

Análisis de la calidad de suelos tropicales sobre la productividad del banano en diferentes fincas de los estados de Aragua y Trujillo en Venezuela

Analysis of the quality of tropical soils on banana productivity in different farms of the states of Aragua and Trujillo in Venezuela

Barlin O. Olivares^a, José A. Gómez^b, Blanca B. Landa^b, Juan C. Rey^c, Deyanira Lobo^c y Juan A. Navas Cortes^b

^a Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Programa de Doctorado en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible. Apartado 14071 Córdoba, España. email: barlinolivares@gmail.com. ^b Instituto de Agricultura Sostenible CSIC, Alameda del Obispo s/n, 14004 Córdoba, España. ^c Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Apartado 02105 Maracay, Venezuela.

Resumen

Históricamente las fincas bananeras se establecieron en Venezuela en áreas que sostenían bosques tropicales, donde las relaciones equilibradas entre sus componentes producían un ambiente eficiente, estable y con una alta capacidad de resiliencia. Sin embargo, hoy en día, el monocultivo y manejo intensivo provocó cambios sustanciales en este ambiente como la disminución de la biodiversidad del suelo, la pérdida del recurso suelo por erosión, y desequilibrios entre los componentes químicos, físicos y biológicos de los suelos. El objetivo de este estudio es analizar las relaciones entre la productividad del banano (*Musa AAA*) y la calidad del suelo determinada a partir de diversas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de seis fincas bananeras ubicadas en el estado Aragua y Trujillo de Venezuela. Para ello, las plantas se separaron en dos categorías de productividad del banano: productividad Buena (PB) y productividad Mala (PM). En cada una, fueron seleccionadas cuatro parcelas representativas de 1000 m² donde se determinó el vigor del cultivo, basado en el perímetro del pseudotallo (cm), altura del hijo (cm) y número de manos (nm) en 20 plantas con racimos entre diez y trece semanas. En cada parcela, se realizaron minicalcatas para caracterizar diversas propiedades físicas (10), químicas (18) y biológicas (30) de los suelos. Mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP) se seleccionaron los primeros cinco componentes que explicaban el 86.8% de la variación total. Se detectó que los factores de mayor incidencia en la productividad del banano fueron las propiedades químicas: contenido en Calcio, Carbonato de Calcio, Conductividad Eléctrica, relaciones Ca/K y Mg/K, pH; seguidas de las propiedades físicas: porosidad, porcentaje arena y arcilla; y por último, las variables biológicas: respiración microbiana, comunidad de bacterias y hongos, número de nematodos de vida libre. Con base a estas variables, se sugiere la implementación de prácticas de manejo sostenible que mejoren la penetración de las raíces del cultivo, aumenten la aireación, infiltración y drenaje superficial de los suelos. Adicionalmente, se sugiere la formulación de un plan de fertilización integral para restaurar el equilibrio de los suelos en beneficio de una producción sostenible y de alta calidad que mejore la vida social y económica de los productores.

Palabras clave: Banano, suelo, rendimiento, vigor, sostenibilidad.

Abstract

Historically, banana plantations were established in Venezuela in areas that supported tropical forests, where balanced relationships among their components produced an efficient, stable environment with a high capacity to resist stress. However, today, monoculture and intensive management have caused substantial changes in this environment such as the decrease in soil biodiversity, the loss of soil resources by erosion, and imbalances between the chemical, physical and biological components of soils. The objective of this study is to analyze the relationships between the productivity of banana (*Musa AAA*) and various physical, chemical and biological properties of the soils of six banana plantations located in the state of Aragua and Trujillo in Venezuela. For this, the plants were separated into two categories of banana productivity: Good productivity (PB) and Bad productivity (PM). In each, four representative plots of 1000 m² were selected where the vigor of the crop was determined, based on the perimeter of the pseudo stem (cm), height of the son (cm) and number of hands (nm) in 20 plants with clusters among ten and thirteen weeks. In each plot, mini pits were excavated to characterize diverse physical (10), chemical (18) and biological (30) properties of the soils. Through the Principal Components Analysis (PCA), the first five components that explained 87.0% of the total variation were selected. It was detected that the factors with the highest incidence in banana productivity were the chemical properties: Calcium, Calcium Carbonate, Electrical Conductivity, Ca / K and Mg / K ratios, pH; followed by physical properties such as porosity, sand and clay percentage; finally, the biological variables: microbial respiration, community of bacteria and fungi, number of free-living nematodes. Based on these variables, it is suggested the implementation of sustainable management practices that improve the penetration of the roots of the crop, increase aeration, infiltration and surface drainage of soils. Additionally, the formulation of an integral fertilization plan is suggested to restore the natural balance of the soils in favor of a high quality and sustainable production that improves the social and economic life of the producers.

Keywords: Banana, soil, yield, vigor, sustainability.

Introducción

En Venezuela, el banano (*Musa AAA*) es considerado como una fruta importante dentro del sector agrícola. Según la [FAO \(2011\)](#) en el territorio nacional existían 30.000 hectáreas sembradas de banano para el 2009, con una producción de 55.113 toneladas destinadas al mercado local y exportación, cuyo rendimiento era de 18.823 Kg/ha. En su mayoría estas plantaciones se caracterizan por estar envejecidas, con materiales de baja calidad, con bajo nivel tecnológico y con graves problemas fitosanitarios, manejadas por pequeños y medianos productores para fines de subsistencia, y en menor medida para el mercado nacional ([Nava, 1997](#); [Delgado & Paiva, 2001](#); [Martínez, 2006](#); [Delgado et al. 2008](#)).

De acuerdo con los estudios desarrollados por ([Martínez, 2006](#); [Rey et al. 2006](#); [Delgado et al. 2008](#); [Rey et al. 2010](#); [Delgado et al. 2010a](#); [Lobo et al. 2011](#)) se estableció que la aplicación de técnicas agrícolas poco innovadoras e insumos de alto costo no han sido suficientes para obtener rendimientos superiores a los mencionados anteriormente, registrándose una reducción en la productividad vinculada posiblemente al cambio y deterioro acelerado de ciertas propiedades de los suelos bananeros.

Sin embargo, el análisis directo y cuantitativo de las propiedades físicas, químicas y

biológicas del suelo y su influencia en la productividad del banano ha sido poco estudiado e investigado, pero se considera fundamental para resolver la problemática del agotamiento y baja productividad de estas plantaciones, por el impacto adverso del sistema convencional de producción (Gauggel et al, 2003; Pattison et al, 2004; Delgado et al. 2010b). Básicamente, determinar si alguna variable o propiedades del suelo que forma parte del sistema agrícola bananero es independiente, no es labor sencilla, generalmente las variables que aparentan independencia, en realidad tienen sus autorregulaciones significativas y responden a ciertos estímulos del medio externo, por lo tanto, la percepción de dichos sistemas está representada como un conjunto armónico y coherente donde cada variable de acuerdo con sus salidas y entradas en las interrelaciones con el medio, se ubica en una jerarquía o nivel de importancia (Herny & Paul, 1991; Demey et al. 1994).

Es por esta razón que las técnicas multivariadas representadas en este caso por el Análisis de Componentes Principales (ACP) permite comprender mejor la estructura de correlación existente entre las variables que definen un sistema de producción y establecer hipótesis sobre la interrelación con las variables que se están midiendo (Chatfield & Collins, 1980).

