055,44	1	9,6208462	0	9,7208462	0	98,971283	1	0,56
BV	1	SD	4,63	0	0,02	1	3,90	1	0,021	0	135,78	1	301,51	1	5,0744615	0	5,5744615	0	91,030524	1	0,56
BV	1	SB	5,15	0	0,04	1	8,70	1	0,007	0	188,51	1	306,53	1	6,9773846	0	7,0773846	0	98,587049	1	0,56

(*Continúa*)

Vig	Hor	UP	PH	CONDpH	CE	CONDce	MO	CONDmo	NT	CONDnt	AMON	CONDamon	PT	CONDpt	SC	CONDsc	CICE	CONDcice	%SB	CONDsb	iq
BV	1	SI	5,89	1	0,04	1	5,55	1	0,035	0	43,50	0	364,32	1	7,304641	0	7,404641	0	98,649496	1	0,56
BV	1	AG	4,64	0	0,09	1	9,18	1	0,028	0	293,97	1	853,83	1	9,1155897	0	9,3155897	0	97,853061	1	0,56
BV	1	EB	7,06	1	0,14	1	16,40	1	0,007	0	162,15	1	1047,26	1	13,696718	0	13,796718	0	99,27519	1	0,67
BV	1	EB	6,54	1	0,17	1	10,23	1	0,007	0	386,25	1	935,47	1	11,093436	0	11,193436	0	99,106619	1	0,67
BV	1	LM	7,48	0	0,17	1	10,72	1	0,021	0	293,97	1	1383,06	1	14,388308	0	15,088308	1	95,360646	1	0,67
BV	1	PR	5,63	1	0,08	1	19,70	1	0,021	0	162,15	1	1141,13	1	10,430769	0	10,530769	0	99,050402	1	0,67
AV	2	SD	5,74	1	0,03	1	5,92	1	0,014	0	228,06	1	271,36	0	5,7145385	0	5,8145385	0	98,280173	1	0,56
AV	2	SB	6,39	1	0,08	1	4,80	1	0,028	0	188,51	1	417,09	1	10,860923	0	10,960923	0	99,087668	1	0,67
AV	2	SI	5,23	0	0,0002	1	2,38	0	0,028	0	135,78	1	374,37	1	4,7890256	0	4,9890256	0	95,991201	1	0,44
AV	2	AG	5,21	0	0,03	1	4,22	1	0,021	0	135,78	1	627,02	1	7,9173846	0	8,0173846	0	98,75271	1	0,56
AV	2	EB	6,08	1	0,29	1	5,60	1	0,021	0	386,25	1	656	1	9,6796154	0	9,7796154	0	98,977465	1	0,67
AV	2	EB	6,76	1	0,11	1	6,42	1	0,014	0	373,07	1	1050,4	1	8,3508462	0	8,4508462	0	98,816687	1	0,67
AV	2	LM	6,28	1	0,08	1	6,94	1	0,035	0	241,24	1	1000	1	11,127128	0	11,227128	0	99,1093	1	0,67

(Continúa)

Vig	Hor	UP	PH	CONDpH	CE	CONDce	MO	CONDmo	NT	CONDnt	AMON	CONDamon	PT	CONDpt	SC	CONDsc	CICE	CONDcice	%SB	CONDsb	iq
AV	2	PR	5,56	0	0,06	1	4,20	1	0,007	0	109,42	1	964,72	1	7,1000769	0	7,2000769	0	98,611126	1	0,56
BV	2	SD	5,03	0	0,02	1	3,27	1	0,021	0	148,96	1	276,38	0	5,6340513	0	6,0340513	0	93,370955	1	0,44
BV	2	SB	6,21	1	0,00018	1	2,40	0	0,035	0	676,27	1	477,39	1	5,5131026	0	5,6131026	0	98,218454	1	0,56
BV	2	SI	5,42	0	0,01	1	4,48	1	0,035	0	201,69	1	264,74	0	5,9034359	0	6,0034359	0	98,334287	1	0,44
BV	2	AG	5,34	0	0,05	1	6,32	1	0,014	0	30,32	0	813,51	1	9,164859	0	9,464859	0	96,830381	1	0,44
BV	2	EB	7,17	1	0,09	1	9,07	1	0,028	0	478,53	1	854,17	1	10,351185	0	10,451185	0	99,043171	1	0,67
BV	2	EB	6,09	1	0,12	1	5,60	1	0,0014	0	491,71	1	813,52	1	9,1188769	0	9,2188769	0	98,915269	1	0,67
BV	2	LM	7,57	0	0,14	1	4,80	1	0,028	0	148,96	1	1035,28	1	12,184692	0	12,284692	0	99,185979	1	0,56
BV	2	PR	5,33	0	0,29	1	3,85	1	0,014	0	148,96	1	954,64	1	8,1829744	0	8,2829744	0	98,792704	1	0,56

