



Agronomía Costarricense

ISSN: 0377-9424

ISSN: 2215-2202

Universidad de Costa Rica. Colegio de Ingenieros y Agrónomos. Ministerio de Agricultura y Ganadería

González-García, Hebandreyna; González-Pedraza, Ana F.; Rodríguez-Yzquierdo, Gustavo; León-Pacheco, Rommel; Betancourt-Vásquez, Mónica

**Vigor en plantas de plátano (*musa aab* cv. Hartón) y su relación con características físicas, químicas y biológicas del suelo<sup>1</sup>**

Agronomía Costarricense, vol. 45, núm. 2, 2021, Julio-Diciembre, pp. 115-134

Universidad de Costa Rica. Colegio de Ingenieros y Agrónomos. Ministerio de Agricultura y Ganadería

DOI: <https://doi.org/10.15517/RAC.V45I2.47772>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43672373008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Nota técnica

# VIGOR EN PLANTAS DE PLÁTANO (*MUSA* AAB CV. HARTÓN) Y SU RELACIÓN CON CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO\*

Hebandreyna González-García<sup>1/\*</sup>, Ana F. González-Pedraza<sup>2</sup>, Gustavo Rodríguez-Yzquierdo<sup>3</sup>, Rommel León-Pacheco<sup>4</sup>, Mónica Betancourt-Vásquez<sup>5</sup>

**Palabras clave:** Musáceas; calidad del suelo; microorganismos; productividad.

**Keywords:** *Musaceae*; soil quality; microorganisms; productivity.

**Recibido:** 24/09/2020

**Aceptado:** 17/02/2021

## RESUMEN


**Introducción.** La zona sur del Lago de Maracaibo es la región con mayor área y volumen de producción de plátano (cv. Hartón) en Venezuela, aspecto que motiva al estudio de diversas propiedades del suelo de la localidad. **Objetivo.** Evaluar las características físicas, químicas y biológicas del suelo asociadas al vigor del cultivo *Musa* AAB cv. Hartón. **Materiales y métodos.** Se seleccionaron 7 fincas representativas de la región, en las que se determinaron lotes con alto (AV) y bajo vigor (BV), mediante la evaluación del número de manos por


## ABSTRACT

**Vigor of plantain plants (*Musa* AAB cv. Harton) and its relationship with physical, chemical and biological characteristics of the soil. Introduction.** The southern zone of lake Maracaibo is the region with the biggest area and highest volume of plantain (cv. Hartón) production in Venezuela, aspect that motivates the study of various properties of the local soil. **Objective.** To evaluate the physical, chemical and biological characteristics of the soil associated with the vigor of the *Musa* AAB cv. Harton. **Materials and methods.** Seven

\* Este trabajo de investigación es producto de la tesis doctoral de la primera autora, denominada: Índice de calidad en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en el eje central de producción del sur del lago de Maracaibo, Venezuela.

\*\* Autora para correspondencia. Correo electrónico: gonzalezzh@unesur.edu.ve

1 Universidad Nacional Experimental Sur del Lago “Jesús María Semprum” (UNESUR). Programa de Ingeniería de la Producción Agropecuaria. Laboratorio de Suelos. Santa Bárbara, Estado Zulia, Venezuela.  
 0000-0001-9622-1139.

2 Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Agricultura y Ganadería Sostenibles (GIAS), Pamplona, Norte de Santander, Colombia.  
 0000-0002-4392-3724.


3 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Departamento de Semillas, Sede Central, Mosquera, Cundinamarca, Colombia.

 0000-0003-3709-8534.

4 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Caribia, Zona Bananera, Magdalena, Colombia.

 0000-0002-9928-5282.

5 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca.

 0000-0002-6702-9524.

racimo (NMR), circunferencia del pseudotallo de la planta madre (CPM) y altura del hijo de sucesión (AHS). Se determinaron diferentes características físicas, químicas y biológicas del suelo en unidades experimentales de 1000 m<sup>2</sup> por cada lote de vigor evaluado. **Resultados.** Los resultados de las variables estudiadas permitieron categorizar lotes contrastantes de vigor en el cultivo de plátano. En cuanto a las relaciones con las características edáficas, resultaron correlaciones significativas y negativas entre porcentaje de arena, densidad aparente, infiltración básica e instantánea con NMR, AHS y CPM. Se obtuvieron correlaciones positivas entre porcentaje de limo y humedad del suelo con NMR. Al considerar las características químicas, no se presentaron correlaciones significativas. Respecto a las variables biológicas, resultaron correlaciones negativas entre la población total de fitonematodos con el NMR y CPM. El carbono microbiano presentó correlaciones positivas con CPM y AHS. El análisis de componentes principales permitió determinar la agrupación de lotes de AV y BV, y su correlación con variables edáficas con mayor peso en la expresión de la variabilidad de los resultados. **Conclusión.** La identificación de variables edáficas asociadas al vigor del cultivo de plátano permite evidenciar aquellas características que deben considerarse para el manejo eficiente del suelo y su efecto sobre el desarrollo del cultivo de plátano.

## INTRODUCCIÓN

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo después del arroz, el trigo y el maíz. Esta fruta constituye la base de la alimentación de muchas regiones tropicales y además representa una importante fuente de ingresos para las empresas productoras (Rodríguez *et al.* 2018).

farms representative of the region were selected, in which lots with high (AV) and low vigor (BV) were determined, by evaluating number of hands per bunch (NMR), circumference of the pseudostem of the mother plant (CPM) and height of the succession plant (AHS). Different physical, chemical and biological characteristics of the soil were determined in experimental units of 1000 m<sup>2</sup> for each lot of vigor evaluated. **Results.** The results of the studied variables allowed to categorize contrasting lots of vigor in the plantain crop. Regarding the relationship with edaphic characteristics, significant and negative correlations were found between percentage of sand, bulk density, basic and instantaneous infiltration with NMR, AHS and CPM. Positive correlations between silt percentage and soil moisture were obtained with NMR. Considering the chemical characteristics, there were no significant correlations. Regarding biological variables, negative correlations were found between total population of phytonematodes with NMR and CPM. Microbial carbon showed positive correlations with CPM and AHS. The principal component analysis allowed determining the grouping of batches of AV and BV, and their correlation with edaphic variables with greater weight in the expression of the variability of the results. **Conclusion.** The identification of edaphic variables associated with the vigor of plantain crop allows to show the characteristics that must be considered for the efficient management of the soil and its effect on the development of plantain.

Aproximadamente, el 70% de la producción de plátano en Venezuela se concentra en la Zona Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela, específicamente en los estados Zulia, Trujillo, Mérida y Táchira (Rodríguez *et al.* 2012). El estado Zulia, por su parte, ocupa el mayor número de tierras sembradas con el cv Hartón y las

más grandes unidades de producción, especialmente aquellas situadas entre los ríos Escalante, Mucujepe y en las riberas del río Chama (González *et al.* 2021).

La información generada sobre la morfología de la cepa del plátano Hartón y el ciclo de las plantas está relacionada con la producción. 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. De igual modo, es un cultivar de cocción, a diferencia de los clones de banano del subgrupo Cavendish, los cuales se consumen frescos (Rodríguez *et al.* 2018).