El ACP es aplicado cuando se desea conocer la relación entre los elementos de una población y se sospeche que en dicha relación influye de manera desconocida un conjunto de variables o propiedades de los elementos (Pla, 1986). Esta técnica multivariada ha sido ya aplicada en tareas de diagnóstico o predicción para ciertos estudios en Venezuela, acerca de la descripción de suelos tropicales (Ovalles & Collins, 1988; Olivares, 2016), caracterización de fincas agrícolas (Demey et al. 1994; Olivares et al. 2017a) y en la descripción de factores de producción (tierra-capital-trabajo) (Olivares, 2014; Olivares y Franco, 2015). Sin embargo, ninguno de estos estudios ha establecido la interacción entre propiedades que definen la calidad de suelo y el nivel productivo del banano.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio es establecer las relaciones entre la productividad del banano (*Musa AAA*) y las diversas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de seis fincas bananeras ubicadas en el estado Aragua y Trujillo de Venezuela, permitiendo o facilitando el diseño de las recomendaciones técnicas para la recuperación y mantenimiento de la producción de los suelos bananeros basada en el mejoramiento de las relaciones del suelo, planta y la biota asociada a la rizosfera.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se seleccionaron seis fincas bananeras distribuidas en los estados Aragua y Trujillo de Venezuela (Tabla 1). Las fincas bananeras del estado Aragua se ubican en la Cuenca del Lago de Valencia, cuyo tipo climático corresponde con el subhúmedo seco con una precipitación media anual de 980 mm (Cortez et al. 2016; Olivares et al. 2018a). Las lluvias en esta zona son estacionales con 5 a 6 meses húmedos ubicados entre los meses de mayo y octubre. Los valores medios anuales de temperatura son de 26.2°C (Olivares, 2018).

El relieve es plano (0-2%) en las fincas Punta Larga, Charles, San Mateo, Paz, ubicándose en el cuarto nivel de terraza lacustrina, originado por el desecamiento del Lago (Olivares et al. 2018b). Los suelos predominantes son molisoles y entisoles recientes, con moderado a buen drenaje, pH desde neutros a alcalinos, con buena fertilidad y de media a abundante materia orgánica (Delgado et al. 2010a, Hernández et

al. 2017).

Por otra parte, los suelos bananeros del estado Trujillo (Banaoro y Kambuca) se encuentran en la Región Sur- Oriental del Lago de Maracaibo cuyo tipo climático corresponde con el subhúmedo seco. Los valores de precipitación media anual son de 950 mm, con dos períodos marcados de humedad (Rey et al. 2012; Olivares et al. 2017b). La temperatura media anual es de 27.5°C. La zona es parte de una planicie aluvial con pendientes menores al 1% y suelos entisoles en su gran mayoría. El drenaje es de moderado a pobre con suelos neutros a alcalinos, con moderada fertilidad y contenidos medios de materia orgánica (Rey et al. 2009).

Tabla 1. Ubicación geográfica y superficie sembrada de bananos (ha) de las fincas en Venezuela.

Finca	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Ubicación	Superficie sembrada (ha)
Punta Larga	10° 12' 20" N	67° 30' 10" W	435	Aragua	135
Banaoro	09° 29' 14" N	70° 57' 05" W	16	Trujillo	300
Kambuca	09° 28' 31" N	70° 55' 46" W	17	Trujillo	270
San Mateo	10° 12' 55" N	67° 23' 42" W	502	Aragua	11
Sr. Paz	10° 11' 30" N	67° 31' 04" W	514	Aragua	20
Charles	10° 11' 34" N	67° 31' 34" W	498	Aragua	9

Muestreo

En las seis fincas bananeras se separaron dos categorías de productividad de banano “Gran Nain”: zonas de buena productividad (B) (≥ 30 t/ha), y mala productividad (M) (< 30 t/ha), de esta manera los indicadores fueron medidos y evaluados por su calidad discriminadora de los dos ambientes productivos a nivel macro (diferencias entre fincas) y a nivel micro (diferencias dentro la misma finca).

En cada parcela, se hicieron calicatas de 60 cm de ancho con 60 cm de largo y 60 cm de profundidad para caracterizar el suelo, se tomaron en los tres primeros horizontes muestras no alteradas y alteradas. Las muestras no alteradas fueron tomadas con el método de “Martinelli”, obteniendo tres repeticiones (muestras tipo Uhland) por horizonte. De esta forma, se obtuvieron un total de 144 muestras no alteradas, siguiendo la metodología propuesta por Pla (1983) para la determinación de propiedades físicas del suelo. En estas muestras se determinó: densidad aparente por el método Uhland (Forsythe, 1980), porosidad total, conductividad hidráulica saturada, Modulo de Ruptura, Índice de Humedad y Espacio Poroso Total.

Las muestras alteradas fueron colocadas en bolsas plásticas, tomando aproximadamente 2 kg de suelo de los tres primeros horizontes, obteniéndose un total de 48 muestras (16 calicatas x 3 horizontes x 1 repetición). A partir de las muestras alteradas se determinaron las siguientes propiedades: Distribución de tamaño de partícula (Bouyoucos, 1962); Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn) y Sodio (Na) (cmol/kg) por medio de la solución extractora Mehlich 3 (Mehlich, 1984), Materia Orgánica (% MO), Conductividad eléctrica (dS/m) (USDA, 1995), pH (relación suelo-agua 1:2.5). Adicionalmente, en un

punto cercano a la calicata, se determinaron en campo la infiltración básica (mm/h) y la resistencia a la penetración (kPa/cm).

El muestreo incluyó la toma de muestras compuestas de suelo en diez puntos a 20 cm de profundidad dentro de la parcela demostrativa de superficie (1000 m²) para la determinación de parámetros biológicos. Para cada uno de estos parámetros se usaron protocolos propuestos por [Rosales et al. \(2008\)](#). Las propiedades biológicas determinadas fueron: Peso radical, peso y porcentaje de raíces funcionales y no funcionales, índice de raíces alimentadoras (IFR), índice de necrosis; Número de bacterias, actinomicetes y hongos ([Seeley et al.1991](#), [Weaver et al. 1994](#)); Respiración Microbiana (mg · 100 g⁻¹ · 10 días⁻¹) ([Alef, 1995](#)); Nitrógeno (mg N · 100 g⁻¹ suelo seco) y Carbono (mg C · 100 g⁻¹ suelo seco) total microbiano ([Joergensen,1995](#)); Número de Nemátodos ([Speijer et al. 1997](#)); Porcentaje de Hongos Fitopatógenos ([Pocasangre et al. 2000](#)); Número de Microartrópodos y de Familias de Microartrópodos ([Haydock, 2002](#)).

Análisis de los datos

La matriz de datos **X** estuvo constituida por el conjunto de vectores de las observaciones **X**[ij], j=1,...,p y donde cada vector **X**[ij] presenta la variable j-ésima para todas las observaciones y donde **X**, es la matriz de datos formada por "n" observaciones con "p" variables (12 observaciones o tratamientos en las fincas x 58 variables estudiadas) (ecuación 1).

$$X = (x_{(ij)}) = \begin{bmatrix} x_{(i1)} & \dots & x_{(ip)} \\ \vdots & x_{(ij)} & \vdots \\ x_{(n1)} & \dots & x_{(np)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Utilizando el paquete estadístico InfoStat versión 7.10.2018 ([Di Rienzo et al. 2018](#)), se generaron los valores propios y proporción de la varianza explicada; la matriz de vectores propios de la matriz de transformación calculada vía matriz de correlación; la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales; la proporción de la variación original explicada por cada componente principal de la matriz de correlación o matriz de determinación. El mismo programa genera el gráfico tipo XY entre el primer y segundo componente principal o con los sucesivos componentes obtenidos.

Para tomar una decisión sobre el número de componentes a incluir se utilizó el criterio de Kaiser, que incluye sólo aquellos cuyos valores propios son superiores al promedio. Como los componentes principales fueron generados vía matriz R, se tomaron en cuenta los componentes cuyos valores propios fueron mayores a 1 y el método gráfico basado en ondas, los cuales coinciden en sus resultados.

