



Universidad Agraria de La Habana
"Fructuoso Rodríguez Pérez"



Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas

Manejo integrado de los inoculantes micorrízicos arbusculares, el
abono verde y fuentes orgánico-minerales en la nutrición del banano
'FHIA-18' (AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado

Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Jaime Enrique Simó González

San José de las Lajas, Mayabeque
2016



Universidad Agraria de La Habana
"Fructuoso Rodríguez Pérez"



Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas

Manejo integrado de los inoculantes micorrízicos arbusculares, el abono verde y fuentes orgánico-minerales en la nutrición del banano 'FHIA-18' (AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado

Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas

Autor: Ing. Jaime Enrique Simó González, MSc.

Tutores: Lic. Ramón Rivera Espinosa, Dr C.
Ing. Luis Alberto Ruiz Martínez, Dr C.

San José de las Lajas, Mayabeque
2016

Citación correcta Norma ISO 690

Según Sistema de Referencia Numérico

1. Simó-González, J.E. Manejo integrado de los inoculantes micorrízicos arbusculares, el abono verde y fuentes orgánico-minerales en la nutrición del banano 'FHIA-18' (AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado. San José de las Lajas, Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2016. 100 h.

Según Sistema de Referencia Apellido, año

Simó-González, J.E. 2016. Manejo integrado de los inoculantes micorrízicos arbusculares, el abono verde y fuentes orgánico-minerales en la nutrición del banano 'FHIA-18' (AAAB) en suelo Pardo mullido carbonatado. San José de las Lajas, Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.100 h.

SÍNTESIS

SÍNTESIS

Con el objetivo de establecer las bases para el manejo integrado de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), vía inoculación de cepas eficientes, de los abonos verdes y cantidades complementarias de abonos orgánicos y cenizas, en plantaciones de banano 'FHIA-18', con empleo de cantidades menores de insumos externos y buscando una factibilidad económica superior, se realizaron experimentos en la “Biofábrica” de la Unión Agropecuaria Militar (UAM) y en las áreas agrícolas del Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Cuba, en suelo Pardo mullido carbonatado. La inoculación micorrízica de la cepa *R. intraradices* (INCAM-11) beneficia la aclimatación de las plantas de banano, en sustratos conformados con este suelo y su efectividad depende de la relación suelo:abono orgánico. La canavalia inoculada incrementa el crecimiento y la producción de esporas micorrízicas en la rizosfera, lo cual mejora su calidad como abono verde en el agroecosistema. El manejo integrado propuesto garantiza a través de un funcionamiento micorrízico óptimo, un estado nutricional satisfactorio, rendimientos altos e índices económicos superiores, prescindiendo de la fertilización mineral. Se garantiza un funcionamiento micorrízico efectivo y sus beneficios durante los tres ciclos estudiados. Los análisis foliares y de suelo se integran satisfactoriamente en el manejo de los esquemas de suministro de nutrimentos en las plantaciones de banano. El K resultó el elemento potencialmente limitante.

LISTA DE SIGLAS

LISTA DE SIGLAS

Siglas	Significado
ACP	Análisis de Componentes Principales
FD	Factorial Discriminante
AF	Área foliar
AO	Abono orgánico
AV	Abono verde
AV/CC	Abono verde/cultivo de cobertura
AVP	Canavalia precedente
AVPHMA	Canavalia precedente inoculada
B:C	Relación beneficio:costo
BHMA(t)	Banano inoculado en trasplante
C	Compost
cv.	Cultivar
Co	Cormo
dll	Días con lluvia
ddp	Días después de la plantación
dds	Días después de la siembra
ddt	Días después del trasplante
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
FBN	Fijación biológica del nitrógeno
FOM	Fertilización orgánico-mineral
FT	Frijoles terciopelos
H	Humus de lombriz
HMA	Hongo micorrízico arbuscular
IE	Índice de eficiencia
L	Limbo
MF	Masa fresca
MO	Materia orgánica
MS	Masa seca
Nv	Nervadura
Pn	Pámpana
Pc	Pecíolo
PM	Planta madre
R	Raquis
RR	Rendimiento relativo (%)
S	Suelo
S:AO	Relación suelo:abono orgánico
St	Seudotallo
v:v	Relación volumen a volumen
V-1	Vástago-1
V-2	Vástago-2
TV	Tallo verdadero

ÍNDICE

ÍNDICE	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. El cultivo del banano. Importancia.....	5
2.1.1. Requerimientos nutricionales del cultivo del banano.....	6
2.1.2. Programas de fertilización para los bananos en Cuba.....	7
2.1.3. Diagnóstico de la fertilidad del suelo y la nutrición mineral en el cultivo del banano.....	9
2.1.4. Importancia de la nutrición alternativa en el banano.....	13
2.2. Hongos micorrízicos arbusculares. Generalidades.....	16
2.2.1. Papel de los HMA en la nutrición vegetal.....	17
2.2.2. Factores que influyen en el funcionamiento de los HMA en campo.....	18
2.2.3. Aplicación de inoculantes micorrízicos en los agroecosistemas.....	20
2.2.4. Inoculación con HMA en el cultivo del banano.....	22
2.3. Abonos verdes. Generalidades e importancia.....	23
2.3.1. Principales características de los abonos verdes.....	25
2.3.2. Influencia de los abonos verdes sobre algunas propiedades del suelo.....	25
2.3.3. Principales características de <i>Canavalia ensiformis</i> L. De Candolle.....	26
2.3.4. Empleo del abono verde en plantaciones de banano.....	27
2.3.5. Importancia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes.....	29

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Experimento 1. Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares y de relaciones suelo:abono orgánico para la aclimatación de plantas de banano obtenidas <i>in vitro</i> en suelo Pardo mullido carbonatado.....	32
3.2. Experimento 2. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, la canavalia y el suministro de nutrimentos en plantaciones de banano.....	34
3.3. Experimento 3. Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante a campo del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada.....	40
3.4. Metodologías utilizadas en las diferentes determinaciones y evaluaciones.....	41
3.5. Análisis estadístico.....	43
3.6. Análisis económico.....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1. Experimento 1. Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares y de relaciones suelo:abono orgánico para la aclimatación de plantas de banano obtenidas <i>in vitro</i> en suelo Pardo mullido carbonatado.....	46
4.1.1. Selección de la cepa de HMA más eficiente.....	46
4.1.2. Influencia de los tipos de abono orgánico y relaciones suelo:abono orgánico en la efectividad de la inoculación con la cepa eficiente de HMA.....	49
4.2. Experimento 2. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, la canavalia y el suministro de nutrimentos en plantaciones de banano.....	59
4.2.1. Efecto de la inoculación con una cepa eficiente de HMA en las dosis de fertilizantes minerales y orgánico-minerales del banano.....	59

4.2.2. Efecto del manejo integrado de inoculantes micorrízicos, abonos verdes y orgánico-minerales en plantaciones de banano.....	70
4.2.3. Extracciones y exportaciones de nutrientes por el banano.....	82
4.3. Experimento 3. Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante a campo del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada.....	89
4.4. Factibilidad económica de los resultados obtenidos en la producción de banano..	92
4.5. Consideraciones generales.....	94
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1. Conclusiones.....	99
5.2. Recomendaciones.....	100
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	
VII. ANEXOS.....	

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

El banano y el plátano (*Musa* spp) son una fuente importante de alimentos para gran parte de la población mundial, localizada principalmente en países tropicales. La producción anual de banano en el año 2013 fue 107,4 MM t, con un rendimiento promedio de 21 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2016).

En Cuba, el banano y el plátano se cultivan en aproximadamente 120 000 ha año⁻¹. A nivel nacional, en los últimos cinco años (2010-2014) se produjeron 3,9 millones t, sin embargo, sólo el 26,5 % de la producción correspondió al banano, con rendimientos bajos que no superaron las 11 t ha⁻¹ (ONEI, 2015).