El número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo y altura del hijo de sucesión son parámetros que están altamente correlacionados con la producción o vigor de la plantación en banano o plátano (Rosales *et al.* 2008).

Para la búsqueda de mejoras en la productividad del cultivo y la selección de zonas realmente aptas para el óptimo desarrollo de plantas de plátano y banano, es necesario realizar estudios que contemplen la caracterización pertinente del suelo, en cuanto a propiedades o atributos del mismo, pero no tendría ningún sentido observar esto aisladamente sin que interactúe en el sistema la variable planta y su relación con el suelo (Olivares *et al.* 2020).

La textura, resistencia a la penetración, densidad aparente e infiltración 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 (Rodríguez y Lobo 2004, Rodríguez 2009), por lo que se considera necesario conocer dichas características físicas del suelo, para conocer en qué medida y cómo afectan en el crecimiento y desarrollo de las plantas, para mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Castañeda *et al.* 2014). Algunas propiedades químicas como pH, conductividad eléctrica, fracciones de carbono y

disponibilidad de nutrientes han sido señalados como indicadores de calidad de suelo que condicionan la expresión del desarrollo y productividad de cultivos (Martínez *et al.* 2010, Martínez *et al.* 2013), incluidas las musáceas (Olivares *et al.* 2020). Complementariamente, el contenido de materia orgánica, es otro factor elemental que favorece diversas propiedades del suelo y los procesos de mineralización de nutrientes para el sustento de las plantas (Monsalve *et al.* 2017).

Por su parte, las características biológicas forman parte de las actividades bioquímicas que se presentan en la fase sólida del suelo, por lo que son las interfaces sólido-líquido y líquido-gas los sitios de preferencia de los microorganismos. Esas características en conjunto contribuyen al diagnóstico previo de la degradación de suelos, por lo que propone que el análisis de estas, permitiría la aplicación de labores hortícolas y prácticas culturales que aumenten la sustentabilidad del recurso suelo. De la misma forma, la actividad microbiológica y la biomasa microbiana representan indicadores biológicos del suelo importantes de tener en cuenta en los sistemas productivos de cultivos (Paolini 2017).

La zona de estudio carece de investigaciones que relacionen el vigor de plantas de plátano y características del suelo, adicionalmente, existen algunas limitantes edáficas en esta región que pueden afectar el desarrollo y productividad del cultivo de plátano. Por lo tanto, se planteó como objetivo central de este estudio determinar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y su relación con la expresión del vigor del cultivo de plátano en fincas del Sur del Lago de Maracaibo, de la parroquia el Moraliito, municipio Colón, estado Zulia, Venezuela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** La investigación se llevó a cabo en diferentes unidades de producción ubicadas entre el km 35 y el km 41 de los sectores: El Uvito, Bancada de Limones, Caño Negro y Cuatro Bocas de la parroquia el Moraliito, municipio Colón del estado Zulia, Venezuela.

Esta zona se encuentra a una altitud de 8 msnm y cuenta con una precipitación acumulada anual que varía de 1200 a 1500 mm, una temperatura promedio al año de 38°C y una humedad relativa máxima de 90% y media de 85%. Los suelos 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 (González 2018).

#### **Definición de los sitios de muestreo.**

Se seleccionaron 7 unidades de producción de plátano, de las cuales 6 tenían una superficie de menos de 10 ha y una entre 12 y 15 ha. De acuerdo con la metodología propuesta por Rosales *et al.* (2008) y Delgado *et al.* (2010), en las 6 unidades de producción con menos de 10 ha se procedió a delimitar una parcela de 20 m x 50 m (1000 m<sup>2</sup>) por cada lote de vigor; mientras que en la unidad de producción entre 12 y 15 ha se procedió a demarcar 2 parcelas con la misma superficie por cada lote de vigor.

**Criterios para seleccionar lotes de alto y bajo vigor.** La selección de lotes con plantas de alto y bajo vigor se realizó al tomar el criterio indicado 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 7 manos por racimo, pueden ser consideradas como el biotipo ideal de planta madre con elevada productividad para el caso del clon Hartón en Venezuela y complementariamente, que dichas plantas tuvieran 16 hojas activas por hijo de sucesión y una media de 5,48 hojas con ancho de lámina foliar mayor de 10 cm. Para identificarlo se realizó una fase previa de diagnóstico en campo por medio de un pre-muestreo sistemático en cada finca evaluada en los lotes de alto y bajo vigor (AV y BV, respectivamente), de acuerdo con los criterios señalados por Rosales *et al.* (2008) y González *et al.* (2021).

#### **Determinación del vigor de las plantas.**

En cada parcela de 1000 m<sup>2</sup> se seleccionaron 20

plantas con racimos próximos a ser cosechados (3 semanas antes del momento de cosecha) que fueron marcados con cintas, a las cuales se les determinó los siguientes parámetros de vigor: número de manos por racimo, circunferencia del pseudotallo de la planta madre y altura del hijo de sucesión, parámetros que están altamente correlacionados con la producción o vigor de la plantación (Rosales *et al.* 2008, Delgado *et al.* 2010, Lobo *et al.* 2011). La circunferencia de la planta madre se evaluó desde la base del suelo hasta los 100 cm de altura con una cinta métrica. La altura del hijo de sucesión se determinó al medir desde el nivel del suelo hasta la inserción del pecíolo de la última hoja expandida con la hoja candela. Luego de desarrollado el racimo, se procedió a contar todas las manos presentes en el mismo.

**Toma de muestras de suelos.** En cada parcela de 1000 m<sup>2</sup> ubicadas en los lotes de alto y bajo vigor se seleccionaron 3 puntos de muestreo al azar y en cada uno de ellos se abrieron minicalicatas de 60 cm ancho por 60 cm largo y 60 cm profundidad. Estas se ubicaron en la banda de fertilización de las plantas de plátano recién florecidas. En cada minicalicata se realizó una descripción del perfil del suelo y se separaron los horizontes genéticos, cuyo espesor dependió 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 las muestras de suelo para la determinación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en cada lote identificado. Para lograr una mejor representatividad del muestreo, se realizó un patrón de 10 submuestras por cada muestra de suelo colectadas del área adyacente al punto central de muestreo (minicalicata), las cuales se tomaron en tres profundidades (0-5; 5-15; 15-30). Las muestras fueron debidamente identificadas y transportadas a los laboratorios de Suelos de la Universidad Nacional Experimental Sur del Lago y Microbiología y Fitopatología de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado para sus respectivas determinaciones.

## Propiedades físicas del suelo

**Textura.** Se determinó mediante el método del hidrómetro de Gee y Bauder (1986).

**Humedad.** Se aplicó la siguiente ecuación:  
$$\% \text{ humedad} = (\text{Peso de suelo húmedo} - \text{Peso de suelo seco}) / \text{Peso de suelo seco} * 100.$$

**Densidad aparente.** Se determinó con la metodología propuesta por Blake y Hartge (1986). En los 3 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, donde se pesaron y se secaron en una estufa a 105°C por 24 horas, se dejaron enfriar y se volvieron a pesar. Se determinó la relación del peso y volumen del cilindro de suelo.

**Conductividad hidráulica saturada.** Se determinó al utilizar valores de arena y arcilla de la muestra de suelo, mediante el empleo del programa Piras para evaluar las características hidráulicas de una muestra de suelo (Orellana 2016).