Resultados y discusión

Análisis preliminar con la matriz de datos completos

El primer análisis con las 58 variables originales permitió eliminar aquellas que agregaban muy poco y sólo contribuían a distorsionar el análisis o hacer "ruido". Este análisis preliminar logro inferir que se requerirían de 11 componentes para que la proporción de la varianza total explicada a partir de la matriz de correlación alcanzara el 100 %, siendo este número de componentes bastante elevado para explicar la caracterización del sistema, sabiendo que la proporción de la variación original explicada a partir del segundo componente principal es inferior al 32 %. Igualmente, la correlación de las variables originales con los dos primeros componentes no era de significación, presentando valores muy cercanos a cero.

El análisis preliminar permitió seleccionar 32 variables: pH, CaCO₃, Materia Orgánica (MO), Conductividad Eléctrica (CE), Nitrato (NO₃), Ca, Mg, Na, P, Fe, Zn, Mn, relaciones Ca/K y Mg/K, Arena (Sand), Arcilla (Clay), Porosidad, Densidad aparente (Da), Índice de Humedad (W), Infiltración (I), Resistencia a la Penetración (RP), poblaciones totales de bacterias (Lbact), poblaciones totales de hongos (Lfungi), Respiración Microbiana a los 10 días (RMT), Nitrógeno total (N total), Carbono total (C total), poblaciones totales del Fitonematodo *Radopholus similis* (Lrads), Nematodos de Vida Libre total (NVLtotal), numero de géneros de Nematodos de Vida Libre (NVLgen), Presencia de otros hongos (otrofung), total de micro artrópodos (MAta), Total de familias de micro artrópodos (MATf).

Análisis con la matriz de datos reducida

Utilizando el criterio de incluir sólo aquellos valores propios que fuesen mayores a 1, se presentan seis componentes principales (tabla 2), los cuales explican el 90.8 % de la variación, siendo una proporción significativa del total (>75.0%), ya que se pierde el 9.2 % de la varianza, pero se reduce la dimensión de la matriz en un 44.83%, con lo cual se simplifica considerablemente tanto la interpretación como el tratamiento posterior que haga de los mismos. Sin embargo, solo se seleccionaron los primeros cinco componentes principales debido a que en el sexto componente no hubo variables con una correlación superior al 50%, es decir estos cinco componentes explican un 86.8% de la varianza total (figura 1).

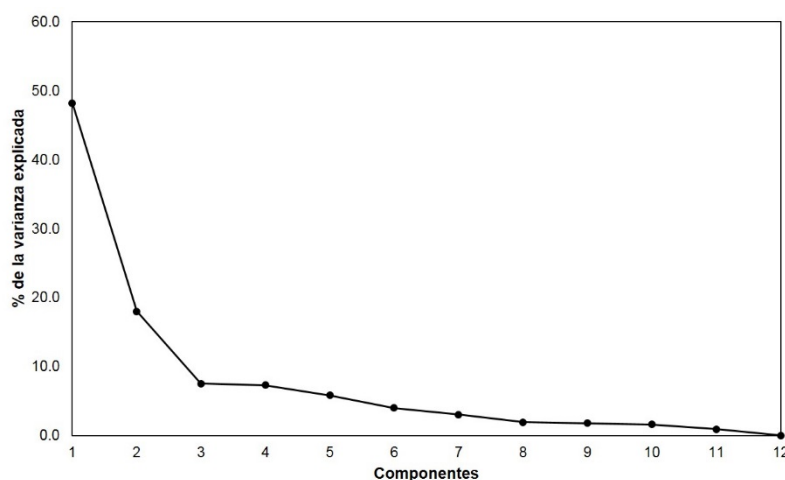


Figura 1. Variaciones explicada por los componentes vía matriz de correlación.

De la matriz de transformación se obtuvo información sobre la mayor correlación posible entre las variables originales y los componentes principales; esta matriz sirvió de base para calcular los respectivos coeficientes de determinación o proporción de la variación explicada. Para determinar qué variables de cada uno de estos componentes seleccionados explican la variabilidad de este componente, se tomaron en cuenta solamente aquellos con un valor igual y superior a 50%.

Tabla 2. Valores propios y proporción de la varianza explicada calculada a partir de la matriz de correlación

Componentes	Valor Propio	Proporción de la varianza total explicada	
		Absoluta	Acumulada

1	15.422	0.482	0.482
2	5.754	0.180	0.662
3	2.387	0.075	0.736
4	2.343	0.073	0.810
5	1.861	0.058	0.868
6	1.281	0.040	0.908
7	0.967	0.030	0.938
8	0.610	0.019	0.957
9	0.573	0.018	0.975
10	0.509	0.016	0.991
11	0.293	0.009	1.000
12	0.000	0.000	1.000

Primer componente principal

El primer componente es el que tiene la varianza más alta y por lo tanto la mayor capacidad explicatoria de los datos. En este caso alcanza el 48.2% del total. Se observan en la tabla 3 los valores positivos en proporciones más o menos análogas de aquellas variables que en su conjunto reflejan los contenidos de Ca (93.7%), CaCO₃ (91.6%), CE (95.2%), relaciones Ca/K (92.8%) y Mg/K (90.5%), porosidad (92.6%) y la RMT (89.4%).

Estos resultados se pueden interpretar como el de un componente cuyas magnitudes están asociadas con la discriminación entre fincas que tienen valores elevados de las variables químicas mencionadas tales como **Ca y CaCO₃** y las que no lo presentan.

Tal es el caso de las características particulares de los suelos de la Planicie Lacustrina de la Cuenca del Lago de Valencia, donde los suelos de la finca Punta Larga, al estar ubicada a cercanías del espejo de agua del Lago poseen mayores valores de conductividad eléctrica con incremento en el perfil del suelo, mayor cantidad de equivalente de Carbonato de Calcio (CaCO₃), pH más alcalinos y mayor presencia de caracolillo. Estas variables han sido reportadas como limitantes para el desarrollo radical en el cultivo de banano, ofreciendo así una explicación por la cual en los lotes de buena producción presentaron bajos valores asociados a raíces (peso radical, porcentaje de raíces funcionales y no funcionales) pero con una mejor condición del suelo donde se desarrollan.

Por otra parte, las características particulares del material parental de los suelos generan niveles muy altos de Ca (>50 cmol/kg) lo cual se asocia con muy altas relaciones Ca/Mg; Ca/K e incluso existen altas relaciones Mg/K, que provocan desbalance nutricional y dificultad en la absorción de estos elementos.

Tabla 3. Proporción de la variación original explicada por los cinco componentes principales de la matriz de correlación

Variable	Componentes				
	1	2	3	4	5
pH	0.332	-0.394	-0.170	0.644	-0.431
CaCO ₃	0.916	0.179	-0.085	0.174	-0.091
OM	0.820	-0.130	-0.438	0.012	-0.150

CE	0.952	0.178	-0.137	0.040	-0.119
NO ₃	0.826	0.283	0.105	-0.373	0.083
Ca	0.937	0.128	0.181	0.038	0.168
Mg	0.848	-0.221	0.303	0.121	0.239
Na	0.689	-0.321	0.469	0.258	0.237
P	0.739	0.522	0.007	-0.173	0.265
Fe	-0.759	0.078	-0.241	-0.167	0.500
Zn	0.566	0.620	-0.236	0.261	-0.109
Mn	-0.722	-0.604	-0.173	-0.015	-0.084
Ca/K	0.928	0.244	0.040	0.070	-0.040
Mg/K	0.905	0.294	0.133	0.047	-0.158
arena	-0.123	0.909	0.347	0.036	-0.001
arcilla	0.403	-0.691	-0.344	-0.425	0.098
Porosidad	0.926	-0.046	-0.223	-0.173	-0.097
Da	-0.840	-0.122	0.130	0.263	0.234
W	0.858	-0.310	0.139	-0.153	0.188
I	0.791	-0.312	0.369	0.078	0.257
RP	0.776	-0.008	-0.142	0.061	0.193
Lbacterias	0.419	-0.645	0.090	0.150	-0.298
Lhongos	0.692	0.593	-0.270	-0.192	-0.085
RMTs	0.894	-0.033	-0.215	0.225	0.082
Ntots	0.438	-0.245	0.084	-0.198	0.566
Ctots	-0.218	0.397	-0.084	0.628	0.488
Lrads	-0.356	0.640	0.439	-0.383	-0.150
NVLtots	-0.278	0.531	0.543	0.053	-0.369
NVLgens	-0.352	0.014	-0.030	0.644	0.216
otfungos	0.402	0.491	-0.470	0.067	0.011
MATAs	0.388	-0.726	0.286	-0.252	-0.132
MATFs	0.675	-0.368	0.457	0.229	-0.144

Por el contrario, en las fincas Banaoro y Kambuca se destacan los bajos niveles en las relaciones Ca/K y Mg/K en los suelos de buena y mala productividad; aspecto que afecta el balance nutricional y la absorción y aprovechamiento de estos elementos por el cultivo, aun cuando individualmente los niveles de estos sean adecuados. En relación con el Ca, se reportaron valores más altos en los suelos de buena productividad con respecto a los suelos de mala productividad, estas diferencias se reflejan en la relación Ca/Mg donde consecuentemente se observan valores normales para los suelos malos y altos para los suelos buenos.