En la actualidad, no han sido posible satisfacer en el banano las altas necesidades nutricionales anuales recomendadas por el Instructivo Técnico del Plátano vigente (MINAG, 2011a), de fertilizantes minerales (420 y 1 000 kg ha⁻¹ de N y K₂O, respectivamente) por su costo elevado, ni las de orgánico-minerales (28 t ha⁻¹ de abono orgánico y 14 t ha⁻¹ de ceniza) por la escasa disponibilidad de estas fuentes, lo que explica que se fertiliza solo el 22 % de las áreas¹.

Los aspectos señalados demandan incrementar en las áreas de banano la utilización de esquemas de suministro de nutrimentos que optimicen su aprovechamiento, disminuyan la dependencia de los insumos agroquímicos externos, protejan al suelo y garanticen rendimientos altos.

Ante esta problemática y a partir de la reconocida dependencia micorrízica del banano (Declerck y col., 1995), el establecimiento de una simbiosis micorrízica arbuscular efectiva se convierte en una opción para disminuir la utilización de insumos agroquímicos en la agricultura (Rivera y col., 2007; Baar, 2008; Espín y col., 2010; Adriano y col., 2011; Ruiz y col., 2012; González, 2014), a través de sus beneficios, en el aumento de la capacidad de absorción de nutrimentos por las plantas micorrizadas eficientemente.

¹ (Pérez, María del C. 2010. Comunicación personal)

En Cuba, existe un grupo amplio de resultados relacionados con el manejo efectivo de la simbiosis vía aplicación de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) por tipo de suelo (Rivera y col., 2015), a partir de inoculantes micorrízicos que se aplican en cantidades bajas y se integran a las prácticas culturales, garantizando rendimientos altos y la aplicación de cantidades menores de fertilizantes minerales y orgánicos a los cultivos y otros beneficios relacionados con mejoras en propiedades del suelo, disminución del daño de determinadas plagas foliares y radicales además de una mayor tolerancia al déficit hídrico (Rivera y Fernández, 2003; Riera, 2003; Martín, 2009; Pérez, 2010; González, 2014; Ruiz, 2015).

El uso de los abonos verdes (AV) es otra alternativa que puede integrarse satisfactoriamente en los esquemas de suministro de nutrimentos, bien sea por los aportes de N vía fijación biológica (FBN) que realizan las leguminosas en simbiosis con rizobios, o por incrementos del reciclaje y movilización de nutrimentos en el perfil del suelo, todo lo cual conduce tanto a disminuciones en la aplicación de fertilizantes a los cultivos asociados, como a la protección del suelo contra la erosión, el control de las plantas arvenses y mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (García, 1997; Muraoka y col., 2002; Espíndola y col., 2004).

Martín y col. (2012; 2013) informaron resultados sobre la integración de los AV y los inoculantes micorrízicos arbusculares para garantizar tanto el incremento de la biomasa de los primeros y el reciclaje de nutrimentos asociados, como la micorrización efectiva de los cultivos posteriores.

Si bien en el banano los resultados publicados con la aplicación de cepas de HMA se han centrado en la fase de aclimatación de plantas *in vitro* (Jaizme-Vega y col., 2002; Usuga y col., 2008), las condiciones experimentales han sido bien diferentes a las establecidas en Cuba.

En la bibliografía consultada es escasa la información publicada en plantaciones de banano sobre el funcionamiento y manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, a través de la inoculación con

cepas eficientes de HMA, e integrada a los esquemas de suministro de nutrimentos a base de AV y fuentes orgánico-minerales.

A partir de la situación del cultivo se propone el siguiente **problema científico**: ¿Cómo establecer plantaciones de banano 'FHIA-18' con aplicaciones de cantidades menores de fertilizantes orgánico-minerales, que garanticen un estado nutricional satisfactorio y rendimientos altos en suelo Pardo mullido carbonatado?

La **hipótesis** de trabajo seguida fue: "La inoculación con cepas eficientes de HMA, los abonos verdes y aplicación de cantidades bajas de abonos orgánico-minerales garantizan funcionamiento micorrízico óptimo, estado nutricional satisfactorio y rendimientos altos en las plantaciones de banano 'FHIA-18', con sustitución total de la fertilización mineral".

Basado en la hipótesis de trabajo, se propone como **objetivo general**: Establecer las bases para el manejo integrado de los HMA, vía inoculación de cepas eficientes, de los abonos verdes y cantidades complementarias de abonos orgánicos y cenizas que garanticen plantaciones de banano 'FHIA-18' con funcionamiento micorrízico efectivo, estado nutricional óptimo y rendimientos altos con una factibilidad económica superior.

Como **objetivos específicos** se proponen:

1. Recomendar cepas eficientes de HMA y las relaciones suelo:abono orgánico asociadas para una micorrización eficiente en la aclimatación de plantas de banano obtenidas *in vitro* en suelo Pardo mullido carbonatado.
2. Evaluar la respuesta de la canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) De Condelle], como abono verde precedente e intercalado, a la inoculación con cepas eficientes de HMA y su integración en el esquema de manejo de los inoculantes micorrízicos y de suministro de nutrimentos para el banano plantado en suelo Pardo mullido carbonatado.

3. Caracterizar el funcionamiento micorrízico en el agroecosistema bananero inoculado con cepas eficientes y su relación con el comportamiento agroproductivo, estado nutricional del banano y disponibilidad de nutrimentos en el suelo Pardo mullido carbonatado.

4. Integrar el manejo de cepas eficientes de HMA, el uso de canavalia inoculada, así como de dosis complementarias de fertilizantes orgánico-minerales en plantaciones de banano, que garanticen un funcionamiento micorrízico efectivo e indicadores productivos y económicos favorables en suelo Pardo mullido carbonatado.

Novedad científica: Se establecen las bases científico-técnicas para un manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular, vía inoculación, en la tecnología del cultivo del banano, desde la etapa de aclimatación de las plantas. Se destaca la confección y establecimiento del esquema integrado de suministro de nutrimentos para el cultivo, potenciando el funcionamiento micorrízico a través del uso del abono verde inoculado como vía para micorrizar el banano y reciclar nutrimentos y la aplicación de cantidades menores de abonos orgánico-minerales, evaluado a través del rendimiento y estado nutricional del banano, análisis de suelo y el balance parcial en el agroecosistema en base a aportes y exportaciones.

Aporte práctico: Se mejora la eficiencia en la aclimatación de las plantas obtenidas *in vitro* de banano, al producir plantas más vigorosas y con el 50 % de las cantidades de abono orgánico recomendadas; en la etapa de plantación se disminuye en 66 % las dosis recomendadas de fertilizante orgánico-minerales para el cultivo en suelo Pardo mullido carbonatado y se garantizan estado nutricional adecuado, rendimientos altos e indicadores económicos superiores durante los tres ciclos de cosecha. Se establecen criterios de análisis de suelo que permiten indicar si el esquema de suministro de nutrimentos es suficiente para el banano.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El cultivo del banano. Importancia

El banano se produce en todos los continentes en una franja de latitud comprendida entre los 30° N y 30° S del Ecuador (Robinson y Galán, 2012). En el mundo, en el año 2013 la producción de banano se estimó en 107,4 MM t. Asia, con un 56,1 %, seguido por América, son los principales continentes productores de banano, luego África, Oceanía y finalmente Europa. Sin embargo, las mayores exportaciones mundiales del cultivo (63,9 %) corresponden a países latinoamericanos. El principal destino de la exportación lo constituyen los mercados de la Unión Europea (UE) y norteamericanos (Estados Unidos de América y Canadá), otros mercados importantes son Japón y la Federación de Rusia (FAOSTAT, 2016). Por esta razón, el 18,8 % de la producción mundial de banano se destina al comercio (FAOSTAT, 2016), hecho que lo convierte junto con las manzanas (*Pyrus malus* L.), uvas (*Vitis vinifera* L.) y cítricos (*Citrus* spp), en el conjunto más importante de productos frutícolas comercializados internacionalmente (Gómez y col., 2011).