**Resistencia a la penetración.** Se evaluó en 3 vértices de cada minicalicata a través del uso de un penetrómetro de profundidad por impacto (Nacci y Pla 1992).

**Determinación de infiltración básica e instantánea.** Se determinó, de acuerdo con el método del doble anillo propuesto por Reynolds *et al.* (2002), al frente del hijo de sucesión de la planta madre.

## Propiedades químicas del suelo

**pH.** La acidez activa se determinó en extracto acuoso con una relación suelo-agua de 1:2,5, en agitación durante 2 horas (McLean 1982), mediante el uso de un medidor de pH marca Digital pH meter, modelo pH-2006.

**Conductividad eléctrica.** Se determinó en el mismo extracto utilizado para determinar la acidez activa, con un conductímetro marca HANNA, modelo HI 9033, calibrado previamente con una solución de KCL 0,040 mol.L<sup>-1</sup> a una temperatura de 25°C.

**Contenido de materia orgánica.** Se realizó al seguir el método de digestión húmeda propuesta por Walkley-Black 1934, modificado por Sims y Haby (1971).

**Nitrógeno total.** Se siguió el método de Kjeldahl (Fleck y Munro 1965).

**Nitrógeno amoniacal.** Se determinó al seguir el método propuesto por Keeney y Nelson (1982).

**Amonio disponible.** Se realizó al seguir la metodología de Anderson e Ingram (1993).

**Fósforo total.** La extracción se realizó mediante el procedimiento de digestión con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado y oxidación con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), al utilizar el método de Tiessen y Moir (1993).

**Suma de cationes.** Se realizó mediante el uso de la solución extractora Mehlich 3, para determinar K, Ca, Mg y Na, en un equipo de absorción atómica modelo perkin Elmer 3110.

**Sodio soluble.** Se determinó por el método de fotometría de llama, a través de la metodología propuesta por Pérez y Gilabert (1997).

**Porcentaje de saturación de bases.** Previo a la determinación de porcentaje de saturación de bases, se determinó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), lo cual consistió en tomar los valores finales en cmol<sup>+</sup>. kg<sup>-1</sup> 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 ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ ) se tomó en consideración en la siguiente fórmula para determinar porcentaje de saturación de bases:  $\% \text{SB} = \text{Suma de bases intercambiables} / \text{CICE} \times 100$ .

### Propiedades biológicas del suelo

**Hongos, bacterias y actinomicetos en suelo.** Se utilizó la técnica de los platos de dilución (Rosales *et al.* 2008).

**Carbono microbiano y respiración basal del suelo.** 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 ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 0,5 N (Rosales *et al.* 2008). Para la respiración microbiana o respiración basal del suelo, el análisis se realizó mediante la técnica de incubaciones estáticas, donde se analiza la concentración de  $\text{CO}_2$  desprendido (producto de la actividad biológica y del contenido de carbono orgánico fácilmente mineralizable presente en el suelo). El  $\text{CO}_2$  es capturado en una solución alcalina (NaOH 0,2 N) durante 10 días de incubación bajo condiciones ambientales óptimas (Alef y Nannipieri 1995, Rosales *et al.* 2008).

**Diseño experimental.** El diseño de muestreo fue sistemático dirigido, este se basa en el seguimiento de un patrón geométrico específico (recorrido en zig-zag con líneas de cada 15 m dentro del área de 1000 m<sup>2</sup> para determinación de puntos de muestreo en los lotes), donde las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo

de ese patrón. Obtenidos los resultados de campo y laboratorio, se procedió a realizar un análisis de varianza previo cumplimiento de los supuestos. Cuando el ANOVA fue significativo ( $p < 0,05$ ) se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey, a través del programa Statistix versión 8,0. Además, se realizó un análisis correlacional lineal de Pearson entre los parámetros de vigor de plantas de plátano y las características físicas, químicas y biológicas del suelo con la finalidad de determinar cómo las características pueden influir en el vigor de las plantas de plátano.

Con el fin de identificar las relaciones entre las variables edáficas medidas con los lotes de alto y bajo vigor, se realizó un análisis multivariado por componentes principales con el apoyo del programa Infostat.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Parámetros de vigor de plantas de plátano.** En la Tabla 1, se observa que las variables de vigor estudiadas: número de manos por racimo, la circunferencia de la planta madre (cm) y la altura del hijo de sucesión (m) presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con valores más altos en lotes de plantas de plátano de alto vigor (AV) respecto a los de bajo vigor (BV). Esto indica que las variables seleccionadas son adecuadas para separar lotes con vigor contrastantes. Resultados similares con estas variables en el cultivo de banano han demostrado que pueden distinguir lotes contrastantes en cuanto a vigor se refiere (Rodríguez *et al.* 2010a), relacionado, además, con variables edáficas que determinan la productividad del suelo (Rodríguez *et al.* 2010b, Lobo *et al.* 2011, Olivares *et al.* 2020).

Tabla 1. Parámetros de vigor de plantas de plátano en fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Lotes de vigor de plantas	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre (cm)	Altura del hijo de sucesión (m)
Alto vigor	7,50±0,97 <sup>a*</sup>	66,86±8,29 <sup>a</sup>	2,56±0,53 <sup>a</sup>
Bajo vigor	4,96±0,89 <sup>b</sup>	59,44± 9,16 <sup>b</sup>	2,03±0,48 <sup>b</sup>
Probabilidad	<0,00	<0,00	<0,00

\* Valor promedio ± desviación estándar 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.

Los resultados obtenidos de las variables biométricas de vigor son similares a los presentados por González-Pedraza *et al.* (2014) en una finca con características de suelos relativamente similares cultivada con plátano Hartón, ubicada en el municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, Venezuela. 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.

Los valores de circunferencia de la planta madre (cm) fueron relativamente altos, en comparación con los datos reportados por Delgado *et al.* (2008) en un trabajo realizado en la región central del estado Barinas, Venezuela, 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<sup>-1</sup>, los cuales señalan valores de 55,9 cm. No obstante, Rodríguez y Rodríguez (1998) presentaron datos

relacionados con la biometría de plátano cv. Hartón, en la planicie del río Chama, depresión del Lago de Maracaibo, Venezuela, y encontraron que el perímetro promedio del pseudotallo de la planta madre fue de 76,36 cm. Dichos valores son superiores a los encontrados en la presente investigación. Sin embargo, para el mismo clon evaluado Rodríguez *et al.* (2018), se reportan valores de adecuado vigor bajo condiciones de los Llanos Orientales de Colombia, similares a los encontrados en la presente investigación.

### Vigor de plantas de plátano y su relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos evaluados

Los resultados para cada profundidad de suelo evaluada y lotes de vigor contrastantes para las propiedades físicas, químicas y biológicas se presentan en las Tablas 2, 3 y 4.



Tabla 2. Características físicas del suelo entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético en fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

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

\* Valor promedio ± desviación estándar seguidos por letras minúsculas diferente 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.