A pesar de las altas concentraciones de calcio, no necesariamente esos valores expuestos en los análisis coinciden con las cantidades que presenta la planta, es decir, con la cantidad real de calcio absorbido por la misma, especialmente en época seca

(diciembre a abril), cuando la humedad en el suelo disminuye y consigo el movimiento de calcio en el perfil (Finck, 1988). Por otro lado, las relaciones de equilibrio que deben guardar el **Ca, Mg y K** son esenciales para una buena asimilación de nutrientes en la planta y tienen una analogía estrecha con la cantidad de calcio cambiante en el suelo (Turner & Bull, 1970; Espinosa & Mite, 2002; Díaz et al. 2007).

Los bajos rendimientos en banano frecuentemente están asociados a una baja disponibilidad del K ocasionado, bien por deficiencias, o por desbalances en la relación K/Ca/Mg; en otros casos las aplicaciones sucesivas de K provocan acumulación excesiva de este nutriente induciendo desequilibrios entre estos tres elementos (Moreno et al. 1999, Herrera, 1983). Las relaciones de equilibrio entre nutrientes tienen un efecto directo sobre la producción y calidad del fruto del banano, posiblemente por su acción sobre la disponibilidad, absorción y funcionalidad de estos. En esta línea, [Martin-Prével & Montagut \(1966\)](#) afirmaron que los desequilibrios en la relación K/Ca /Mg afecta principalmente la absorción de Ca.

En este componente 1, la variable física más relacionada con los niveles de productividad del cultivo fue la porosidad, encontrándose una relación entre los mayores valores de densidad aparente y los menores valores de porosidad en los lotes de más baja productividad, lo cual influyó en los parámetros de penetración y movimiento de agua.

Los niveles freáticos presentes en la zona del lago de Valencia y la compactación de los suelos en ciertas áreas de las fincas por prácticas de cultivo limitan el crecimiento normal de las raíces en época lluviosa ([Díaz et al. 2007](#)). En estos suelos se presentan arcillas tipo 2:1, con alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y altos contenidos de Ca y K, contribuyendo a desbalances iónicos en el suelo ([Rojas, 2001; Estrada, 2001](#)).

Adicionalmente cuando la circulación del oxígeno se limita, los procesos de fermentación que originan la muerte de los ápices de la planta se incrementan ([Aguilar et al. 2003; Turner et al. 2007](#)). Por su parte, autores como [Serrano \(2003\)](#) plantean que la pérdida de 110 gramos de raíces funcionales por planta disminuye la productividad de 60 a 140 cajas de banano/ha/año. Los resultados de la presente investigación sugieren que las áreas con mayor concentración de vermiculita y alto porcentaje de microporos afectan directamente la disponibilidad del K.

Según el estudio de [Amézquita et al. \(2003\)](#) el porcentaje óptimo para el desarrollo normal de las plantas en un suelo con **porosidad total** de 50%, debe ser de 15% de macroporos o agua drenable, 30 % de mesoporos o agua aprovechable y 5% de microporos o agua residual. De acuerdo con esta interpretación, los bajos valores de porosidad en Punta Larga en los suelos de mala productividad pueden explicar la baja capacidad de los suelos para almacenar agua aprovechable y de un aporte adecuado de los nutrientes.

También, una de las variables con mayor correlación en este componente 1 lo representa la **conductividad eléctrica (CE)**. Las musáceas, por las características del sistema radical, son capaces de absorber, con más o menos facilidad, los nutrientes de la solución fertilizante estando ésta a una u otra CE. En el caso de los suelos bajo estudio, se trata de suelos no salinos con valores inferiores a 0.50 dS m⁻¹, lo que indica que la conductividad eléctrica se encuentra en un valor óptimo, es decir la planta de banano no tendrá que esforzarse para poder absorber nutrientes y en consecuencia no se verá afectado el rendimiento productivo ([Rey et al. 2010](#)).

Este gasto de energía realizado por la planta a la hora de absorber nutrientes es considerado como relevante, debido a que el ahorro de energía en la nutrición

representa la base sustancial para que el cultivo disponga de la mayor cantidad de ésta, y así, pueda realizar otros procesos fisiológicos tales como “engorde del fruto” y en consecuencia las plantaciones serán más productivas en términos de rentabilidad.

Adicionalmente, las variables biológicas en este componente 1 presentaron una relación menos consistente con los niveles de productividad del banano, que en el caso de las variables físicas y químicas. Sin embargo, se destaca una mayor respiración microbiana en los suelos de buena productividad para el caso de Punta Larga; así como la mayor proporción de fitonemátodos y hongos fitopatógenos en los suelos de menor productividad.

Segundo componente principal

El segundo componente explica un 18.0% de la variabilidad total. Está referido a la distribución del tamaño de partículas (% de arena y arcilla) con un 90.9% y 69.1% respectivamente, y las variables biológicas tales como poblaciones de bacterias (64.5%), hongos (59.3%), poblaciones del nematodo *Radopholus similis* con un 64.0% y las poblaciones de microartrópodos con un 72.6%.

El número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua (Acuña et al. 2006).

Los valores de número de colonias de bacterias en los suelos resultaron ser mayores que los de hongos, posiblemente porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación necesaria para la biota del suelo. Esto debería estar relacionado con el pH y el material orgánico en el medio. Sin embargo, los resultados de estos parámetros no guardan relaciones significativas, lo que implica que las poblaciones microbianas sobreviven con el aporte de nutrimentos añadidos por los fertilizantes, ya que la materia orgánica posiblemente presente un carácter recalcitrante que merma la labor microbiana en los procesos de mineralización.

En cuanto a la comunidad de hongos, ésta se diferencia claramente entre los suelos de las diferentes fincas estudiadas, pudiéndose decir que esta población microbiana sea un factor determinante en la productividad de los suelos de bananeras. Es importante tomar en cuenta que para algunos autores (Anderson & Domsch, 1993), la mineralización de la materia orgánica se debe principalmente a las poblaciones fúngicas en una relación 3:1 con respecto a las poblaciones bacterianas; este es un enfoque fisiológico de la biomasa microbiana que demuestra el potencial microbiológico, y por lo tanto bioquímico, de los suelos al determinar su calidad.

En las fincas Banaoro y Kambuca se destaca una mayor población de bacterias y hongos en los suelos de buena productividad, asociados a una mayor presencia de carbono microbiano; así como la mayor proporción de fitonemátodos y hongos fitopatógenos en los suelos de menor productividad. En el caso de Punta Larga, los resultados de las pruebas biológicas indicaron una mayor respiración microbiana total para los suelos buenos con respecto a los de mala productividad, evidenciando que los suelos con mayor productividad presentan una actividad biológica más alta. Esta tendencia también se aprecia para el caso del Nitrógeno microbiano. Sin embargo, las poblaciones totales de bacterias y hongos y el carbono microbiano no mostraron una relación consistente con los niveles de productividad del banano.