El banano es un alimento muy digestivo, es importante señalar su valor nutricional rico en tiamina (vitamina B₁), riboflavina (vitamina B₂) y ácido ascórbico (vitamina C), además de carbohidratos. Contiene cantidades altas de K, moderadas de Ca y P y poca grasa. El consumo de banano actúa eficazmente en: el control de enfermedades del estómago e intestinales y cardiovasculares, el aumento de la capacidad de resistencia si se consume después de realizar ejercicios, entre otras (Orellana y col., 2008).

En Cuba, el banano constituye un reglón de prioridad dentro del programa de producción nacional de alimentos, debido a su capacidad de producir durante todos los meses del año, su potencial productivo elevado, arraigado hábito de su consumo en la población y diversidad

de usos. El banano y plátano representan el 40 % en la estructura de producción total de las "viandas", que incluye además raíces y tubérculos (MINAG, 2012).

2.1.1. Requerimientos nutricionales del cultivo del banano

El requerimiento por el cultivo del banano de los principales elementos minerales, trae como consecuencia la necesidad de que se le suministre una abundante fertilización, más completa particularmente en K cuando no está en suelos muy fértiles (Fontaine y col., 1989; Mostafa, 2005; Turner y col., 2007; Castillo y col., 2011; Robinson y Galán, 2012).

Es significativo que las áreas de mayor extensión del cultivo del banano se encuentren en suelos ricos en bases (Álvarez, 2011). Por tal razón la aplicación de nutrimentos con el objetivo de obtener los máximos rendimientos debe considerar la densidad de población en las unidades de producción y por último existir un balance de nutrimentos en el suelo (López y Espinosa, 1995; Robinson y Galán, 2012). Según Soto (2008), la nutrición del banano está determinada por varios factores: el aprovechamiento que se planifica de la cosecha en un momento dado, el cultivar y su potencialidad productiva.

Las investigaciones realizadas en Cuba por Guijarro (1983) con el 'Cavendish Gigante' en suelos Ferralíticos Rojos demostraron que una producción de 39 t ha⁻¹ de bananos extraen: 79,98; 10,16; 207,51; 45,08 y 29,73 g por planta de N, P, K, Ca y Mg respectivamente, exportándose con la cosecha el 41 % del K; 35 % del N; 32 % del P; 9 % del Ca y el 13 % del Mg, para plantaciones con 2052 plantas por hectárea. Por lo tanto, los valores de extracción y exportación explican en alto grado el carácter prioritario de la nutrición potásica y nitrogenada del cultivo, algo que también reportaron Martin-Prevel (1980); Fontaine y col. (1989); López y Espinosa (1995); Mostafa (2005); Turner y col. (2007); Castillo y col. (2011); Robinson y Galán, (2012).

2.1.2. Programas de fertilización para los bananos en Cuba

Según Álvarez (2011), la obtención de rendimientos elevados y estables de banano depende en gran medida de los niveles de fertilización; sin embargo, la nutrición de las plantas y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo comprenden un complejo proceso que involucra múltiples factores a tener en cuenta para lograr resultados positivos en la fertilización

Según Guijarro (1983), las aplicaciones de N cuando la plantación lo requiere se traducen, generalmente, a favor del crecimiento vegetativo, al aumentar la altura, el perímetro del pseudotallo y el área foliar, así como la velocidad de emisión de las hojas. Sus efectos sobre el rendimiento se ponen de manifiesto al incrementar el número de manos y el peso de los racimos (Champion, 1966; Simmonds, 1973; Robinson, 1996; Robinson y Galán, 2012).

En las condiciones de Cuba, las dosis establecidas para la fertilización nitrogenada están basadas en los aspectos siguientes: elevadas exigencias de N del cultivo, alta respuesta a la fertilización nitrogenada, bajos niveles de materia orgánica de los suelos, lo que implica un régimen nutricional deficiente de N, altas densidades de población utilizadas, que incluyen además la corona de hijos que se debe mantener hasta que se defina el vástago sucesor, altas pérdidas a que está expuesto el N en el suelo y la necesidad de nutrir en el año a todas las generaciones presentes: madre-hijo-nieto (MINAG, 2004^a; 2009; 2011^a).

Las investigaciones realizadas en suelos Ferralíticos Rojos con relación a la fertilización nitrogenada en Cuba (Guijarro, 1983; García y col., 1998) evidencian que los máximos rendimientos están asociados a dosis entre 150 y 300 g por planta de N, sin que se encuentren respuestas positivas a dosis mayores; estos resultados están dentro de los rangos más utilizados para la fertilización nitrogenada en la mayoría de los países productores.

El P es uno de los elementos más importantes, ya que afecta significativamente el crecimiento

y el metabolismo de la planta (Raghothama, 1999). Si bien el fósforo es, de los macronutrientes, el menos disponible en el suelo para la generalidad de los cultivos particularmente en regiones tropicales, donde la química del suelo difiere de suelos de climas templados (Robinson, 1996; Wiedenhoeft, 2006), y su concentración en la planta está por debajo del resto de los macronutrientes, las plantas de banano resulta menos exigente.

Las plantas de banano acumulan el P que requieren por un largo periodo. Normalmente absorben más P del requerido en el ciclo de cultivo, entre los tres y nueve meses después de la plantación; durante la fase reproductiva la absorción decrece cerca del 80 % (Robinson, 1996; Álvarez, 2011; Robinson y Galán, 2012). Otro de los factores a considerar en la relativa baja respuesta del cultivo, es la translocación del P tanto de la planta madre hacia los hijos y viceversa (Walmsley y Twyford, 1968; Teisson, 1970; Lacoeuilhe y Godefroy, 1971), además según Guijarro (1983) con la cosecha solo se exporta el 30 % del P extraído.

Por las razones antes mencionadas, en el caso de los bananos, la importancia del P ha sido siempre reconocida como baja, a tal extremo que su deficiencia en condiciones de campo se considera como un caso excepcional en el ámbito nacional e internacional (Guijarro, 1983; Hoffman y col., 2010; Castillo y col., 2011; Robinson y Galán, 2012).

En Cuba, los estudios con relación a la fertilización fosfórica en el cultivo resultan aún muy escasos; y los existentes evidenciaron la falta de respuesta a la fertilización con este elemento (Guijarro, 1983; García y col., 1998). Por lo tanto, las dosis de P que se emplean en el cultivo del banano, generalmente son bajas (52 kg ha^{-1} de P_2O_5) y además se aplican solo en la planta madre, garantizando los requerimientos para los tres o cuatro ciclos de la plantación (MINAG, 2004a; 2009; 2011a).

El K es el elemento de mayor importancia para el banano, por ejercer una gran influencia

sobre el vigor y peso del racimo (tamaño, número de manos, longitud y diámetro de los dedos). La gran actividad fisiológica del K es consecuencia de su alta movilidad que le confiere el papel de activador general del metabolismo de las plantas (Epstein y Bloom, 2005; Wiendehoeft, 2006).