Tabla 3. Características químicas del suelo entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para cada horizonte genético en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

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 <sup>a</sup>	0,15±0,09 <sup>a</sup>	8,60±4,40 <sup>a</sup>	0,02±0,01 <sup>a</sup>	251,12± 160,64 <sup>a</sup>	637,85±382,31 <sup>a</sup>	8,82±1,96 <sup>a</sup>	8,97±1,95 <sup>a</sup>	98,26±1,59 <sup>a</sup>
BV		5,87±1,07 <sup>a</sup>	0,09±0,06 <sup>a</sup>	10,54±5,25 <sup>a</sup>	0,02± 0,01 <sup>a</sup>	208,28± 109,16 <sup>a</sup>	791,64±417,47 <sup>a</sup>	9,76±3,27 <sup>a</sup>	9,99±3,32 <sup>a</sup>	97,36±2,85 <sup>a</sup>
AV	2	5,90±0,56 <sup>a</sup>	0,08±0,09 <sup>a</sup>	5,06±1,46 <sup>a</sup>	0,02±0,009 <sup>a</sup>	224,76±106,10 <sup>a</sup>	670,12±305,37 <sup>a</sup>	8,19±2,30 <sup>a</sup>	8,30±2,27 <sup>a</sup>	98,45±1,03 <sup>a</sup>
BV		6,02±0,92 <sup>a</sup>	0,09±0,09 <sup>a</sup>	4,97±2,07 <sup>a</sup>	0,02± 0,01 <sup>a</sup>	290,67±226,88 <sup>a</sup>	686,20±303,25 <sup>a</sup>	8,25±2,43 <sup>a</sup>	8,41±2,40 <sup>a</sup>	97,83±1,95 <sup>a</sup>
AV	3	6,16±0,60 <sup>a</sup>	0,07±0,11 <sup>a</sup>	4,23±2,19 <sup>a</sup>	0,02±0,006 <sup>a</sup>	147,31±123,95 <sup>a</sup>	716,84±321,91 <sup>a</sup>	8,25±2,38 <sup>a</sup>	8,36±2,36 <sup>a</sup>	98,45±1,03 <sup>a</sup>
BV		6,13±0,72 <sup>a</sup>	0,04±0,03 <sup>a</sup>	3,17±1,43 <sup>a</sup>	0,02±0,008 <sup>a</sup>	180,27±143,36 <sup>a</sup>	641,20±327,18 <sup>a</sup>	7,33±1,97 <sup>a</sup>	7,44±1,96 <sup>a</sup>	98,36±0,77 <sup>a</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar seguido por letras minúsculas diferente 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 (µgP.g<sup>-1</sup>suelo); SC= suma de cationes (cmol(+) kg<sup>-1</sup>); CICE= capacidad de intercambio catiónico efectiva (cmol(+) kg<sup>-1</sup>); %SB= porcentaje de saturación de bases.

Tabla 4. Características biológicas del suelo entre lotes de plantas de plátano con diferente vigor para el primer horizonte genético en fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Características biológicas del suelo					
Vigor de plantas	UFC Hongos	UFC Bacterias	UFC Actinomicetos	PTNS	PTNR
AV	*1,29±0,04 <sup>a</sup>	9,74±1,27 <sup>a</sup>	0,88±0,09 <sup>a</sup>	356,58±0,51 <sup>a</sup>	38,37±0,28 <sup>b</sup>
BV	1,30±0,03 <sup>a</sup>	9,93±1,18 <sup>a</sup>	0,5±0,07 <sup>b</sup>	232,58±0,39 <sup>a</sup>	72,87±0,37 <sup>a</sup>

\* Valor promedio ± desviación estándar seguidos por letras minúsculas diferente 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. PTNS= población total de nematodos en suelos. PTNR= población total de nematodos en raíces.

Con respecto a las relaciones lineales entre variables edáficas y los parámetros de vigor del suelo, en general, se encontraron correlaciones significativas bajas para las características físicas, químicas y biológicas en los suelos (Tablas 5, 6, 7, 8, 9). De esta manera, se observa una correlación significativa y negativa entre

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). Por lo tanto, a medida que aumentan los porcentajes de arena y la densidad aparente, disminuyen los parámetros de vigor evaluados (Tabla 5).

Tabla 5. Relación entre el vigor de plantas de plátano y propiedades físicas del suelo en fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ propiedades físicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
ARC	*0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>
LIM	0,19**	0,02 <sup>ns</sup>	0,13*
ARE	-0,20**	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,13*
HUM	0,15*	0,05 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>
DA	-0,13*	-0,14*	-0,01 <sup>ns</sup>
K	0,01 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>
RES	0,10 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
IB	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
II	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>

\* 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. II= infiltración instantánea. IB= infiltración básica. IIH= <sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 6. Relación entre el vigor de plantas de plátano y las características químicas del suelo en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ características químicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
pH	*0,01 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
CE	0,22 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
MO	0,08 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	- 0,05 <sup>ns</sup>
NT	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
AMON	0,01 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
PT	0,11 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	- 0,20 <sup>ns</sup>
SC	0,10 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
CICE	0,09 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>
SB	0,26 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>

\* Valor de R, acompañado de letras 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.

<sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 7. Relación entre el vigor de plantas de plátano y la población total de fitonemátodos y géneros encontrados en raíces de plantas en fincas. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

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

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTNR= población total de fitonemátodos en raíces.

<sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 8. Relación entre el vigor de plantas de plátano y la población total de bacterias y actinomicetos encontrados en suelos de fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela.

Vigor de plantas/ características biológicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
PTB	*0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>
PTA	0,18*	0,08 <sup>ns</sup>	0,16*

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. PTB= población total de bacterias en suelos. PTA= población total de actinomicetos en suelos. <sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

Tabla 9. Relación entre el vigor de plantas de plátano y carbono microbiano y respiración basal del suelo de fincas.  
Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela

Vigor de plantas/ características biológicas del suelo	Número de manos por racimo	Circunferencia de la planta madre	Altura del hijo de sucesión
Cmic	*0,03 <sup>ns</sup>	0,13*	0,13*
RB	-0,06 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>

\* Valor de R, acompañado de letra de significancia. Cmic= carbono microbiano en suelos. RB= respiración basal del suelo. <sup>ns</sup>= no significativo. \*= significativo. \*\*= altamente significativo.

En este sentido, se confirma que suelos con texturas arenosas no son favorables para la retención de humedad, al igual que suelos con estas características pueden favorecer pérdidas de nutrientes en procesos de lixiviación, lo cual ocasionaría un bajo vigor en las plantaciones de plátano (Lobo *et al.* 2011). En cuanto a la densidad aparente, valores altos generan procesos de compactación y dificultad de penetrar adecuadamente las raíces en capas más profundas del suelo, lo cual afecta la profundidad efectiva del sistema radical (Rodríguez 2009, Olivares *et al.* 2020). De igual manera, valores altos de densidad aparente dificultan algunas propiedades de movimiento del agua dentro del perfil del suelo (Rodríguez y Lobo 2004, Rey *et al.* 2009, Rodríguez *et al.* 2010b). En tal sentido, Serrano (2002) expuso que valores de densidad aparente (Da) mayores 1,30 Mg.m<sup>-3</sup>, para suelos bananeros

indican un grado de compactación moderada. De igual forma, Rodríguez *et al.* (2010a) señalaron valores limitantes para el desarrollo radical en banano de 1,4 Mg.m<sup>-3</sup>.