Con relación a las poblaciones de fitonemátodos, no se encontró *Radopholus similis* en

la mayoría de las fincas, excepto en la finca Paz y Charles. De acuerdo con los aportes de [Chávez & Araya \(2009\)](#) se encontró que un aumento en el porcentaje de arena en el perfil de suelo ocasiona un aumento en el número de *R. similis* ($r= 0,38$; $P< 0,0001$), *Helicotylenchus* spp. y nematodos totales. Por otra parte, conforme aumentó el porcentaje de arcilla en ese suelo aumentó el peso de raíz funcional y se redujo el número de *R. similis*

También, es necesario mencionar que la ausencia o poca asociación de las características fisicoquímicas del suelo con el número de *R. similis* probablemente se deba al hábito de alimentación de dicho nematodo que es endoparásito migratorio obligado, que pasa la mayor parte de su ciclo biológico dentro de las raíces del banano. Por el contrario, con el aumento en el porcentaje de arcilla disminuyó el número de *R. similis*, *Helicotylenchus* spp. y nematodos totales similar a lo reportado por [Ferreira et al. \(2006\)](#) y [Cássia et al. \(2006\)](#).

Tercer componente principal

El tercer componente interpreta el 7.5% de la variabilidad total. Está referido a los NVL con un 54.3%. En general, las poblaciones de *Helicotylenchus multicinctus* son muy bajas (<400 en 100g suelo) en todos los suelos. No obstante, la proporción de fitonemátodos es mayor en los suelos de productividad mala con respecto a los de buena productividad.

Se conoce que las poblaciones de nematodos en las raíces y los contenidos de elementos en el suelo varían tanto temporal como espacialmente, lo que hace muy compleja dicha interacción. Sin embargo, pareciera que dicha variación no se presentó en el área de 4 ha de donde se tomaron las muestras. Los resultados demostrados por [Chávez & Araya \(2009\)](#) sugieren profundizar estudios en dos líneas: el efecto de la nutrición en el número y daño de los nematodos y el efecto de éstos en la absorción de nutrientes.

Cuarto componente principal

El cuarto componente representa un 7.3% de la variabilidad total. Se presentan con valores positivos de pH (64.4%), Carbono Total (62.8%) y géneros de los NVL (64.4%). En todas las fincas evaluadas se apreciaron mayores niveles de carbono microbiano en los suelos buena productividad indicando que esta variable presenta relación con los niveles de productividad del banano.

Según [Norton \(1979\)](#), los nematodos pueden tolerar rangos amplios de pH, por consiguiente, solo valores extremos, de muy bajo o muy alto, afectaría la población de nematodos. Sin embargo, [Pattison \(2006\)](#) observó en plantaciones de Costa Rica que a pH neutros se reduce el número de nematodos parásitos de las raíces del banano.

Por su parte [Chávez & Araya \(2009\)](#) establecieron que el mayor número de *R. similis* y nematodos totales observado al aumentar el contenido de K y Mg (pasta saturada), respectivamente, lo cual concuerda parcialmente con lo observado por [Cássia et al. \(2006\)](#) quienes indican una asociación positiva entre la saturación de bases y *M. javanica* y *Helicotylenchus* spp. Al aumentar la CE aumentaron los pesos de raíz total y funcional, lo que probablemente favoreció el mayor número de *R. similis* y nematodos totales, al haber mayor fuente de alimentación disponible. Sin embargo, valores mayores a 0,8 dS/m de CE afectan visiblemente la planta y los frutos de banano ([Turner, 1994](#)).

Quinto componente principal

El quinto componente comprende un 5.8 % de la variabilidad total, con valores positivos de la variable Nitrógeno Total (56.6%) y Fe (50.0%). En Punta Larga, asociado a los altos pH se observaron niveles bajos de Fe y Mn en las dos categorías de productividad. El Fe como elemento fundamental en la molécula de clorofila, es un elemento esencial para el desarrollo del cultivo y su deficiencia puede afectar en gran medida los rendimientos.

Los suelos de la Finca Kambuca mostraron una diferencia importante en los niveles de pH. Mientras los suelos malos presentan reacción por encima de 8.0, los suelos buenos muestran pH más normales (7.5). Estos pH por encima de 7.5 en todos los suelos están asociados con niveles bajos de Fe y Zn, microelementos importantes para el desarrollo del cultivo.

En Banaoro se destacan los niveles altos de pH (>8.0) para ambas categorías de productividad (Buena y Mala). Estos valores altos de pH se relacionan con niveles altos en Na y bajos niveles de Fe. Los niveles altos de Na en el suelo son tóxicos para el cultivo, a la vez que disminuyen en gran medida la permeabilidad. Por el contrario, según el reporte de [Calvache et al. \(2014\)](#), de todos los micronutrientes, el Fe fue el elemento que más acumuló la planta bananera, muy probablemente debido a que este elemento forma parte estructural de los citocromos, citocromo oxidasa, catalasa, peroxidasa y ferredoxina; además, se encuentra tanto en sistemas respiratorios como fotosintetizadores.

Los componentes en relación con su importancia y significación se resumen tal como se presentan en el tabla 4. Del análisis de la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales, puede notarse que los valores más altos del componente 1 son los mismos que se encontraron al realizar la revisión de la matriz anterior, con lo cual se logra una nueva precisión en relación con la importancia relativa de las variables asociadas a cada componente.

Tabla. 4. Significado de los primeros cinco componentes principales vía matriz de correlación (R)

Componente	%	Interpretación
Primero	48.2	Las propiedades químicas: Ca, CaCO ₃ , conductividad eléctrica, relaciones Ca/K y Mg/K; la variable física: porosidad; y la variable biológica: respiración microbiana
Segundo	18.0	Las propiedades físicas: distribución del tamaño de partículas (% de arena y arcilla) y las variables biológicas poblaciones de bacterias, hongos y del nematodo <i>Radopholus similis</i> y microartrópodos
Tercero	7.5	La propiedad biológica: poblaciones de Nematodos de Vida Libre
Cuarto	7.3	La propiedad química: pH y las propiedades biológicas: Carbono total y géneros de los Nematodos de Vida Libre.
Quinto	5.8	La propiedad química: Hierro (Fe) y la propiedad biológica: Nitrógeno total
Total de la varianza explicada	-	86.8 %

De la revisión de la matriz de correlación entre las variables originales y los componentes principales se genera la figura 2, las cuales destacan que las variables

más significativas en cada caso se ubican más cerca del de los extremos del eje. Es evidente que los suelos estudiados tienden a ser ecosistemas frágiles y de difícil mantenimiento ambiental y productivo. Las características estudiadas de estos suelos posiblemente sean el resultado del manejo convencional e intensivo del medio, por haber un monocultivo y por las condiciones edafoclimáticas poco favorables en algunas zonas bananeras a la microflora del suelo. La figura 3 muestra la ubicación de los tratamientos por fincas en los componentes principales.