Vig: Lotes de vigor. AV: *Lotes de plantas de plátano de alto vigor.* BV: *Lotes de plantas de plátano de bajo vigor. Hor: Horizonte.* UP: *Unidad de Producción.* SD: *Unidad de producción San Diego.* SB: *Unidad de producción San Benito.* SI: *Unidad de producción San Isidro.* AG: *Unidad de producción Agropecuaria Dos Ríos.* EB: *Unidad de producción El Bosque.* LM: *Unidad de producción La Mano de Dios.* PR: *Unidad de Producción Puerto Rico.* PH: *pH.* CONDpH: *Criterio de valoración para pH.* CE: *Conductividad eléctrica.* CONDce: *Criterio de valoración para* CE. MO: *Materia orgánica.* CONDmo: *Criterio de valoración para* MO. NT: *Nitrógeno total.* CONDnt: *Criterio de valoración para* NT. AMON: *Amonio.* CONDamon: *Criterio de valoración para* AMON. PT: *Fósforo total.* CONDpt: *Criterio de valoración para PT.* SC: *Suma de cationes.* CONDsc: *Criterio de valoración para* SC. CICE: *Capacidad de intercambio catiónico efectivo.* CONDcice: *Criterio de valoración para* CICE. %SB: *saturación de bases.* CONDsb: *Criterio de valoración para* %SB. *iq: índice químico.*

Anexo 3.
Condición de las características biológicas de los suelos e índice biológico por lote de vigor, horizonte y unidad de producción

VIGOR	HOR	UP	PtNS	CONDPTNS	Hongos	CONDhong	Bact	CONDbact	Actinom	CONDact	ib
AV	1	SD	621	0	1	0	6	1	0	0	0,25
AV	1	SB	130	0	2	0	4	0	0	0	0
AV	1	SI	1146	0	0	0	13	1	2	1	0,5
AV	1	AGROP	77	1	1	0	5	0	1	0	0,25
AV	1	EB	123	0	2	0	7	1	2	1	0,5
AV	1	EB	67	1	4	0	17	1	0	0	0,5
AV	1	LMD	63	1	1	0	13	1	1	0	0,5
AV	1	PR	79	1	1	0	2	0	1	0	0,25
BV	1	SD	350	0	1	0	10	1	0	0	0,25
BV	1	SB	1085	0	4	0	1	0	0	0	0
BV	1	SI	382	0	1	0	13	1	0	0	0,25

(*Continúa*)

VIGOR	HOR	UP	PtNS	CONDPTNS	Hongos	CONDhong	Bact	CONDbact	Actinom	CONDact	ib
BV	1	AGROP	558	0	2	0	11	1	2	1	0,5
BV	1	EB	129	0	1	0	4	0	0	0	0
BV	1	EB	45	1	1	0	4	0	0	0	0,25
BV	1	LMD	75	1	2	0	5	0	1	0	0,5
BV	1	PR	94	1	2	0	14	1	0	0	0,5
AV	2	SD	770	0	1	0	8	1	2	1	0,5
AV	2	SB	666	0	0	0	9	1	0	0	0,25
AV	2	SI	1426	0	2	0	12	1	0	0	0,25
AV	2	AGROP	303	0	1	0	3	0	0	0	0
AV	2	EB	74	1	0	0	7	1	2	1	0,75
AV	2	EB	58	1	7	1	10	1	0	0	0,75
AV	2	LMD	92	1	2	0	11	1	0	0	0,5
AV	2	PR	57	1	0	0	6	1	2	1	0,75

(Continúa)