Resultados similares fueron presentados por Herrera *et al.* (2017) al evidenciar correlaciones negativas entre arena y la densidad aparente respecto al número de manos por racimo. Por su parte, Olivares *et al.* (2020) señalan que, para un índice de productividad de suelos en banano para regiones productoras de Venezuela, la compactación del suelo determinada por variables como densidad aparente y resistencia a la penetración, fueron seleccionadas dentro de los 5 indicadores que determina el modelo desarrollado por estas personas autoras.

Adicionalmente, se observa una correlación positiva y significativa entre limo y humedad con el número de manos por racimo. De esta

manera, se infiere que, conforme aumenten los contenidos de limo y porcentaje de humedad, se incrementa el número de manos por racimo. Esto se encuentra asociado fundamentalmente a que ambas propiedades intervienen en la dinámica de disponibilidad de nutrientes y facilidad de intercambio de cationes en el suelo (Rodríguez *et al.* 2010a).

Para el caso de las características químicas evaluadas, no se observaron correlaciones significativas respecto a las variables de vigor (Tabla 6). Al respecto, en investigaciones desarrolladas en banano relacionadas con índices de salud y calidad de suelo e índices de productividad de suelos en Venezuela, se ha identificado que la proporción de variables químicas que funcionan como indicadores ha sido menor comparado con las propiedades físicas y biológicas (Rey *et al.* 2009, Delgado *et al.* 2010, Olivares *et al.* 2020). Los resultados encontrados en la presente investigación no permitieron correlacionar variables químicas del suelo con los parámetros de vigor de las plantas de plátano en los suelos estudiados. Al respecto, las variables químicas en los lotes evaluados obtuvieron valores muy homogéneos, tal y como se evidencia en la Tabla 4. Por otra parte, Castañeda *et al.* (2014) encontraron en un estudio de variabilidad espacial de suelo y determinación de variables edáficas relacionadas con la producción de banano en suelos de Urabá, Colombia, una mayor proporción de propiedades químicas del suelo para identificar las variables con mayor potencial para la implementación en un programa de manejo por sitio específico.

Adicionalmente, se encontró una correlación significativa y 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 determinó una correlación negativa entre *Helicotylenchus* sp. y el NMR y la AHS; entre *Pratylenchus* sp y el NMR y la CPM; lo que significa que conforme aumente la PTNR y los géneros de fitonemátodos indicados,

disminuirán las características de vigor en el cultivo de plátano (Tabla 7).

Los principales fitonemátodos que causan pérdidas económicas en el cultivo del banano y plátano son los endoparásitos migratorios *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae*, el ectoparásito migratorio *Helicotylenchus multicinctus* y el endoparásito sedentario *Meloidogyne* spp (Torrado y Castaño 2009). Por su parte, Guzmán (2011) señala que en banano y plátano, generalmente, se encuentran comunidades poli específicas, compuestas por los 4 principales fitonemátodos, anteriormente mencionados y que la importancia económica se presenta en el siguiente orden: *R. similis* > *Helicotylenchus* spp. > *Meloidogyne* spp. > *Pratylenchus* spp.

En estudios de salud y calidad de suelos en banano para 2 regiones productivas de Venezuela, se determinó que unos de los indicadores que aportaba al índice de salud y calidad del suelo eran nematodos de vida libre totales y bacteriófagos, aunque estos no son patogénicos, son importantes a tener en cuenta cuando se desee evaluar aspectos de la salud del suelo (Delgado *et al.* 2010). De igual modo, Olivares *et al.* (2020) en un estudio de relación de propiedades del suelo con parámetros de vigor y productividad de banano en Venezuela, propone como parte del índice de productividad de suelo los nemátodos omnívoros de vida libre. Por otra parte, los nemátodos fitoparásitos son determinantes en la salud del sistema radical en plantas de banano y plátano (Rodríguez 2009).

Los resultados de poblaciones totales de bacterias no presentan correlaciones significativas (Tabla 8), lo que implica que las poblaciones microbianas sobreviven con el aporte de nutrientes añadidos por los fertilizantes (Meena y Meena 2017, Horwarth 2017). Sin embargo, para actinomicetos, se observaron correlaciones positivas y significativas respecto a NMR y AHS. En tal sentido, estos microorganismos son conocidos por desarrollar diversas actividades en el ecosistema, tales como el mejoramiento de la estructura del suelo y producción de compuestos bioactivos con actividad antagonista contra



microorganismos patógenos, por lo que son los principales productores de antibióticos. Otros estudios han descrito actividades que pueden catalogar a los actinomicetos como rizobacterias promotoras del crecimiento (Franco-Correa 2009). Además, tienen gran importancia en la participación de la degradación de materia orgánica, intervienen en interacciones entre planta-microorganismo, que permiten desarrollar una autentica micorrizosfera que promueve el crecimiento y nutrición de las plantas (Chaurasia *et al.* 2018, Vurukonda *et al.* 2018).

De igual manera, se observó 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 se determinó una correlación con respecto a alguna de las variables de vigor estudiadas (Tabla 9). Al respecto, estudios de variables de vigor y productividad en banano enfocados en índice de salud y calidad del suelo (Rey *et al.* 2009, Delgado *et al.* 2010) y para índices de productividad del suelo (Olivares *et al.* 2020) han considerado variables biológicas, como respiración microbiana total y biomasa de la materia orgánica, como indicadores importantes en cuanto a la parte biológica del suelo.

El carbono microbiano ha sido frecuentemente estudiado por su alta y rápida sensibilidad a los cambios que se producen en el sistema y, además, porque es uno de los pocos que controla parte de los procesos que involucran la transformación y el ciclado de nutrientes, así como la macroagregación, lo cual favorece la retención de agua y la aireación del suelo (Pérez *et al.* 2017, Ren *et al.* 2019). Variables como carbono microbiano están asociadas a la cantidad y actividad de los microorganismos del suelo (Velmourougane 2016, Yang *et al.* 2017, Vurukonda *et al.* 2018). En tal sentido en lotes de alto vigor, el carbono microbiano se encontró con valores más altos.

Morocho y Leiva (2019) señalaron que los microorganismos pueden promover el reciclaje de nutrientes en el suelo, así como incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo cual implica una mejor respuesta en el desarrollo de los cultivos. De igual modo, podrían presentarse a partir de la diversidad de microorganismos identificados, otros beneficios como promoción de crecimiento como biofertilizantes (Walia *et al.* 2013, Beltrán 2014), estimulación en la formación de raíces y mejora en la nutrición de las plantas (Aung *et al.* 2018), solubilización de fósforo (Satyaprakash *et al.* 2017), fijación de nitrógeno (Grajo *et al.* 2017, Kakraliya y Singh 2018), solubilización de hierro o producción de sideróforos (Aguado-Sánchez *et al.* 2012) y actividad antagonista frente a patógenos (Chaurasia *et al.* 2018).

Con respecto a la diversidad de hongos encontrados en la Figura 1, se presentan los resultados en lotes de vigor contrastantes. La biodiversidad fúngica predominante en suelos cultivados con plátano en la zona Sur del Lago estuvo representada por 4 hongos que se identificaron como: *Aspergillus* sp, *Fusarium* spp, *Penicillium* sp y *Trichoderma* sp. Así, 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. Micelio estéril y *Trichoderma* sp. Sin embargo, en el lote de AV se evidenció un valor más elevado de UFC para *Trichoderma*. Por otra parte, se identificaron mayor UFC de *Aspergillus* sp. en suelos con lotes de BV respecto a los de AV.