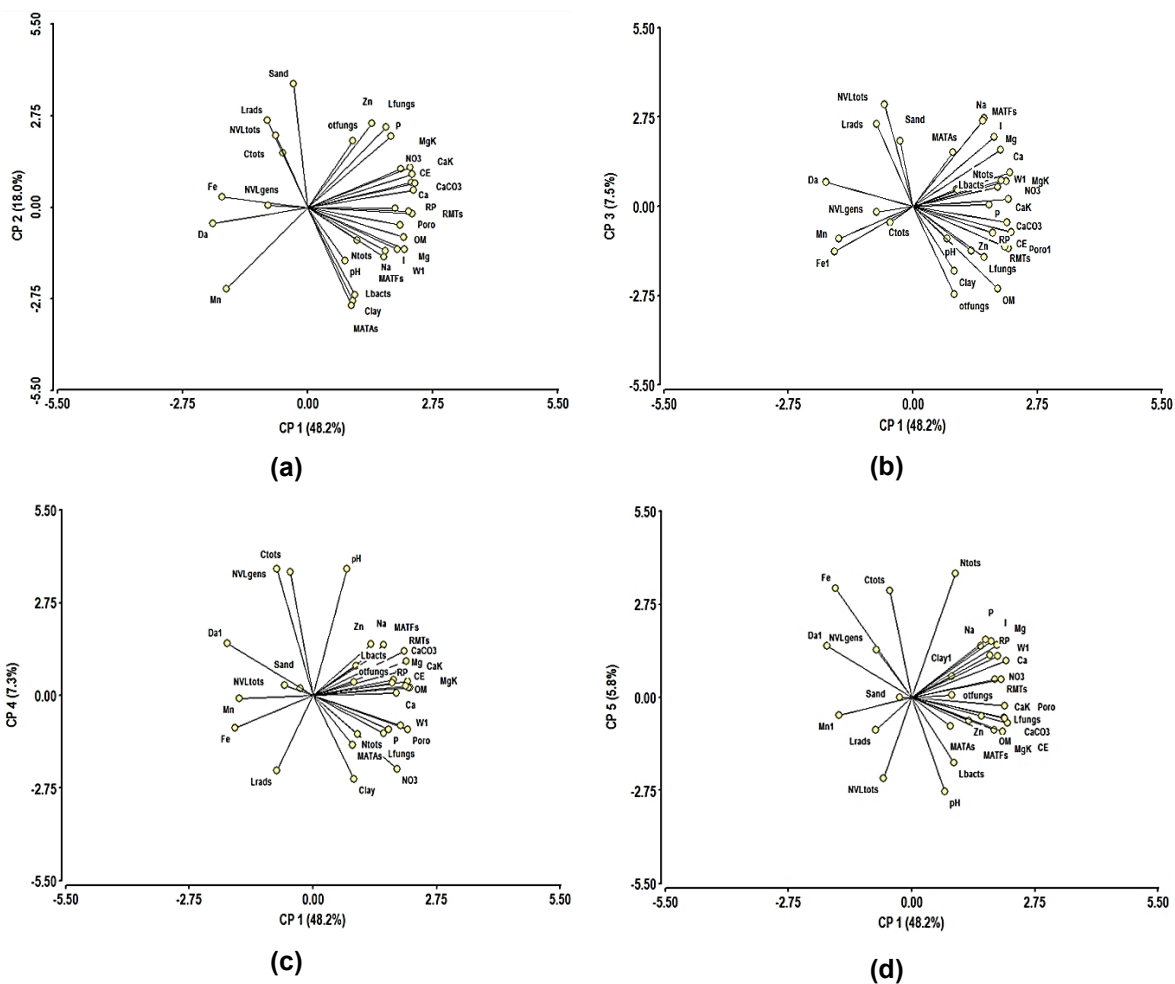


Figura 2. Correlación de las variables originales con los componentes principales: (a) primer y segundo componente principal; (b) primer y tercer componente principal; (c) primer y cuarto componente principal; (d) primer y quinto componente principal.

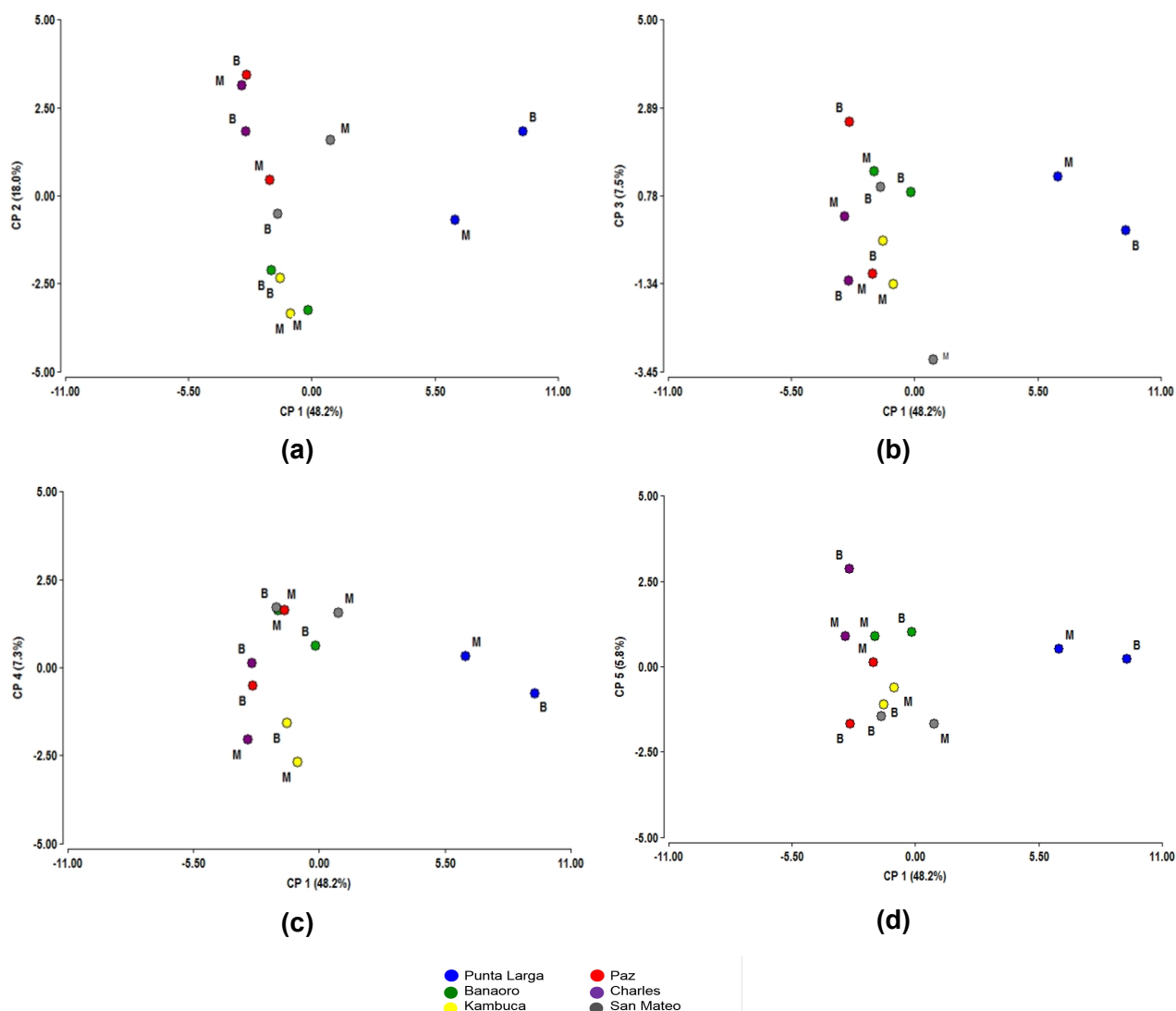


Figura 3. Correlación de las tratamientos buena productividad (B) y mala productividad (M) en las seis fincas bananeras evaluadas con los componentes principales: (a) primer y segundo componente principal; (b) primer y tercer componente principal; (c) primer y cuarto componente principal; (d) primer y quinto componente principal.

Conclusiones

Las correlaciones indicaron que las variables medidas del suelo están relacionadas con los cambios en la productividad del cultivo; destacando el mayor peso de las variables químicas sobre los cambios en la productividad, en comparación con las variables físicas y biológicas del suelo.

Las propiedades físicas del suelo mayormente relacionadas con los cambios en el vigor del cultivo fueron: la porosidad y la distribución del tamaño de partícula (%arena y arcilla), dentro de las variables químicas: la reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica, contenidos de calcio, carbonato de calcio equivalente, y las relaciones Ca/K y Mg/K. Así mismo, las variables biológicas relacionadas con la productividad fueron la respiración microbiana, el carbono y nitrógeno microbiano, las poblaciones de bacterias, hongos y de nematodos de vida libre.