En Cuba, los criterios establecidos en el Instructivo Técnico del Cultivo de Plátano (MINAG, 2004a; 2009; 2011a) para la fertilización potásica se basaron en los aspectos siguientes: exigencias altas de K del cultivo, contenidos bajos de K^+ intercambiable y de reservas de los suelos, contenidos altos de Ca^{+2} y Mg^{+2} intercambiables en la solución del suelo que bloquean la entrada del K a la planta; las dosis de K se determinaron por el contenido inicial del suelo (K^+ intercambiable) y por las relaciones catiónicas existentes $K / K + Ca + Mg$ (García y col., 1979; Guijarro, 1983; García y col., 1998; MINAG, 2004a; 2009; 2011a).

Con relación a lo anterior, es de destacar la sensibilidad de K al desequilibrio catiónico (Lahav y Turner, 1992). Sobre todo, son particularmente importantes, las relaciones K:Mg y $K/K+Ca+Mg$ (Lahav, 1978; Robinson y Galán, 2012); se pueden observar síntomas de deficiencias de K cuando las cantidades de Mg^{+2} o Ca^{+2} intercambiables en el suelo son elevadas con relación al K. Por lo tanto, debe alcanzarse un balance catiónico adecuado mediante una aportación equilibrada de Mg, Ca y K (Martin-Prevel, 1980; Guijarro, 1983; López y Espinosa, 1995; García y col., 1998; Robinson y Galán, 2012).

2.1.3. Diagnóstico de la fertilidad del suelo y la nutrición mineral en el cultivo del banano

Según Sumner (2000), los análisis de suelos y plantas son métodos complementarios y se usan como guías para determinar cuál o cuáles de los factores más limitantes para el crecimiento del cultivo.

Según López y Espinosa (1995), en todo el mundo, los análisis de suelos y los análisis foliares se utilizan como herramientas muy útiles para manejar la nutrición y la fertilización del banano y obtener rendimientos altos, sostenidos y económicamente rentables de frutas.

Análisis de suelo e interpretación

Según Guijarro (1983), el empleo del análisis químico de suelo como método de control de la fertilización mineral ha sido ampliamente utilizado, destacándose de otras técnicas por su rapidez, masividad y economía.

Según Salisbury y Christensen (2001), el análisis de suelo convencional mide la cantidad de nutrimentos disponibles al momento del muestreo, pero no tiene en cuenta los factores que podrían afectar subsecuentemente la disponibilidad de esos nutrimentos.

Según Sumner (2000), los nutrimentos en el suelo se hallan en distintas formas que varían en nivel de disponibilidad. Por ejemplo, muchos nutrimentos se encuentran en la solución del suelo (inmediatamente disponibles pero en pequeñas cantidades), en forma intercambiable (rápidamente disponible en grandes cantidades), o dentro de la estructura cristalina de las arcillas (lenta a muy lentamente disponible en grandes cantidades).

Según Guijarro (1983); López y Espinosa (1995) y Sumner (2000), existe una amplia gama de soluciones extractivas disponibles para extraer los nutrimentos del suelo. Las soluciones extractivas más comúnmente utilizadas según Guijarro (1983); López y Espinosa (1995); García y col. (1979); Robinson y Galán (2012) son entre otras: Olsen (NaHCO_3 0,5 M y pH 8,5) y Bray-Kurtz 1 (0,025 M HCl + 0,03 M NH_4F) para el P; NH_4Ac 1 M y pH 7 para el K, Ca y Mg. En Cuba para el fósforo y el potasio, además se utilizan Oniani (0,05 mol L^{-1} de H_2SO_4) para los suelos no carbonáticos y Machiguin con la solución extractiva de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ con concentración de 10 g L^{-1} , pH 9,0) para los suelos carbonáticos.

Por lo tanto, diferentes soluciones extractivas extraen diferente cantidad de nutrimentos y esto generalmente confunde en el momento de la interpretación. Lo más importante es que se seleccione el procedimiento apropiado para cada tipo de suelo y que se logren correlacionar los resultados con el rendimiento del cultivo. Según Sumner (2000), las mejores y más apropiadas calibraciones son las que se obtienen a partir de ensayos en campo. Las recomendaciones de fertilización se basan en los resultados de las investigaciones complementarias de campo conducidas para calibrar los rangos de nutrimentos (bajo, óptimo o alto), con cada una de las soluciones extractivas. Con este tipo de investigación se construyen los cuadros de guía de interpretación de los análisis de suelos (Bertsch, 1986).

Por consiguiente, las guías de interpretación confeccionadas deben usarse cuando para el análisis de las muestras de suelos, de un área en particular, se han utilizado idénticas soluciones extractivas. Además, al interpretar los resultados de los análisis de suelos es importante no solo tomar en cuenta los contenidos absolutos de los elementos, sino que también es necesario observar las relaciones de equilibrio entre ellos a nivel de suelo-raíz (Martin-Prevel, 1980; Stover y Simmonds, 1987; Lahav y Turnes, 1992; López y Espinosa, 1995; García y col., 1998; Robinson y Galán, 2012).

López y Espinosa (1995) recomendaron en plantaciones de banano analizar el suelo una vez al año. Esto permite conocer el nivel de los nutrimentos del suelo y además dar seguimiento a su estado de fertilidad a través de los años, para determinar si el contenido de nutrimentos se reduce, se mantiene o se incrementa (INPOFOS, 1993).

Según Guijarro (1983); López y Espinosa (1995) el muestreo convencional para el análisis químico de suelos, en plantaciones de banano, se realiza en la zona de fertilización de la planta, en el ciclo planta madre de forma circular y frente a los hijos seguidores o vástagos

en forma de media luna, la muestra se toma a 0,30 m de la planta.

Los estudios más conocidos, que finalmente permitieron determinar el nivel crítico externo de los diferentes nutrimentos lo desarrolló CORBANA en Costa Rica, durante los años 80 y principios de los 90 (Arias, 1984; Hernández, 1985; López, 1999). Las investigaciones determinaron los niveles críticos y permitieron obtener las dosis de los diferentes nutrimentos requeridos para niveles de fertilidad de suelo, a partir de estos resultados se ajustaron los niveles en todos los países productores de banano en América Latina (López y Espinosa, 1995).

En Cuba, García y col. (1998) determinaron en el cultivo del banano en los suelos Ferralíticos Rojos para el K^+ intercambiable extraído con NH_4Ac 1 M y pH 7 y expresado en $cmol_c\ kg^{-1}$, los niveles siguientes: muy deficiente ($< 0,5$); deficiente (0,5-1,0); medio (1,0-1,5) y satisfactorio ($>1,5$).

Análisis de planta e interpretación

Según Sumner (2000), el análisis de planta incluye a todo análisis químico que se realiza tanto en campo (análisis rápido de tejido) como en laboratorio (análisis de planta) para evaluar, en función de un contenido óptimo de nutrimentos esenciales, si un cultivo es deficiente en varios o un elemento en particular.

Según Barbazán (1998), en un sentido más acotado, el análisis de planta, con fines de evaluar su estado nutricional, es la determinación de la concentración de un elemento o su fracción en una muestra proveniente de una parte definida de tejido vegetal, tomada en determinada etapa del desarrollo fisiológico.

En este caso, el análisis de planta se basa en que la concentración de un nutrimento dado en la planta y generalmente en un tejido indicador representativo de la etapa fenológica del

cultivo (o en una parte de la planta), es un valor que integra todos los factores que han afectado su crecimiento, de los cuales el suelo, las condiciones climáticas, el tiempo, la propia planta, el manejo agronómico y fundamentalmente la disponibilidad de ese nutrimento en el suelo son los principales.

El análisis de planta es, comúnmente denominado análisis foliar, si bien no necesariamente en todos los casos se analizan folíolos, aunque si en el caso del banano (Guijarro, 1983). Según Domingo (1990), el análisis foliar, como una técnica más para mejorar la fertilización y la producción de los cultivos, es un medio que adquiere cada vez más importancia, dadas las mejores técnicas utilizadas y el mayor grado de experiencia y profesionalidad existente en el sector agrícola.