En ese sentido, *Trichoderma* se incluye entre los hongos con capacidades de bioestimulación, ya que promueven el crecimiento y el vigor en las plantas por la habilidad que poseen para hacer que las raíces sean más robustas, aspecto que favorece mayor profundidad, porque son más resistentes a las sequías y pueden absorber más nutrientes (Donoso *et al.* 2008, Valdés 2014, Santana y Castellanos 2018).

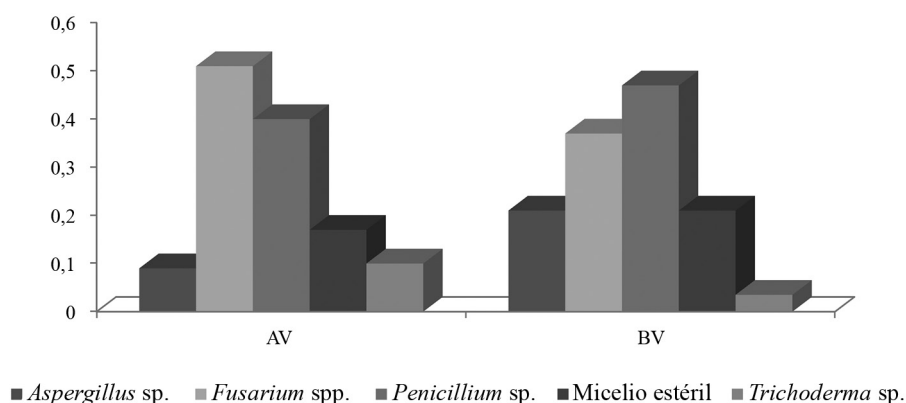


Figura 1. Unidades formadoras de colonias de hongos aislados en suelos cultivados con plantas de plátano de diferente vigor. Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. Columnas acompañadas por letras distintas señalan diferencias estadísticas entre lotes de plantas de plátano ( $p < 0,05$ ). Cada barra representa 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.

**Análisis multivariado.** Para buscar relaciones no lineales entre todas las variables edáficas evaluadas y los parámetros de vigor en plantas de plátano, se realizó un análisis de los componentes principales de los cuales los 3 primeros explicaron el 62% de la variabilidad encontrada, porcentaje que coincide con lo reportado por Yan *et al.* (2000).

Para adoptar una decisión definitiva en la selección de las variables, fue necesario examinar los vectores propios entre las variables originales y los componentes principales, aspecto que indica que las variables con los valores más altos en los componentes seleccionados serán las de mayor importancia (Pla 1986). En este sentido, al evaluar los vectores propios de la matriz correlación de las 20 variables edáficas evaluadas, se observaron altos valores para 15 de ellas (conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono microbiano, respiración basal a los 4, 7 y 10 días, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, densidad aparente, población total de hongos, bacterias y actinomicetos, % de arena y limo, coeficiente metabólico). Con base en estas variables, se

realizó el biplot multivariado para evaluar las interrelaciones entre las variables y los lotes de alto y bajo vigor del cultivo de plátano.

Yan *et al.* (2000) señalan que en los biplot de análisis multivariado, cuando los ángulos entre los vectores son de  $180^\circ$ , las relaciones son inversas; si el ángulo es  $0^\circ$ , el coeficiente es positivo aspecto que expone que hay relaciones importantes entre las variables, mientras que para ángulos de  $90^\circ$  no hay relaciones entre las mismas, situación que permite la posibilidad de detectar relaciones entre variables y fincas, de tal forma que se puedan identificar aquellas que estén positiva o negativamente relacionadas.

Seguidamente, se analizaron las correlaciones de las variables con mayor aporte en cada componente (Tabla 10) y se pudo determinar que las características del suelo que prioritariamente definen a cada componente son la biomasa y la actividad microbiana, la capacidad de intercambio catiónico y textura (componente 1; 38%), materia orgánica y diversidad de microorganismos (componente 2; 12%) y densidad aparente, así como la conductividad eléctrica (componente 3; 11%).

De esta forma los análisis confirman la significancia de las variables analizadas en forma de correlaciones lineales, que afectaron la expresión del vigor de plantas de plátano. Adicionalmente,

permitió observar en forma conjunta, variables que se pueden asociar a propiedades funcionales del suelo, más allá de la interpretación de los resultados de variables individuales.

Tabla 10. Correlaciones con las variables originales, para determinar aquellas mayormente relacionadas con los componentes definidos en el análisis multivariado.

Variables	CP 1	CP 2	CP 3
CE	-0,75	-0,25	-0,46
MO	-0,57	0,72	-0,01
CM	-0,45	-0,14	0,53
RB4	0,55	-0,05	0,47
RB7	0,81	-0,33	0,23
Pdisp	-0,67	0,53	0,01
SC	-0,8	0,3	0,45
CIC	-0,81	0,29	0,43
DA	0,2	-0,16	0,64
k	0,25	0,32	-0,2
TBACT	0,46	0,68	-0,26
TACTI	-0,21	-0,43	-0,59
THONG	-0,24	0,36	-0,14
ARE	0,69	0,32	-0,13
HUM	-0,68	-0,08	-0,16
LIM	-0,68	-0,34	0,14
AMON	-0,68	-0,13	-0,36
RB10	0,71	0,05	-0,05
CmicCOT	0,86	0,09	-0,09
qCO2	-0,56	-0,37	0,04
Correlación cofenética= 0,911			

CE= conductividad eléctrica; MO= materia orgánica; CM= carbono microbiano; RB 4, 7, 10= respiración basal a los 4, 7 y 10 días; Pdisp= fósforo disponible; SC= suma de cationes; CIC= capacidad de intercambio catiónico; DA= densidad aparente; K= conductividad hidráulica saturada; TBACT= total de bacterias; TACT= total de actinomicetos; THONG= total de hongos; ARE= % de arena; HUM= contenido de humedad; LIM= % de limo; AMON= contenido de amonio; CmicCOT= relación carbono microbiano= carbono orgánico total; qCO2= coeficiente metabólico.

Los lotes de vigor evaluados en puntos 1 al 8 alto vigor y 9 al 16 bajo vigor se relacionaron con los vectores representados por las variables que presentaron mayor peso, para

explicar la variabilidad existente así se evidenciaron los lotes de alto vigor asociados a las variables contenido de actinomicetos y hongos, materia orgánica, coeficiente metabólico y

aspectos de fertilidad (CIC, fósforo y amonio), los cuales se observan en la parte izquierda de la gráfica, mientras que los lotes de bajo vigor se

asocian predominantemente con variables como respiración basal, carbono microbiano y densidad aparente (Figura 2).