VIGOR	HOR	UP	PtNS	CONDPTNS	Hongos	CONDhong	Bact	CONDbact	Actinom	CONDact	ib
BV	2	SD	270	0	1	0	5	0	0	0	0
BV	2	SB	252	0	2	0	14	1	1	0	0,25
BV	2	SI	476	0	1	0	15	1	0	0	0,25
BV	2	AGROP	300	0	1	0	11	1	2	1	0,5
BV	2	EB	58	1	1	0	7	1	1	0	0,5
BV	2	EB	50	1	1	0	3	0	1	0	0,25
BV	2	LMD	125	0	1	0	10	1	0	0	0,25
BV	2	PR	147	0	1	0	11	1	0	0	0,25

AV: Lotes de plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor. Hor: Horizonte. UP: Unidad de Producción. SD: Unidad de producción San Diego. SB: Unidad de producción San Benito. SI: Unidad de producción San Isidro. AGROP: Unidad de producción Agropecuaria Dos Ríos. EB: Unidad de producción El Bosque. LMD: Unidad de producción La Mano de Dios. PR: Unidad de Producción Puerto Rico. PTNS: Población total de nemátodos en suelos. CONDPTNS: Criterio de valoración para PTNS. Hongos: UFC de hongos en suelos. CONDhong: Criterio de valoración para hongos. Bact. UFC de bacterias en suelos. CONDbact: Criterio de valoración para Bact. Actinom: UFC de actinomicetos en suelos. CONDact: Criterio de valoración para Actinom. ib: índice biológico.

Anexo 4.
Condición de las características de actividad microbiana del suelo e índice de actividad microbiana por lote de vigor, horizonte y unidad de producción

Vig	Hor	UP	CM	CONDCM	RB1	CONDRB1	RB2	CONDRB2	RB4	CONDRB4	RB7	CONDRB7	RB10	CONDRB10	Cmic/COT (%)	CONDmic	qCO2	CONDqCO2	iam
AV	1	SD	21,43	1	0,6	1	0,6	1	0,9	0	1,5	0	0,3	1	10,152497	1	0,0279981	0	0,625
AV	1	SB	21,16	1	0,6	1	1,5	0	1,8	0	2,1	0	0,3	1	0,9090793	0	0,2189781	1	0,5
AV	1	SI	15,60	1	0,9	0	0,3	1	1,5	0	1,8	0	1,2	0	22,049624	1	0,022733	0	0,375
AV	1	AG	22,11	1	0,3	1	0,6	1	0,9	0	1,2	0	0,3	1	4,3118001	1	0,0227101	0	0,625
AV	1	EB	21,82	1	0,9	0	0,9	0	0,3	1	0,3	1	0,3	1	0,4588847	0	0,4376579	1	0,625
AV	1	EB	24,32	1	0,6	1	0,6	1	1,2	0	0,6	1	0,3	1	1,2931414	0	0,102916	0	0,625
AV	1	LM	2,74	0	0,9	0	0,6	1	0,9	0	0,6	1	0,3	1	1,3878279	0	0,1168386	0	0,375
AV	1	PR	3,45	0	0,9	0	0,6	1	0,9	0	0,6	1	0,3	1	5,7319465	1	0,0571611	0	0,5

(Continúa)

Vig	Hor	UP	CM	CONDCM	RB1	CONDRB1	RB2	CONDRB2	RB4	CONDRB4	RB7	CONDRB7	RB10	CONDRB10	Cmic/COT (%)	CONDmic	qCO2	CONDqCO2	iam
BV	1	SD	2,24	0	0,6	1	0,6	1	1,2	0	1,8	0	0,3	1	10,024584	1	0,0283554	0	0,5
BV	1	SB	13,01	1	1,2	0	1,5	0	1,8	0	2,1	0	0,6	1	1,1461782	0	0,3473604	1	0,375
BV	1	SI	19,37	1	0,9	0	0,6	1	1,5	0	2,1	0	0,6	1	20,534722	1	0,0244101	0	0,5
BV	1	AG	13,67	1	0,6	1	0,3	1	1,2	0	1,5	0	0,6	1	3,4859973	0	0,0561798	0	0,5
BV	1	EB	39,59	1	0,3	1	0,3	1	1,2	0	0,3	1	0,3	1	0,2906386	0	0,2303371	1	0,75
BV	1	EB	36,87	1	0,9	0	0,6	1	0,9	0	0,6	1	0,3	1	0,3149675	0	0,6338028	1	0,625
BV	1	LM	36,42	1	0,9	0	0,6	1	0,9	0	0,6	1	0,3	1	0,7836257	0	0,2069252	1	0,625
BV	1	PR	7,25	1	0,6	1	0,3	1	0,6	1	0,3	1	0,3	1	5,9995318	1	0,0364078	0	0,875
AV	2	SD	4,44	0	1,2	0	0,9	0	0,9	0	1,2	0	0,3	1	7,390525	1	0,0769231	0	0,25
AV	2	SB	4,40	0	1,2	0	1,2	0	1,8	0	2,1	0	0,9	0	0,7431889	0	0,5357143	1	0,125