Según Rodríguez (1990) el conocimiento de la composición mineral de la planta tiene diferentes y variadas aplicaciones, entre ellas se destacan: las de diagnóstico; las de control de cultivos; las de predicción de los requerimientos de fertilizantes y la salud animal.

Se han realizado muchos experimentos en el cultivo del banano para establecer los niveles críticos internos de cada nutrimento. Lahav y Turner (1992) presentaron una condensación de los resultados de investigación de los niveles críticos foliares (lámina media de la tercera hoja analizada en floración) en banano asociados con rendimientos satisfactorios, con los valores siguientes: N ($26,0 \text{ g kg}^{-1}$), P ($2,0 \text{ g kg}^{-1}$), K ($30,0 \text{ g kg}^{-1}$), Ca ($5,0 \text{ g kg}^{-1}$) y Mg ($3,0 \text{ g kg}^{-1}$). De igual modo, en Cuba, Guijarro (1983) informó similares niveles críticos internos.

2.1.4. Importancia de la nutrición alternativa en el banano

Atendiendo a las peculiaridades descritas, resulta obvio que las necesidades no deben ser cubiertas a expensas de aplicaciones unilaterales de fertilizantes minerales, que mal manejados pueden provocar una aceleración del proceso de acidificación y pérdida de la

materia orgánica y bases; motivos que conforman las razones que de conjunto con el alto precio de los fertilizantes minerales hacen del empleo de fuentes alternativas locales de fertilizantes una de las temáticas de importancia para Cuba en el cultivo del banano (García y col., 1998).

Por otra parte, en los últimos años se potencia el uso combinado de fuentes orgánicas y cantidades complementarias de fertilizantes minerales con los objetivos no solo de garantizar rendimientos adecuados e incrementar la eficiencia en la toma de los nutrimentos, sino también conservar la materia orgánica en el suelo (Vanlauwe y col., 2010; Lambrecht y col., 2015).

Históricamente el empleo de fuentes alternativas para la nutrición de bananos y plátanos constituye una práctica muy antigua en África y Asia, donde el uso de estiércol (bovino y ovino), abono verde, mulch y residuos caseros han figurado entre las opciones más generalizadas según Champion y col. (1958); Simmonds (1973); Swennen (1990); Bananuka y Rubalhayo (1994); Rishirumuhirwa (1997). De acuerdo a Lahav y Turner (1992), el uso de abonos orgánicos es una práctica muy utilizada en Israel, debido al efecto positivo sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

La utilidad de alternativas orgánicas en la nutrición y fertilización del banano ha sido además comprobada por varios autores. En esta dirección, Lahav (1978) reportó efectos positivos en el rendimiento con el empleo de 30 t ha⁻¹ de compost. Resultados similares obtuvo García y col. (1998) en plantaciones de 'Gran Enano' con el empleo combinado de 20 t ha⁻¹ de gallinaza y 10 t ha⁻¹ de ceniza. Sin embargo Romero (1998) no encontró diferencias en los rendimientos en dos ciclos de cosecha del 'FHIA-01' al aplicar 4 kg por planta de compost cada cuatro meses y una dosis de 200, 75 y 750 g por planta de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

También en Cuba se diseñó un programa de fuentes de nutrición alternas a los fertilizantes minerales. La propuesta de suministro de nutrimentos redujo en un 75 % el uso de los fertilizantes minerales y en su lugar se recomendó la aplicación de vinaza, cachaza, gallinaza, compost, humus de lombriz, entre otros, para la producción de bananos y plátanos (García y col., 1998).

El compost es el abono orgánico que se obtiene al someter a la descomposición microbiana residuos de origen vegetal o animal o ambos juntos (Paneque y Calaña, 2001). Según Collings (1958); Pequeño (1966) y Fundora y col. (1983) los valores medios que lo caracterizan (en base seca) son: 390,0; 14,3; 7,4 y 15,2 g kg⁻¹ de MO, N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Las características químicas, físicas y biológicas del compost dependen de la naturaleza de los residuos que se utilicen en su obtención o preparación y del proceso tecnológico empleado (Paneque y Calaña, 2001; Cerrato y col., 2007; Castro y col., 2009).

El humus de lombriz es el resultado de la transformación de sustancias orgánicas del suelo por las lombrices de tierra al pasar este material por su intestino, mezclándose con elementos minerales, microorganismos y fermentos que provocan la transformación bioquímica de dicho material. El producto de estas deyecciones queda así enriquecido y predigerido, con lo que se acelera la mineralización de las sustancias orgánicas que la componen (Labrador y col., 1994; Funes, 2000). Las características químicas del humus de lombriz están muy relacionadas con la alimentación que se proporcione a las lombrices (Paneque y Calaña, 2001).

El contenido alto de ácidos fúlvicos del humus de lombriz favorece la asimilación casi inmediata de los nutrimentos minerales por las plantas. La aplicación de este abono orgánico mejora propiedades del suelo tales como: la aireación, permeabilidad, retención de humedad

y disminuye su compactación; los agregados del humus de lombriz son resistentes a la erosión hídrica (Peña y col., 2002).

La ceniza disponible para la agricultura en Cuba proviene de los hornos de las fábricas de azúcar donde se obtiene de la combustión del bagazo y la paja de caña de azúcar, utilizados como combustible o de la paja de caña de azúcar de los centros de acopio y estaciones de limpieza. Durante la combustión del bagazo y de la paja de la caña se pierde C y N, con lo cual desaparece el carácter orgánico de los materiales (Arzola y col., 1998).

Según Cuéllar (2003) una zafra con una producción de 40 millones de toneladas de caña de azúcar origina alrededor de 300 mil t de ceniza, con las que se puede fertilizar 40 mil ha a dosis de 30 t ha⁻¹, con cuatro años de efecto residual.

En la bibliografía consultada existen resultados sobre los beneficios del empleo de la ceniza aplicada a suelos agrícolas o forestales, fundamentalmente relacionados con mejoras en las propiedades físicas del suelo como aireación y drenaje y al aporte de nutrimentos, e incrementos en los contenidos de potasio cambiante del suelo (Etiégni y Campbell, 1991; Someshwar, 1996; Vance, 1996; Arzola y col., 1998) y los rendimientos en cultivos como caña de azúcar y bananos (Arzola y col., 1998; García y col., 1998; Armario y col., 2012).

2.2. Hongos micorrízicos arbusculares. Generalidades

Uno de los elementos valiosos que puede utilizar la agricultura ecológica, lo constituye el uso de los biofertilizantes, los cuales en los sistemas productivos, representan una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible (Terry, 2004).

Los biofertilizantes están constituidos por microorganismos vivos; los cuales, cuando se aplican a semillas, superficies de plantas o suelos, colonizan la rizosfera o el interior de la

planta y promueven el crecimiento, al incrementar el suministro o la disponibilidad de nutrientes primarios a la planta huésped, no contaminan los productos vegetales, ni el suelo; por el contrario, son regeneradores de éste, además, inducen el desarrollo de mecanismos de defensa de las plantas y generan ambientes adversos a patógenos (Vessey, 2003).

Las micorrizas son tan antiguas como las propias plantas; se estima que aproximadamente el 95 % de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo (Strullu y Strullu, 2007; Miransari y col., 2009).

Los HMA son biótrosos obligados, aún cuando aparentemente son hongos muy comunes. De acuerdo con Sieverding (1991), Mosse, en Inglaterra en 1953 y Gerdemann, en los Estados Unidos de Norteamérica en 1955, fueron quienes establecieron la manera de reproducirlos en plantas cultivadas en maceta.