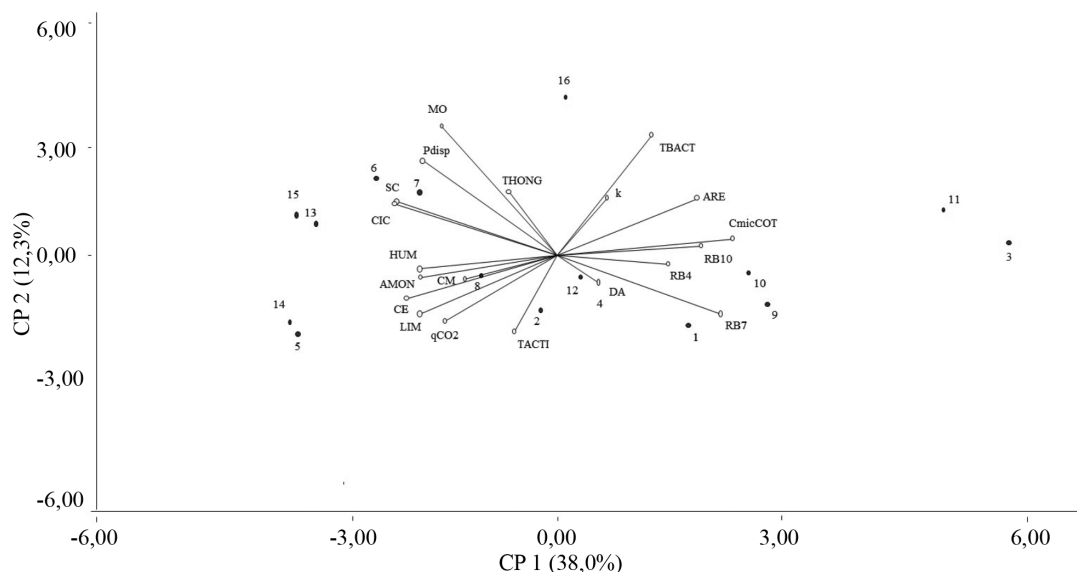


Figura 2. Biplot multivariado por componentes principales en 16 lotes de plátano (1-8 alto vigor) y (9-16 bajo vigor) en las 20 variables evaluadas.

Se identificaron variables edáficas asociadas a las respuestas del cultivo de plátano en términos de vigor, que se deberán considerar para diseñar estrategias de manejo como, la preparación de suelo, enmiendas orgánicas, fertilización y riego en función de la dinámica las propiedades físicas, químicas y biológicas.

## CONCLUSIONES

Los parámetros del cultivo tales como número de manos por racimo, circunferencia de la planta madre y la altura del hijo de sucesión fueron adecuados para separar lotes de vigor contrastantes.

Los lotes de AV y BV expusieron correlaciones significativas con variables de física de suelos como % de arena, % de limo y densidad aparente. En cuanto a las variables químicas, el

contenido de P disponible y la CIC presentaron un mayor peso en la respuesta del vigor del cultivo. Finalmente, en cuanto a las propiedades biológicas, el carbono microbiano y respiración basal, fueron las variables que se relacionaron en mayor medida con los lotes de bajo vigor.

El conocimiento de las variables edáficas que mayormente inciden sobre los parámetros del vigor del cultivo de plátano aportan información valiosa para el diseño de prácticas de manejo para mejorar condiciones de desarrollo y productividad del cultivo de plátano en las condiciones de los suelos evaluados.

## LITERATURA CITADA

- Aguado-Sánchez, G; Moreno-Gómez, B; Jiménez-Francisco, B; García-Moya, E; Preciado-Ortiz, R. 2012. Impacto de los sideróforos microbianos y

- fotosideróforos en la asimilación del hierro por las plantas: Una síntesis. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1):9-21.
- Alef, K; Nannipieri, P. 1995. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. London, UK, Academic Press. 608 p.
- Anderson, J; Ingram, J. 1993. *Tropical soil Biology and fertility: A Handbook of methods*. Wallingford, UK, CAB International. 62 p.
- Aung, K; Jiang, Y; He, SY. 2018. The role of water in plant in plant microbe Interaction. *The Plant Journal* 93:771-780.
- Beltrán, M. 2014. Solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Corpoica Cien. Tecnol. Agropecuaria* 15(1):101-113.
- Blake, G; Hartge, K. 1986. Bulk density. In Klute, A (ed.). *Methods of soil analysis, Part I: Physical and mineralogical methods*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 363-375.
- Castañeda, D; Jaramillo, D; Cotes, J. 2014. Selección de propiedades del suelo espacialmente relacionadas con la producción del cultivo de banano. *Ciencia Suelo (Argentina)* 32(1):73-83.
- Chaurasia, A; Meena, BR; Tripathi, AN; Pandey, KK; Rai, AB; Singh, B. 2018. Actinomycetes: an unexplored microorganism for plant growth promotion and biocontrol in vegetable crops. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 34(9):132.
- Chávez, A. 2015. Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras. Tesis Lic. Zamorano, Honduras, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. 16 p.
- Delgado, E; Gómez, N; González, O; Marín, C. 2008. 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. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 25:603-616.
- Delgado, E; Trejos, J; Villalobos, M; Martínez, G; Lobo, D; Rey, JC; Rodríguez, G; Rosales, F; Pocasangre, L. 2010. Determinación de un índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia* 35(12):927-933.
- Donoso, E; Lobos, G; Rojas, N. 2008. Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Bosque* 29(1):52-57. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002008000100006>.
- Fleck, A; Munro, H. 1965. The determination of organic nitrogen in biological materials. *Clin. Chim. Acta* 2:2-12.
- Franco-Correa, M. 2009. Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. *Rev. Peru. Biol.* 16(2):239-242.
- Gee, G; Bauder, J. 1986. Particle-size Analysis. In Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis, Part I: Physical and mineralogical methods*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 383-412.
- González, H. 2018. Índice de calidad en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. Hartón) en el eje central de producción del Sur del Lago de Maracaibo. Tesis Ph.D. Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia. 173 p.
- González, H; González, A; Pineda, M; Casanova, M; Rodríguez, G; Soto, A. 2021. Poblaciones de fitonematodos asociados al vigor de plantas de plátano. *Agronomía Mesoamericana* 31(2):163-177.
- González-Pedraza, A; Atencio, J; Cubillán, K; Almendral, R; Ramírez, L; Barrios, O. 2014. Actividad microbiana en suelos cultivados con plátano (*Musa* AAB subgrupo plátano cv. 1 Hartón) con diferente vigor de plantas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 1:526-538.
- Grajo, MR; Villegas, LC; Montecillo, AD; Trinidad, L; Anarna, J; Migo, V. 2017. Effect of organic fertilizer amina P on the yield of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) and soil microbial population. *Philippine Agricultural Scientist* 100:12-20.
- Guzmán, O. 2011. El nematodo barrenador (*Radopholus similis* Cobb Turner) del banano y plátano. *Revista Luna Azul* 33(2):137-153.
- Herrera, R; Calderón, L; Gutiérrez, A. 2017. Soil quality index in conventional and semi-ecological farms producing plantain (*Musa* AAB Simmonds cv. Dominic Hartón) in Anolaima-Cundinamarca, Colombia. *Rev. Acta Agron.* 66(4):457-465.
- Horwath, WR. 2017. The role of the soil microbial biomass in cycling nutrients. In *Microbial Biomass: A Paradigm Shift in Terrestrial Biogeochemistry*. p. 41-66. DOI: [https://doi.org/10.1142/9781786341310\\_0002](https://doi.org/10.1142/9781786341310_0002).
- Kakraliya, M; Singh, R. 2018. Effect of soil test crop response basis integrated nitrogen management on yield, quality and profitability of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(4):532-534.
- Keeney, D; Nelson, D. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. In Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR (eds.). *Methods of soil analysis, Part II: Chemical and microbiological properties*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 643-698.
- Lobo, D; Pulido, M; Rey, JC; Rodríguez, G; Martínez, G. 2011. Índice de productividad de Pearce y el vigor en plantaciones de banano (*Musa* AAA). In *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Calabozo, Guárico*. 6 p.