(Continúa)

Vig	Hor	UP	CM	CONDCM	RB1	CONDRB1	RB2	CONDRB2	RB4	CONDRB4	RB7	CONDRB7	RB10	CONDRB10	Cmic/COT (%)	CONDmic	qCO2	CONDqCO2	iam
AV	2	SI	13,21	1	1,2	0	1,2	0	1,5	0	1,8	0	0,6	1	20,284094	1	0,0329489	0	0,375
AV	2	AG	10,68	1	0,6	1	0,3	1	1,2	0	1,5	0	0,6	1	4,6349403	1	0,0422535	0	0,625
AV	2	EB	14,20	1	0,9	0	0,6	1	0,9	0	0,3	1	0,3	0	0,9104499	0	0,2205882	1	0,625
AV	2	EB	14,20	1	0,6	1	1,2	0	1,5	0	1,2	0	0,3	1	0,8805783	0	0,1511335	0	0,375
AV	2	LM	12,82	1	0,9	0	0,6	1	0,9	0	0,6	1	0,3	1	0,3711911	0	0,4368421	1	0,625
AV	2	PR	8,99	1	0,6	1	0,3	1	0,9	0	0,6	1	0,3	1	6,0577797	1	0,0360577	0	0,75
BV	2	SD	2,06	0	0,6	1	1,2	0	1,5	0	1,2	0	0,9	0	12,191803	1	0,027137	0	0,25
BV	2	SB	1,30	0	1,5	0	1,2	0	1,5	0	1,8	0	1,5	0	5,4522596	1	0,1152959	0	0,125
BV	2	SI	4,08	0	1,5	0	0,9	0	1,8	0	0,9	0	0,3	1	3,109544	0	0,2068966	1	0,25

(Continúa)

Vig	Hor	UP	CM	CONDCM	RB1	CONDRB1	RB2	CONDRB2	RB4	CONDRB4	RB7	CONDRB7	RB10	CONDRB10	Cmic/COT (%)	CONDmic	qCO2	CONDqCO2	iam
BV	2	AG	5,83	0	1,2	0	0,6	1	1,5	0	0,9	0	0,3	1	3,5160065	0	0,084507	0	0,25
BV	2	EB	1,42	0	0,6	1	0,3	1	0,6	1	0,3	1	0,3	1	0,7731229	0	0,1357466	0	0,625
BV	2	EB	3,97	0	0,6	1	1,2	0	0,9	0	0,3	1	0,3	1	3,0585197	0	0,0501672	0	0,375
BV	2	LM	4,42	0	0,6	1	0,3	1	0,6	1	0,3	1	0,6	1	1,9073939	0	0,084507	0	0,625
BV	2	PR	1,37	0	0,6	1	0,9	0	0,6	1	0,12	1	0,9	0	0,6270653	0	0,1916933	0	0,375

Vig: Lotes de vigor. AV: Lotes de plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor. Hor: Horizonte. UP: Unidad de Producción. SD: Unidad de producción San Diego. SB: Unidad de producción San Benito. SI: Unidad de producción San Isidro. AG: Unidad de producción Agropecuaria Dos Ríos. EB: Unidad de producción El Bosque. LM: Unidad de producción La Mano de Dios. PR: Unidad de Producción Puerto Rico. CM: Carbono microbiano. CONDCM: Criterio de valoración para CM. RB1: Respiración basal del suelo al primer día de evaluación. CONDRB1: Criterio de valoración para RB1. RB2: Respiración basal del suelo al segundo día de evaluación. CONDRB2: Criterio de valoración para RB2. RB4: Respiración basal del suelo al cuarto día de evaluación. CONDRB4: Criterio de valoración para RB4. RB7: Respiración basal del suelo al séptimo día de evaluación. CONDRB7: Criterio de valoración para RB7. RB10: Respiración basal del suelo al décimo día de evaluación. CONDRB10: Criterio de valoración para RB10. Cmic/COT (%): Cociente microbiano. CONDmic: Criterio de valoración para Cmic/COT (%).qCO$_2$: Cociente metabólico. CONDqCO$_2$: Criterio de valoración para qCO$_2$. iam: índice de actividad microbiana.