Los HMA favorecen el desarrollo de la agricultura sostenible; su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como producto biológico son quizás motivos para considerarlos como componentes importantes de la diversidad biológica del suelo (Guerra y col., 2008) y de hecho son responsables de la supervivencia de la mayoría de las plantas en los agroecosistemas terrestres (Rivera y col., 2014).

2.2.1. Papel de los HMA en la nutrición vegetal

Diversos estudios demostraron los efectos benéficos de la asociación simbiótica entre los HMA y las plantas (Kapoor y col., 2008; Siddiqui y Akhtar, 2008; Smith y Read, 2008; Harris y col., 2009), tales como: incremento en la superficie de absorción de agua y nutrientes, extensión de la vida útil de las raíces absorbentes, mejoramiento de la absorción iónica, aumento de la capacidad fotosintética de las plantas, por ende, mayor producción de biomasa, resistencia de las raíces a infecciones causadas por patógenos, incremento de la tolerancia de

las plantas a toxinas del suelo (orgánicas e inorgánicas) y a valores extremos de acidez del suelo y disminución del estrés causado por factores ambientales.

Desde el punto de vista nutricional, el mayor beneficio que las plantas reciben de los HMA es un mayor crecimiento debido a un aumento de la capacidad de absorción de nutrientes y agua por las plantas micorrizadas eficientemente (Rivera y col., 2007; Camargo-Ricalde y col., 2012; Ruiz y col., 2012).

Numerosas investigaciones confirmaron el efecto de la simbiosis micorrízica arbuscular sobre la nutrición fosfórica (Javot y col., 2007; Smith y Smith, 2011). Asimismo, varios autores (Allen y Shachar-Hill, 2009; Leigh y col., 2009; Tian y col., 2010) demostraron que los HMA influyen en forma directa o indirecta en la absorción de la mayoría de los elementos minerales.

Los estudios de Fernández (2013) demostraron la funcionalidad de la simbiosis micorrízica arbuscular en la adquisición y translocación de K a las plantas en un sistema autotrófico de cultivo totalmente *in vitro* de *Medicago truncatula* Gaertn inoculado con esporas de *Glomus clarum* y *G. intraradices*, a través del transporte de ^{86}Rb por parte de las hifas extrarradicales de estas cepas de HMA hasta el sistema aéreo de las plantas.

La respuesta de la planta a la micorriza depende del nivel de fertilidad del suelo, de la planta hospedera y del HMA (Sieverding, 1991). Se estima que la asociación entre el hospedante y los HMA consume entre 5 y 10 % de los productos de la fotosíntesis, costo que será compensado si la planta se encuentra en condiciones subóptimas de suministro de nutrientes (Siqueira y Franco, 1988).

2.2.2. Factores que influyen en el funcionamiento de los HMA en campo

La funcionalidad de los microorganismos en los sistemas agrícolas se expresa de acuerdo a

una serie de factores bióticos, tales como la competencia con otros microorganismos (Azcón-Aguilar y Barea, 1992; Garbaye, 1994), la composición biológica del suelo (Garbaye, 1991) y el reconocimiento planta-microorganismo inducido por la liberación de exudados radicales, tales como flavonoides (Vierhelig y Piché, 2002), strigolactona y auxinas (Akiyama y col., 2005), que permiten y estimulan la germinación de esporas y el crecimiento y ramificación de hifas, lo cual puede de alguna manera controlar la preferencia planta-hongo (Horan y Chilvers, 1990).

Los factores abióticos, como las características físicas y químicas del suelo influyen directamente en el tipo de interacción de estos organismos y en la expresión de los efectos benéficos o perjudiciales, determinantes en el desarrollo de las especies vegetales (Siddiqui y Akhtar, 2008; Radjacomare y col., 2010).

Otros factores que pueden afectar positiva o negativamente la estructura y diversidad de comunidades de HMA son las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego, fertilización y labranza (Jansa y col., 2003) y en forma indirecta el microclima y la topografía que afectan a las comunidades de plantas y por tanto afectan a las comunidades de HMA (Kernaghan, 2005). Es de destacar, entre los factores abióticos, el control que ejercen las condiciones del suelo en las comunidades microbianas (Johnson y col., 1992).

Los cambios permanentes en el ambiente edáfico son un reflejo del dinamismo existente y se observa en variables como humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes, debido a condiciones naturales o al efecto de las prácticas culturales para mejorar la productividad de los cultivos; adicionalmente, el suelo puede sufrir procesos de degradación y contaminación con sustancias químicas tóxicas para plantas y microorganismos (Entry y col., 2002).

También Siqueira y Franco (1988) y Göranson y col. (2008) señalaron la importancia del pH

en el funcionamiento de la simbiosis micorrízica y distribución de las cepas HMA en los agroecosistemas. Por otra parte, trabajos recientes de Rivera y col. (2015) han mostrado relaciones altas entre la efectividad de las cepas HMA inoculadas y el pH del suelo e indicaron que el pH parece ser una de las propiedades del suelo fundamentales en el cambio de efectividad de las cepas de HMA con el tipo de suelo.

2.2.3. Aplicación de inoculantes micorrízicos en los agroecosistemas

El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular, a través de la inoculación con cepas eficientes de HMA en la producción agrícola, no es una práctica común internacionalmente (Rivera y col., 2012a; Rivera y col., 2012b; Verbruggen y col., 2012).

En Cuba se dispone tanto de inoculantes micorrízicos que se aplican en dosis bajas, del 6 al 10 % del peso de las semillas (Fernández y col., 2000; Rivera y Fernández, 2006), como de una información experimental amplia para el manejo efectivo de las cepas inoculadas de HMA en diferentes cultivos, ambientes edáficos e integrados a las prácticas culturales (Rivera y col., 2007; González y col., 2008; Martín y col., 2013; González, 2014) y validados a escala productiva en cultivos como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) entre otros (Rivera y col., 2007; Rivera y col., 2012a; Rivera y col., 2012b).

Por otra parte, el sistema de inoculación y el manejo cultural de los HMA constituyen tecnologías ecológicamente racionales y aparecen como prácticas de base biológica promisorias para la producción agraria (Rivera y Fernández, 2003; Aguirre y col., 2009; Barrer, 2009; Ruiz y col., 2010; 2012; González y col., 2011; Pérez y col., 2011; Rivera y col., 2013).

En Cuba, los resultados sobre inoculación con cepas de HMA en papa (*Solanum tuberosum* L.), yuca, boniato (*Ipomoea batata* Lam.), malanga (*Colocasia esculenta* Schott y

Xanthosoma spp) y ñame (*Dioscorea* spp) en suelos Pardo con carbonato y Ferralítico Rojo (Ruiz, 2001); en cafeto (*Coffea arabica* L.) en suelos Ferralítico Rojo lixiviado, Ferralítico Rojo lixiviado y Pardo Gleyzoso (Sánchez, 2001); en maíz (*Zea mays* L.) en suelo Ferralítico Rojo (Martín, 2009) y en pastos del género *Brachiaria* en suelos Ferralítico Rojo y Vertisol Pélico (González, 2014) establecieron regularidades que rigen la simbiosis micorrízica arbuscular y su efectividad tales como: la alta especificidad cepa eficiente de HMA por tipo de suelo y la baja especificidad cepa eficiente de HMA por cultivo.

La cepa de HMA eficiente es aquella con cuya inoculación se logran los mayores efectos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas (generalmente incrementos entre 30 y 40 % en la masa seca o rendimiento) y a su vez presentan los mayores porcentajes de colonización micorrízica, densidad visual y producción de esporas; para una condición edáfica puede haber más de una cepa eficiente (Rivera y col., 2007).