- Martínez, M; Gutiérrez, V; Novo, R. 2010. Microbiología aplicada al manejo sustentable de suelos y cultivos. Santiago, Chile, Editorial USM. 235 p.
- Martínez, M; Ortega, R; Angulo, J; Janssens, M. 2013. Effect of different carbon rates on table grapes (Thompson seedless) in a controlled experiment. *Acta Horticulturae* 1018:271-278.
- McLean, O. 1982. Soil pH and Lime Requirement. In Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR. (eds.). *Methods of soil analysis, Part II: Chemical and microbiological properties*. Agronomy. 2 ed. N°. 9. Wisconsin, United States of America, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. p. 199-224.
- Meena, SK; Meena, VS. 2017. Importance of soil microbes in nutrient use efficiency and sustainable food production. In *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*, Singapore, Springer. p. 3-23.
- Monsalve, O; Gutiérrez, J; Cardona, W. 2017. Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son plaicadas enmiendas orgánicas: Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11(1):200-209.
- Morocho, M; Leiva, M. 2019. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola* 46(2):93-103.
- 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.
- Olivares, B; Araya, M; Acevedo, C; Rey, JC; Cañete, P; Giannini, F; Balzarini, M; Lobo, D; Navas, J; Landa, B; Gómez, J. 2020. Relationship between soil properties and banana productivity in the two main cultivation areas in Venezuela. *J. Soil Sci Plant Nutr.* s.p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00317-8>.
- Orellana, R. 2016. Evaluación de las características hidráulicas de la muestra de suelo. Curso INSAI. Intersuelo. Software. s.p.
- Paolini, JE. 2017. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana* 36(1):13-22. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>.
- Pérez, C; Chavarria, D; Huidobro, J; Meriles, J; Pérez, C; Vargas, S. 2017. Influence of a tropical grass (*Brachiaria brizantha* cv. Mulato) as cover crop on soil biochemical properties in a degraded agricultural soil. *European Journal of Soil Biology* 83:84-90.
- Pérez, R; Gilabert, J. 1997. Métodos para caracterizar suelos y aguas afectadas por sales. Manual de métodos de referencia. Barquisimeto, Venezuela, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. 48 p.
- Pla, L. 1986. Análisis multivariado: Método de componentes principales. *Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico* 27:15-26.
- Ren, F; Sun, N; Meng, X; Zhang, X; Lianhai, W; Minggang, X. 2019. Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: A metaanalysis. *Soil and Tillage Research* 194:104-291.
- Rey, JC; Martínez, G; Rodríguez, G; Lobo, D; Trejos, J; Pocasangre, L; Rosales, F. 2009. Aspectos sobre calidad y salud de suelos bananeros en Venezuela. *Producción Agropecuaria* 2(1):52-55.
- Reynolds, W; Elrick, D; Youngs, E; Amoozegar, A; Booltink, H; Bouma, J. 2002. Saturated and field-saturated water flow parameters. In Dane, JH; Topp, GC (eds.). *Methods of soil analysis, Part 4: Physical Methods*. Madison, United States of America, Soil Science Society of America. p. 797-878.
- Rodríguez, G. 2009. Aspectos sobre salud radical de banano en suelos de Venezuela. *Producción Agropecuaria* 2(1):49-51.
- Rodríguez, G; Abreu, Y; Rey, JC; Lobo, D; Muñoz, N. 2010a. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre el desarrollo radical del banano (*Musa* AAA) en lotes de vigor y productividad contrastantes. In *Memorias XIX Reunión Internacional de la Asociación para la Cooperación en la Investigación y el Desarrollo Integral de las Musáceas (banano y plátano) (ACORBAT)*, Medellín, Colombia. p. 377-381.
- Rodríguez, G; Abreu, Y; Rey, JC; Lobo, D; Muñoz, N. 2010b. Relación entre el vigor del cultivo de banano (*Musa* AAA) con la salud y desarrollo radical en suelos aluviales del estado Aragua, Venezuela. In *Memorias XIX Reunión Internacional de la Asociación para la Cooperación en la Investigación y el Desarrollo Integral de las Musáceas (banano y plátano) (ACORBAT)*, Medellín, Colombia. p. 514-518.
- Rodríguez, G; Becerra, J; Betancourt, M; Miranda, T; Alzate, S; Pisco, C; Sandoval, H. 2018. Modelo productivo para la producción de plátano Hartón en los Llanos Orientales. Mosquera, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). 216 p. Consultado 12 mar. 2021. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35058>
- Rodríguez, G; Leal, F; Naranjo, B. 2012. Situación actual de los cultivos frutales de mayor importancia en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (UCV). Edición Especial Alcance* 72:195-209.
- 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. (LUZ)* 21(1):121-128.



- 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. (LUZ)* 15:439-445.
- Rosales, F; Pocasangre, L; Trejos, J; Serrano, E; Peña, W. 2008. Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos. Montpellier, Francia, Bioversity International. 79 p.
- Santana, T; Castellanos, L. 2018. Efecto biostimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán. *Colombia Forestal* 21(1):81-90.
- Satyaprakash, M; Nikitha, T; Reddi EUB; Sadhana, B; Satya, S. 2017. Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 6(4):2133-2144.
- 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. *In* Informe anual 2002. San José, Costa Rica, Dirección de Investigaciones de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). p. 113-117.
- Sims, J; Haby, V. 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Sci.* 112:137-141.
- Tiessen, H; Moir, J. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. *In* Carter, M (ed.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Boca Raton, FL., USA, Lewis Pub. p. 75-86.
- Torrado, M; Castaño, J. 2009. Incidencia de nematodos en plátano en distintos estados fenológicos. *Agronomía Colombiana* 27(2):237-244.
- Valdés, EL. 2014. Caracteres principales, ventajas y beneficios agrícolas que aporta el uso de *Trichoderma* como control biológico. *Agroecosistemas* 2(1):254-264.
- Velmourougane, K. 2016. Impact of organic and conventional systems of coffee farming on soil properties and culturable microbial diversity. *Scientifica* p. 1-9. DOI: 10.1155/2016/3604026.
- Vurukonda, SS; Giovanardi, D; Stefani, E. 2018. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences* 19(4):952.
- Walia, A; Mehta, P; Chauhan, A; Shirkot, C. 2013. Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedling under net house condition. *P. Natl. Sci. India* 84(1):145-155.
- Yan, W; Hunt, A; Sheng, Q; Szlavics, Z. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on gge biplot. *Crop science* 40(3):597-605.
- Yang, Z; Jiang, Z; Hse, CY; Liu, R. 2017. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *International Biodeterioration & Biodegradation* 117: 123-127.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a [rac.cia@ucr.ac.cr](mailto:rac.cia@ucr.ac.cr)