Es indispensable un análisis de tejido foliar para poder plantear alternativas tecnológicas puntuales y precisas, en los lotes evaluados de las fincas más grandes. De este modo se podrían establecer de manera más adecuada las posibles dosis de fertilización, no solo en función de los resultados del análisis fisicoquímico del suelo, sino también en función de la absorción y nutrición del cultivo.

En este último aspecto relacionado con la población de microorganismos en varios lotes estudiados, la poca población presente en lotes de mala productividad ha tratado de mantener un cierto equilibrio medioambiental, tal como sucede en otros ambientes adversos. La calidad y salud del suelo se relaciona directamente con la actividad microbiana y la eficiencia que ésta tenga sobre la descomposición de la materia orgánica del suelo y el ciclo de los nutrientes, por lo que es acertado el uso de enmiendas orgánicas de composición variada y objetivamente tratadas, de forma tal que se favorezcan los procesos de mineralización de la materia orgánica. Dicha práctica debe ir acompañada de otras que favorezcan la gestión sostenible del suelo.

Adicionalmente, se sugiere la utilización de insumos biológicos o microorganismos benéficos, adaptables a las condiciones de las fincas bananeras estudiadas para que estimulen los procesos metabólicos y enzimáticos necesarios en el agroecosistema. Ya que de los resultados obtenidos se puede inferir que la microflora presente en la rizosfera del banano no cumple con las expectativas de mejorar o mantener de forma sostenible la productividad y vigor de la plantación de bananos en las localidades venezolanas a largo plazo.

Agradecimiento

Esta investigación surgió del Proyecto “Innovaciones tecnológicas para el manejo y mejoramiento de la calidad y salud de suelos bananeros de América Latina y el Caribe” financiado por FONTAGRO y coordinado por el INIBAP, a ellos un sincero agradecimiento.

Referencias bibliográficas

- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F.; Delgado, E., Trejos, J. & Segura, Ál. (2006). Importance of microorganisms for soils quality and health. In Memorias XVII Reunión Internacional ACORBAT: Banano un negocio sustentable. Joinville, Santa Catarina, Brasil. p. 362.
- Aguilar E., A., Turner D.W., Gibbs D.J., Armstrong, W. & Sivasithamparam K. (2003). Oxygen distribution and movement, respiration and nutrient loading in banana roots (*Musa spp.* L.) subjected to aerated and oxygen-depleted environments. *Plant Soil*, 253(1): 91–102.
- Alef, K. (1995). 10 - Field methods. In K. Alef & P. Nannipieri (Eds.), *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry* (pp. 463-490). London: Academic Press.
- Amézquita, E. L., Chávez D.L., Molina P., Hoyos & Galvis J. H (2003). Susceptibility to compaction of improved soils (Oxisols) in the Eastern Plains of Colombia. International Soil Tillage Research Organisation Conference, Proceedings of ISTRO-16 “Soil Management for Sustainability”. Brisbane, Australia.
- Anderson, T.H. & Domsch, K. H. (1993). The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Short Communication, Soil Biology and Biochemistry* 25 (3): 393-395.
- Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Calvache, M., Avellán, L. & Cobeña, N. (2014). Extracción de Micronutrientes según la

- Fenología del Plátano Barraganete (*Musa paradisiaca* L.). **Tsafiqui** [S.I.] (7): 15-29.
- Cássia, F.R.; Aparecida, A.; Hyidu, ME; Ruas, PF; Brito, RH; Azis, APA & Ferraz, S. (2006). Influencia de fatores edáficos sobre a população de *Meloidogyne javanica*, *Helicotylenchus multicinctus* e *Radopholus similis* em bananeira. In Memórias XVII Reunião ACORBAT. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 15-20 octubre 2006. p. 813-817.
- Chatfield, C. & Collins, A.J. (1980). Introduction to multivariate Analysis. Chapman and Hall. New York. 246 p.
- Chávez, C. & Araya, M. (2009). correlación entre las características del suelo y los nematodos de las raíces del banano (*Musa* AAA) en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana* 20(2):361-369.
- Cortez, A., Rodríguez, M.F., Rey, J.C., Ovalles, F., González, W., Parra, R., Olivares, B. & Marquina, J. (2016). Variabilidad espacio temporal de la precipitación en el estado Guárico, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 33 (3): 292-310.
- Delgado, E. & Paiva, R. (2001). Estudio de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijensis* Morelet) sobre la sostenibilidad de la producción de musáceas en Barinas, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 18 (4):277-289.
- 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.* 25 (4): 27-38.
- Delgado, E., Rosales, F., Trejos, J., Villalobos, M. & Pocasangre, L. (2010b). índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras de cuatro países de América Latina y el Caribe. *Bioagro* 22 (1): 53-60.
- Delgado, E., Trejos, J., Villalobos, M., Martínez, G Lobo, D., Rey, J., Rodríguez, G., Rosales, F. & Pocasangre, L. (2010a). Determinación de un índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en Venezuela. *Interciencia*, 35 (12): 927-933.
- Demey, J.R., Adams, M. & Freites, H. (1994). Uso del método de análisis de componentes principales para la caracterización de fincas agropecuarias. *Agronomía Trop.* 44(3): 475-497.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <https://goo.gl/GzbBA5>.
- Díaz, A., Cayón, G. & Mira, J.J. (2007). Calcium metabolism and its relationship with "maturity bronzing" in banana fruits. A review. *Agronomía Colombiana* 25(2), 280-287.
- Espinosa, J. & Mite, F. (2002). Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. *Informaciones Agronómicas del Instituto de la Potasa y el Fosforo* 48, 5.
- Estrada, G. (2001). Disponibilidad del calcio, magnesio y azufre, su análisis en los suelos y plantas y su interpretación. pp. 85-104. En: Silva, F. (ed.). *Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
- FAO. (2011). *Banana Market Review and Banana Statistics 2009-10*. Rome. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/en/>
- Ferreira, R.R.C., Aparecida, A., Mizobutsi, EH., Pereira, FR., Ribeiro, HB., Alexandre, PAA. & Ferraz, S. (2006). Influencia de fatores edáficos sobre a população de *Meloidogyne javanica*, *Helicotylenchus multicinctus* e *Radopholus similis* em bananeira. In: XVII Reunião ACORBAT. Joinville, Santa Catarina, Brasil. p. 813-817.