Anexo 5.
Condición de las características de desarrollo radical de plantas de plátano e índice de desarrollo radical por lote de vigor, horizonte y unidad de producción

Vig	Hor	UP	PFR	PSR	CONDpsr	DPFR	DPSR	LR	CONDlr	DLR	CONDdlr	DR	CONDdr	VR	CONDvr	DVR	idr
AV	1	SD	9,6	0,9	1	0,094	0,009	13,35	1	0,132	0	6,3	1	5,1	1	0,051	0,8
AV	1	SB	2,5	0,22	0	0,103	0,002	9,42	0	0,093	0	2,7	0	5	1	0,049	0,2
AV	1	SI	9,93	0,59	1	0,098	0,009	13,85	1	0,137	0	6,52	1	5,1	1	0,051	0,8
AV	1	AG	3,53	0,28	0	0,035	0,003	10,2	0	0,101	0	3,29	0	5,3	1	0,053	0,2
AV	1	EB	2,39	0,25	0	0,024	0,002	5,73	0	0,057	0	2,06	0	3,6	1	0,035	0,2
AV	1	EB	3,73	0,36	0	0,034	0,003	11,23	1	0,111	0	3,62	0	3,7	1	0,037	0,4
AV	1	LM	2,5	0,25	0	0,025	0,002	10,43	1	0,103	0	2,83	0	3,6	1	0,036	0,4
AV	1	PR	10,89	1,2	1	0,104	0,012	14,9	1	0,148	0	6,94	1	6,1	1	0,06	0,8

(Continúa)

Vig	Hor	UP	PFR	PSR	CONDpsr	DPFR	DPSR	LR	CONDlr	DLR	CONDdlr	DR	CONDdr	VR	CONDvr	DVR	idr
BV	1	SD	5,17	0,52	1	0,051	0,005	11,52	1	0,114	0	4,18	1	4,8	1	0,047	0,8
BV	1	SB	10,29	0,91	1	0,101	0,009	15,71	1	0,155	0	7,03	1	6,5	1	0,071	0,8
BV	1	SI	5,33	0,51	1	0,053	0,005	9,95	0	0,098	0	4,1	1	5,4	1	0,049	0,6
BV	1	AG	3,63	0,4	1	0,036	0,004	13,62	1	0,134	0	3,85	0	4,1	1	0,049	0,6
BV	1	EB	3,87	0,33	0	0,038	0,003	6,55	0	0,065	0	2,8	0	3,9	1	0,034	0,2
BV	1	EB	5,27	0,56	1	0,052	0,006	5,24	0	0,052	0	2,8	0	5,2	1	0,035	0,4
BV	1	LM	3,73	0,31	0	0,037	0,003	19,9	1	0,197	0	4,8	1	5,5	1	0,068	0,6
BV	1	PR	23,09	3,05	1	0,228	0,029	26,98	1	0,266	0	14,06	0	3,6	1	0,036	0,6
AV	2	SD	4,4	0,41	1	0,044	0,004	12,4	1	0,122	0	4,14	1	4,8	1	0,046	0,8

(Continúa)