En sentido general, a nivel del agroecosistema existen diferentes factores que determinan la efectividad de la inoculación con una especie eficiente de HMA de un cultivo dependiente de la micorrización y entre ellos se encuentran el suministro o la disponibilidad de nutrimentos (Siqueira y Franco, 1988; Ruíz, 2001; Rivera y Fernández, 2003; Smith y Smith, 2011), la cantidad y tipo de propágulos nativos y la competitividad de la especie eficiente de HMA aplicada (Martín, 2009; González y col., 2011; Vergruggen y col., 2012) e incluso el historial de aplicaciones previas de la especie (Martín y col., 2009), entre algunos de los factores que han sido establecidos.

Un funcionamiento micorrízico óptimo requiere de un suministro adecuado de nutrimentos, cantidades por debajo limitan la micorrización y por encima la inhiben (Rivera y col., 2007; González y col., 2014) y si bien de forma general estas relaciones de efectividad y

disponibilidad de nutrimentos han sido más comúnmente establecidas con fertilizantes minerales (Ruiz, 2001; González, 2014); los trabajos de Fernández (1999) y Rivera y col. (2010), la determinaron con los abonos orgánicos como fuentes de suministro de nutrimentos. En Cuba, existe información científica donde se demuestra la influencia positiva de diferentes inoculantes micorrízicos en especies vegetales de interés económico, así puede citarse la utilización del inóculo comercial EcoMic® en maíz por Martín (2009); en especies del género *Brachiaria* por González y col. (2011); en cafeto (*Coffea arabica* L.) por Sánchez y col. (2011); en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) por Cruz y col. (2012); en yuca por Rivera y col. (2012a); en boniato por Ruiz y col. (2012); en guayaba (*Psidium guajava* L.) por Ramos y col. (2013); en arroz (*Oryza sativa* L.) por Ruiz (2015).

2.2.4. Inoculación con HMA en el cultivo del banano

El banano es una especie micotrófica, capaz de beneficiarse por aumento de la capacidad de absorción de nutrimentos y agua al establecer una simbiosis efectiva con los HMA (Borie y col., 2010; Medina y Azcón, 2010; Ruiz y col., 2012) y aunque se han publicado pocos artículos sobre los efectos de la inoculación con HMA en condiciones de campo; la mayoría de las investigaciones solo resaltan los efectos positivos sobre rendimiento en masa seca, contenidos nutricionales, protección contra patógenos y supervivencia (Declerck y col., 1995; Noval y col., 1997; Jaizme-Vega y col., 2002; Calderón, 2004; Jaizme-Vega y Rodríguez, 2004; Usuga y col., 2008) de las plantas en la fase de aclimatación.

El banano se multiplica *in vitro* de modo rutinario y la fase *post in vitro* resulta muy adecuada para la aplicación de HMA. Esta inoculación micorrízica permite a las plantas enfrentar de mejor manera la fase de aclimatación (Kapoor y col., 2008; Fernández y col., 2010) y lograr valores de supervivencia mayores en el trasplante.

Según Jaizme-Vega y col. (1997; 1998; 2002) la micorrización del banano en la fase *ex vitro* contribuye a registrar mejoras cuantificables en el crecimiento y nutrición de las plantas, fundamentalmente relacionadas con contenidos mayores de N y una asimilación mejor del P en aquellas colonizadas por los HMA, que en las no micorrizadas .

Los cultivares de bananos son colonizados por los HMA (Girija y Nair, 1988; Jaizme-Vega y col., 1991). Los resultados de Barea y col. (2002) y Declerck y col. (2002) demostraron el efecto beneficioso de los HMA en la eficiencia del sistema radical, la sanidad y el biocontrol de agentes fitopatógenos en banano y plátano en condiciones de vivero.

En Cuba, desde principios de la década del 90 (Mederos y col., 1993; Valdé y col., 1993; Herrera, 1994) se informan los primeros resultados del empleo de los HMA en el cultivo de banano y plátano realizados todos en la fase de aclimatación de las plantas micropropagadas *in vitro* (Noval y col., 1997; Calderón, 2004; Ruiz y col., 2012) por la factibilidad y las dosis bajas de inoculante micorrízico a emplear en esta etapa de desarrollo de las plantas y por lo beneficioso que resulta. Solo se reporta un trabajo en condiciones de campo con el clon 'Burro CEMSA' (Ruiz y col., 2012) con resultados también satisfactorios.

2.3. Abonos verdes. Generalidades e importancia

Uno de los desafíos para lograr una agricultura sostenible reside en reducir la utilización de agroquímicos sin afectar los rendimientos y la calidad del producto cosechado (Motisi y col., 2007). Por tal motivo, una de las experiencias agrícolas que mayor interés concitó en los trópicos en la última década ha sido la cobertura viva con leguminosas (Castillo y col., 2010; Córdova y col., 2011).

Los abonos verdes constituyen una práctica agronómica que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas previamente con la finalidad de

mejorar la disponibilidad de nutrientes y las propiedades físicas y biológicas del suelo (Martín y col., 2009; 2010). En los últimos años se amplió la definición a abonos verdes/cultivos de cobertura (AV/CC), que se cultivan no sólo para ser incorporados, sino que además se siembran para promover la cobertura del suelo (Florentín y col., 2001).

Se reconocen ampliamente los beneficios de los abonos verdes, a partir de especies de leguminosas, ante todo por aportar nitrógeno vía FBN (Resende y col., 2003; Crews y Peoples, 2004; Perín y col., 2004), por tal motivo se recomienda su uso en diversos agroecosistemas (Guerra y López, 2008; Nieto y col., 2008; Martín y col., 2010).

Según varios autores (Florentín y col., 2001; Muraoka y col., 2002; Guerra y col., 2007; Martín, 2009; Martín y col., 2010), las funciones de los abonos verdes están asociadas a la protección del suelo contra la erosión, la reducción de la temperatura y la evaporación del agua; también al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; al incremento del contenido de materia orgánica, al aporte, reciclaje y movilización de nutrientes y al control de plagas, enfermedades y plantas arvenses.

Otra forma de uso de los AV/CC es en asociación con cultivos de interés económico (Espíndola y col., 2005). Alegre y col. (2003) y Reyes y col. (2004) en trabajos realizados en la Amazonía peruana, señalan los beneficios de los cultivos de cobertura que han sido manejados en diversos sistemas agrícolas y forestales, que involucran el pijuayo (*Bactris gasipaes* L.), palma aceitera (*Elaeis guineensis* L.), plátano, inga (*Inga edulis* L.) y colubrina (*Colubrina glandulosa* L.).

Los trabajos de Høgh-Jensen (2006) demostraron que cantidades importantes de N pueden ser transferidas desde la leguminosa asociada a la planta empleada como cultivo principal durante el ciclo de crecimiento. Algunos de los factores implicados en ese proceso son la

liberación de exudados radicales, la presencia de micorrizas funcionando como vía de transferencia, y el reciclado en el suelo de raíces y nódulos de la leguminosa (Hog-Jensen y Schjoerring, 2000). En Cuba, existen resultados con relación a la introducción de esta práctica agrícola en cultivos de interés económico como cafeto, maíz, morera entre otros (Martín y col., 2009; Sánchez y col., 2009, Pentón y col., 2015).

2.3.1. Principales características de los abonos verdes

La selección de una especie de planta para ser utilizada como abono verde depende en gran medida de su tasa de crecimiento (Álvarez, 2000); debe ser rústica, de crecimiento rápido y producción de biomasa alta. Esto último depende de las condiciones edafoclimáticas y fitosanitarias (Filho y col., 2004). También debe caracterizarse por su fijación alta de N a través del proceso de fijación biológica de este elemento, que garantice el suplemento del nutrimento y su balance positivo en el suelo (Macedo y col., 2003).