- Finck, A. (1988). Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de cultivos. Reverte S.A., Barcelona. pp. 181-242.
- Forsythe, W. (1980). Física de Suelos: manual de laboratorio. 1ª ed. 2ª reimpresión. San José C.R. IICA. 212 p.
- Gauggel, C.A., Sierra, F. & Arévalo, A. (2003). The problems of banana root deterioration and their impact on production: production experience in Latin America. In: Turner D.W. and F.E. Rosales (eds). Banana Root System: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an international symposium/ International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France.
- Haydock, P.P.J. (2002). Diagnosing Plant Diseases Caused by Nematodes, by M. C. Shurtleff & C. W. Averre, III. American Phytopathological Society. Vi 187 pp. St Paul, Minnesota: APS Press (2000). *The Journal of Agricultural Science*, 138(4), 459-461. doi:10.1017/S0021859602252429
- Hermý, M. & Paul. J.L. (1991). Multivariate ratio analysis, a graphical method for ecological ordination. *Ecology* 72:735-738.
- Hernández, R; Pereira, Y; Molina, JC; Coelho, R; Olivares, B & Rodríguez, K. (2017). Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela. Sevilla, Spain, Editorial Universidad Internacional de Andalucía. 247 p.
- Herrera, W. (1983). Respuesta del cultivo del banano del subgrupo Cavendish, clon Gran Enano, a la fertilización con dosis de nitrógeno, fósforo y potasio. *Asbana*. 19 :28-30.
- Horton, J.H. & Newsom, D.W., (1953). A rapid gas evolution method for calcium carbonate equivalent in liming materials: *Soil Science Society of America Journal*, 17, 414-415.
- Joergensen, R.G. (1995). Microbial biomass. In K. Alef & P. Nannipieri (Eds.), *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry* (pp. 375-417). London: Academic Press.
- Lobo, D., Pulido, M., Rey, J. C., Rodríguez, G. & Martínez, G. (2011). Índice de productividad de Pierce y el vigor en plantaciones de bananos (*Musa* AAA). In *Memorias XIX Congreso Venezolano de la Ciencia Del Suelo*. Calabozo, 2 -25 de nov. de 2011. p. 79-84.
- Martínez, G. (2006). Situación actual de los sistemas de producción de musáceas en Venezuela: Breve análisis. In: Aular, J. Memoria del IX Congreso Venezolano de Fruticultura, Barquisimeto, UCLA-Postgrado de Horticultura. p. 99 -108.
- Martin-Prével P. & Montagut, G. (1966). Essai sol-plante: les interactions dans la nutrition minérale du bananier. *Fruits* 21:19-36.
- Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 Soil test extractant: A modification of Mehlich 2 ex-tractant. *Communications in Soil Science Plant Analysis* 15(12) pp 1409-1416.
- Moreno M., Fernández, L., Sosa, L. & Nava, J.C. (1999). Effect of potassium, calcium and magnesium on banana tree yield (*Musa* AAA, Cavendish subgroup, Great Dwarf clone). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 16 (Supl 1): 114-123.
- Nava, C. (1997). El plátano, su cultivo en Venezuela. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo, Venezuela. 134 p.
- Norton, C. (1979). Relationships of physical and chemical factors to populations of plant parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 17:279-299.
- Olivares, B. & Franco, E. (2015). Diagnostico agrosocial de la comunidad indígena de Kashaama: Un estudio empírico en el estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Científica Guillermo de Ockham*. 13 (1): 87-95.
- Olivares, B. (2014). Aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) en el

- diagnóstico socio ambiental. Caso: sector Campo Alegre, municipio Simón Rodríguez de Anzoátegui. *Revista Multiciencias*. 14 (4): 364 – 374.
- Olivares, B. (2016). Descripción del manejo de suelos en sistemas de producción agrícola del sector Hamaca de Anzoátegui, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 23(1): 14–24.
- Olivares, B. (2018). Tropical conditions of seasonal rain in the dry-land agriculture of Carabobo, Venezuela. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. 27(1):86-102.
- Olivares, B., Cortez, A., Parra, R., Lobo, D., Rodríguez, M.F. & Rey, J.C (2017b). Evaluation of agricultural vulnerability to drought weather in different locations of Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 34 (1): 103-129.
- Olivares, B., Hernández, R; Coelho, R., Molina, J.C. & Pereira, Y. (2018b). Spatial analysis of the water index: an advance in the adoption of sustainable decisions in agricultural territories of Carabobo, Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*. 60 (1): 277-299.
- Olivares, B., Hernández, R; Coelho, R., Molina, J.C. & Pereira, Y. (2018a). Analysis of climate types: Main strategies for sustainable decisions in agricultural areas of Carabobo, Venezuela. *Scientia Agropecuaria*. 9(3): 359 – 369.
- Olivares, B., Lobo, D., Cortez, A., Rodríguez, M.F. & Rey, J.C. (2017a). Socio-economic characteristics and methods of agricultural production of indigenous community Kashaama, Anzoategui, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 34 (2): 187-215.
- Ovalles, F.A. & Collins, M.E. (1988). Variability of Northwest Florida soils by principal component analysis. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 52:1430-1435.
- Pattison, T. (2006). Banana farm management effects on soil health and plant-parasitic nematodes in Costa Rica. Final report. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries, Australia. 35 p.
- Pattison, T., Badcock, K., Lindsay, S. Armour, A., Velupillai, R., Moody, P., Smith, L., Gullino, L. & Cobon, J. (2004). Banana root and soil health project – field workbook. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia. 15 p.
- Pla, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Alcance 32. 91 p.
- Pla, L.E. (1986). Análisis multivariado: método de componentes principales. OEA. 97 p.
- Pocasangre, L.E., Sikora, R. A., Vilich, V. & Schuster, R-P. (2000). Survey of banana endophytic fungi from Central America and screening for biological control of *Radopholus similis*. *Acta Horticulturae*, 531: 283-289.
- Rey, J. C., Martínez, G., Rodríguez, G., Lobo, D., Sapuky, M., Muñoz, E., Chacín, M., Pocasangre, L., Delgado, E. & Rosales, F. (2010). Propiedades del suelo que determinan el vigor del banano (*Musa AAA*) de producción local en Venezuela. In *Memorias XIX Reunión Internacional ACORBAT: Medellín, Colombia*. p. 621.
- Rey, J. C., Martínez, G; Rodríguez, G., Lobo, D., Delgado, E., Trejos, J., Pocasangre, L. & Rosales, F. (2009). Aspectos sobre calidad y salud de suelos bananeros en Venezuela. *Producción Agropecuaria* 2 (1): 25-55.
- Rey, J.C., Chacín, M., Sapuky, M., Núñez, M., Martínez, G., Rodríguez, G., Espinoza, J., Arturo, M., Pocasangre, L., Delgado, E. & Rosales, F. (2006). Aptitud de las tierras para banano en suelos de Venezuela y su relación con la productividad. In *Memorias XVII Reunión Internacional ACORBAT: Banano un negocio sustentable*. Joinville, Santa Catarina, Brasil. p. 362.
- Rey, J.C., Rodríguez, M.F., Cortez, A., Lobo, d., Ovalles, F., Gabriels, D. & Parra, R.M. (2012). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. Iv. Región los andes. *Bioagro* 24 (2):115-120.

- Rojas, L. (2001). Calcio y magnesio en suelos acidos tropicales. pp. 13-23. En: Silva, F. (ed.). Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.
- Rosales, F.E., Pocasangre, L.E., Trejos, J., Serrano, E. & Peña, W. (2008). Guía de Diagnóstico de la Calidad y Salud de Suelos. Bioersivity International. Montpellier, Francia. 79 pp.
- Seeley, H.W.Jr., Vandermark, P.J. & Lee, J.J. (1991). Microbes in action. A laboratory manual of microbiology. 4a ed. Cap. V. Editores W. H. Freeman and Company.
- Serrano E. (2003). Relationship between functional root content and banana yield in Costa Rica. En D.W. Turner & F. E. Rosales (Eds.). Banana root system: towards a better unserstanding for its productive management. Presentado en el International Symposium, San Jose, Costa Rica, 3-5 November 2003.
- Speijer, P. R., De Waele, D., & Fogain, R. (1997). *Screening of Musa germplasm for resistance and tolerance to nematodes*: Montpellier: INIBAP.
- Turner D. W., Fortescue J. A., & Thomas D. S. (2007). Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(4): 463–484.
- Turner, D.W. & J.H. Bull. (1970). Some fertilizer problems with bananas. *Agr. Gaz. NSW* 81, 365-367.
- Turner, WD. (1994). Bananas and plantains. *In*: Schaffer, B, Andersen, PC. eds. Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume II: Sub-tropical and tropical crops. CRC Press Inc. Fla, USA. p. 37-64.
- Twyford, T. & Walmsley, D. (1973). The mineral composition of the Robusta Banana Plant I. Methods and plant growth studies. *Plant and Soil* 39: 227-243.
- USDA. (1995). Soil survey laboratory methods manual. USA, USDA.
- Weaver, F., Angle, J. & Bottomley, P. (1994). Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. Number 5. Soil Science Society of American Book Series. USA. 1121 p.