Vig	Hor	UP	PFR	PSR	CONDpsr	DPFR	DPSR	LR	CONDlr	DLR	CONDdlr	DR	CONDdr	VR	CONDvr	DVR	idr
AV	2	SB	6,35	0,49	1	0,129	0,005	14,14	1	0,14	0	5,25	1	1,8	0	0,042	0,6
AV	2	SI	1,24	0,13	0	0,012	0,001	6,72	0	0,067	0	1,58	0	4,2	1	0,031	0,2
AV	2	AG	1,82	0,17	0	0,018	0,002	7,94	0	0,078	0	2,07	0	3,8	1	0,028	0,2
AV	2	EB	2,61	0,3	0	0,026	0,003	14,57	1	0,143	0	2,92	0	2,8	1	0,029	0,4
AV	2	EB	4,05	0,46	1	0,04	0,004	14,43	1	0,142	0	4,06	1	1,5	0	0,028	0,6
AV	2	LM	3,65	0,36	0	0,047	0,003	13,32	1	0,131	0	3,71	0	2,9	1	0,031	0,4
AV	2	PR	4,36	0,43	1	0,055	0,004	12,56	1	0,124	0	3,98	0	3,8	1	0,036	0,6
BV	2	SD	1,83	0,15	0	0,017	0,002	7,97	0	0,079	0	2,08	0	2,6	1	0,026	0,2
BV	2	SB	4,86	0,25	0	0,029	0,002	9,65	0	0,095	0	2,86	0	4	1	0,028	0,2

(Continúa)

Vig	Hor	UP	PFR	PSR	CONDpsr	DPFR	DPSR	LR	CONDlr	DLR	CONDdlr	DR	CONDdr	VR	CONDvr	DVR	idr
BV	2	SI	3	0,13	0	0,027	0,002	7,18	0	0,071	0	2,43	0	3,1	1	0,024	0,2
BV	2	AG	2,07	0,12	0	0,01	0,004	5,39	0	0,053	0	1,23	0	2,8	1	0,021	0,2
BV	2	EB	1,23	0,23	0	0,026	0,003	10,83	1	0,107	0	2,79	0	2,1	0	0,035	0,2
BV	2	EB	1,22	0,22	0	0,026	0,003	7,01	0	0,105	0	3,01	0	2,2	0	0,033	0,0
BV	2	LM	1,77	0,3	0	0,041	0,003	11,35	1	0,112	0	3,5	0	3	1	0,022	0,4
BV	2	PR	2,96	0,17	0	0,018	0,002	8,87	0	0,087	0	2,15	0	2,7	1	0,017	0,2

Vig: Lotes de vigor. AV: Lotes de plantas de plátano de alto vigor. BV: Lotes de plantas de plátano de bajo vigor. Hor: Horizonte. UP: Unidad de Producción. SD: Unidad de producción San Diego. SB: Unidad de producción San Benito. SI: Unidad de producción San Isidro. AG: Unidad de producción Agropecuaria Dos Ríos. EB: Unidad de producción El Bosque. LM: Unidad de producción La Mano de Dios. PR: Unidad de Producción Puerto Rico. PFR: Peso fresco radical. PSR: Peso seco radical. CONDpsr: Criterio de valoración para PSR. DPFR: Densidad de peso fresco radical. DPSR: Densidad de peso seco radical. LR: Longitud radical. CONDlr: Criterio de valoración para LR. DLR: Densidad de longitud radical. CONDdlr: Criterio de valoración para DLR. DR: Diámetro radical. CONDdr: Criterio de valoración para DR. VR: Volumen radical. CONDvr: Criterio de valoración para VR. DVR: Densidad de volumen radical. idr: índice de desarrollo radical.

Anexo 6.
Relación de las características químicas con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características químicas del suelo/vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
pH	*0,01^{ns}	0,12^{ns}	0.01^{ns}
CE	0,22^{ns}	0,22^{ns}	0,24^{ns}
MO	0,08^{ns}	0,01^{ns}	- 0,05^{ns}
NT	-0,01^{ns}	-0,09^{ns}	0,04^{ns}
AMON	0,01^{ns}	0,21^{ns}	0,08^{ns}
PT	0,11^{ns}	-0,21^{ns}	- 0,20^{ns}
SC	0,10^{ns}	-0,07^{ns}	0,01^{ns}
CICE	0,09^{ns}	-0,08^{ns}	-0,01^{ns}
SB	0,26^{ns}	0,15^{ns}	0,02^{ns}

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. CE: Conductividad eléctrica. MO: Materia orgánica. NT: Nitrógeno total. Amon: Amonio disponible. PT: Fósforo total. SC: Suma de cationes. CIC: Capacidad de intercambio catiónico efectiva. SB: Porcentaje de saturación de bases. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Anexo 7.
Relación de la población total de fitonemátodos y los géneros encontrados en suelos con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características biológicas del suelo/ vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTNS	*0,05^{ns}	-0,01^{ns}	0,23^{ns}
Aphelenchus sp.	0,03^{ns}	-0,17^{ns}	0,20^{ns}
Aphelenchoides sp.	0,17^{ns}	0,10^{ns}	0,05^{ns}
Helicotylenchus sp.	0,22^{ns}	-0,01^{ns}	0,08^{ns}
Helicotylenchus multicinctus	0,06^{ns}	-0,03^{ns}	0,16^{ns}
Meloidogyne sp.	0,14^{ns}	0,09^{ns}	0,18^{ns}
Pratylenchus sp.	-0,10^{ns}	0,06^{ns}	0,16^{ns}
Radopholus similis	0,17^{ns}	0,09^{ns}	0,14^{ns}
Rotylenchulus sp.	0,02^{ns}	-0,15^{ns}	-0,08^{ns}
Trichodorus sp	0,13^{ns}	0,11^{ns}	0,19^{ns}
Tylenchus sp.	-0,23^{ns}	-0,06^{ns}	-0,16^{ns}
Xiphinema sp.	0,18^{ns}	-0,08^{ns}	0,10^{ns}

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTNS: Población total de fitonemátodos en suelos. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Anexo 8.
Relación de la población total de hongos y los géneros encontrados en suelos con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Características biológicas del suelo/ vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTH	*0,04^{ns}	0,06^{ns}	-0,04^{ns}

(*Continúa*)

Características biológicas del suelo/ vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
Fusarium sp.	0,09^{ns}	-0,07^{ns}	-0,03^{ns}
Aspergillus sp.	-0,09^{ns}	0,11^{ns}	-0,04^{ns}
Pennicilium sp.	-0,01^{ns}	-0,02^{ns}	-0,05^{ns}
Mycelia steril	0,01^{ns}	0,19*	0,06^{ns}
Trichoderma spp.	0,07^{ns}	0,02^{ns}	-0,04^{ns}

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTH: Población total de hongos endofíticos en suelos. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Anexo 9.
Relación del desarrollo radical con el vigor de las plantas de plátano en diferentes fincas

Desarrollo radical/vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PFR	*0,05^{ns}	-0,04^{ns}	0,05^{ns}
PSR	0,04^{ns}	-0,07^{ns}	0,01^{ns}
DPFR	0,06^{ns}	-0,03^{ns}	0,02^{ns}
DPSR	0,03^{ns}	-0,08^{ns}	0,01^{ns}
LR	0,09^{ns}	0,01^{ns}	0,04^{ns}
DLR	0,07^{ns}	0,01^{ns}	-0,02^{ns}
DR	0,08^{ns}	-0,01^{ns}	0,07^{ns}
VR	-0,02^{ns}	-0,14^{ns}	0,03^{ns}
DVR	-0,03^{ns}	-0,14^{ns}	0,03^{ns}

**Valor de R, acompañado de letra de significancia. PFR: Peso fresco de la raíz; PSR: Peso seco de la raíz; DPFR: Densidad del peso fresco radical; DPSR: Densidad del peso seco radical; LR: Longitud radical; DLR: Densidad de longitud radical; DR: Diámetro radical; VR: Volumen radical y DVR: Densidad del volumen radical. ^{ns}: No significativo. *: Significativo. **: Altamente significativo.*

Anexo 10.

Análisis de componentes principales de las características físicas, químicas, biológicas, actividad microbiana del suelo y desarrollo radical en plantas de plátano

Valor propio	7,4634	5,8656	3,5828	2,8814	2,0461	1,8688	1,6966	1,4363	1,2338	1,1423
Proporción	0,213	0,168	0,102	0,082	0,058	0,053	0,048	0,041	0,035	0,033
Acumulada	0,213	0,381	0,483	0,566	0,624	0,677	0,726	0,767	0,802	0,835
Valor propio	1,0516	0,9405	0,7846	0,5415	0,5269	0,3758	0,3159	0,2737	0,2368	0,2069
Proporción	0,030	0,027	0,022	0,015	0,015	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006
Acumulada	0,865	0,892	0,914	0,930	0,945	0,955	0,964	0,972	0,979	0,985
Valor propio	0,1880	0,1176	0,0820	0,0579	0,0413	0,0295	0,0055	0,0039	0,0018	0,0014
Proporción	0,005	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Acumulada	0,990	0,994	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000