Por consiguiente, los abonos verdes en el verano crecen más rápido y acumulan más N, debido a la intensidad y duración de la luz solar (Cherr y col., 2006). Al aumentar las precipitaciones, se intensifica el crecimiento de las plantas empleadas como abono verde (Filho y col., 2004) y a mayor producción de fitomasa, se incrementa el contenido de nutrimentos (Perín y col., 2004). En Cuba, García y col. (2002) demostraron que la época de siembra óptima coincide con la etapa más lluviosa y de días largos (mayo-octubre), factores que favorecen un incremento vegetativo exuberante en cortos períodos de tiempo, con producciones promedios de masa seca que oscilaron entre 3 y 11 t ha⁻¹ y aportes de N entre 150 y 250 kg ha⁻¹, en dependencia de las especies empleadas.

2.3.2. Influencia de los abonos verdes sobre algunas propiedades del suelo

La aplicación de abonos verdes al suelo mejora sus propiedades físicas: se incrementa la

estabilidad de los agregados, la densidad, porosidad, tasas de infiltración de agua y retención de humedad (Creamer y Baldwin, 2004; Espíndola y col., 2004); además los AV al cubrir el suelo contribuyen al control de la erosión, lo cual es muy importante por coincidir la época de su crecimiento con la de lluvias intensas. Las propiedades químicas: se favorecen con el aporte y disponibilidad de N, los incrementos en el reciclaje, la saturación por bases del suelo, la producción de ácidos orgánicos y disminución de los tenores de Al cambiante (Kumar y col., 2003; Salamanca y col., 2004).

Además, los abonos verdes reducen la adsorción de P en el suelo, efecto asociado al incremento del tenor de materia orgánica, lo que permite la formación de complejos químicos que bloquean los sitios de adsorción del elemento en la superficie de óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Espíndola y col., 2004). Sin embargo, en zonas tropicales no siempre el efecto es cuantificable a corto plazo, debido a que la descomposición de las plantas ocurre rápidamente bajo condiciones de altas temperaturas y humedad (Sangakkara y Nissanka, 2003).

También, los abonos verdes incrementan la actividad microbiana en el suelo y la diversidad de los microorganismos benéficos como los fijadores de nitrógeno y los HMA y pueden minimizar la actividad de los patógenos (Barrios y col., 2006). Por otra parte, la mayoría de las especies empleadas como abono verde tienen una dependencia micorrízica alta, lo que facilita su colonización y la reproducción de los propágulos micorrízicos (Hog-Jensen y Schjoerring, 2000; Bajwa y col., 2002; Filho y col., 2004; Sánchez y col., 2009; Martín y col., 2010).

2.3.3. Principales características de *Canavalia ensiformis* (L.) De Candolle

Según el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (2012) la canavalia pertenece a la siguiente taxonomía: Reino: *Plantae*; División: *Magnoliophyta*; Clase: *Magnoliopsida*;

Subclase: *Rosidae*; Familia: *Fabaceae*; Sub-familia: *Faboideae*; Tribu: *Phaseolae*; Subtribu: *Diocleinae*; Género: *Canavalia*; Especie: *Canavalia ensiformis* (L.) De Candolle; Nombre común: Frijol de puerco, Frijol de machete, Frijol espada, Haba de caballo, Poroto sable y Poroto gigante.

La canavalia presenta un ciclo vegetativo que oscila entre 240 a 270 días, su germinación comienza a partir de los 2 a 3 días después de la siembra. Se desarrolla bien en temperaturas de 15 a 30 °C, con precipitaciones entre 640 y 4 200 mm año⁻¹. Tiene excelente tolerancia a la sequía, moderada a la inundación y buena a la sombra. En floración pueda alcanzar de 13,6 a 60,0 t ha⁻¹ de masa fresca y de 2,5 a 8,4 t ha⁻¹ de masa seca (Espíndola y col., 1997; EMBRAPA, 2007; CIDICCO, 2008).

Además, la canavalia se destaca por establecer simbiosis con especies del género *Rhizobium* y así fijar cantidades de N atmosférico que oscilan entre 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, lo que la ubica como una especie importante para el aporte de este nutrimento al suelo (Martín, 2009) y también tiene aplicación como forraje en la alimentación animal (Martín y col., 2010). Según Vera y col. (2008) informaron resultados de estudios en suelos ácidos que indican que la canavalia fija hasta 318 kg ha⁻¹ de N.

2.3.4. Empleo del abono verde en plantaciones de banano

El uso de coberturas en cultivos se utiliza como método de control de malezas, reducción de la erosión del suelo y como proveedor de nutrimentos al suelo (Ciacci, 2014). Numerosas referencias documentan el uso de cultivos de cobertura en cultivos perennes comerciales tales como: cocotero/*Cocos nucifera* L. (Bourgoing, 1990), palma aceitera (Gama y col., 2007) y banano (Cintra y Borges, 1988; Borges y col., 1997).

Diferentes especies de leguminosas: soya (*Glycine max* L.), gandul (*Cajanus cajan* L.

Millsp), maní forrajero (*Arachis pintoi* L.) y de gramíneas: sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), Mijo negro (*Pennisetum typhoides* L.) se utilizan como abono verde, las cuales se incorporan al suelo en estado vegetativo para que el material sea rápidamente mineralizado y se incrementen los aportes de nutrimentos disponibles para el cultivo posterior (Ciacci, 2014). Según Brechelt (2004) este método enriquece el suelo especialmente con N, aunque también puede mejorar sus propiedades físicas y biológicas.

En Uganda, el empleo de crotalaria africana (*Crotalaria ochroleuca* L.) como abono verde incrementó el rendimiento del banano (Nowakunda y col., 2000). En Brasil, Borges y col. (1997) con la utilización de canavalia y gandul como coberturas en banano, demostraron un comportamiento superior en el rendimiento a otros resultados expuestos por Aiyelaagbe y Jolaoso (1995), en experimentos realizados con soya intercalada.

En Cuba, el empleo de abonos verdes en rotación y asociación en plantaciones de banano y plátano no es una práctica común, no obstante, existen referencias sobre el incremento del rendimiento del clon 'FHIA-03' plantado con coberturas vivas de leguminosas como: *Centrosema plumieri* L., *Teramnus labialis* L. y *Stylosanthes guianensis* L. (Gutiérrez y col., 2002).

Motisi y col. (2007) en experimentos en maceta bajo condiciones de invernadero, en Guadalupe (Antillas Francesas), en la Estación Experimental de Duclos del *Institut National de la Recherche Agronomique* de Francia, informaron resultados muy promisorios desde el punto de vista agronómico sobre la transferencia de N de la canavalia utilizada en asociación con el banano.

Según Danso y col. (1993) la transferencia de N ocurre principalmente a través de la descomposición de los residuos, indicando que el 40 % del N contenido en las plantas de una

cubierta vegetal puede llegar a estar disponible en el suelo el primer año. Por otra parte, Hoyt (1987) estimó que el 60% restante se encontrará disponible si la cubierta vegetal es incorporada como abono verde.

2.3.5. Importancia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes

De todos los factores, en áreas con fines productivos que influyen en la dinámica de las comunidades de HMA y su asociación con las plantas, los más importantes son las prácticas agrícolas (Marrero y col., 2008).

A través de la rotación de cultivos, plantas eficientes en la multiplicación de los HMA aumentan la cantidad de propágulos en el suelo, lo que favorece la colonización de los cultivos siguientes y mejora su nutrición y producción (Espíndola y col., 1998; Bajwa y col., 2002; Karasawa y col., 2002), siendo la canavalia uno de estos cultivos (Sánchez y col., 2009).

Kabir y Koide (2000); Sánchez (2001) relacionaron la colonización micorrízica del cultivo siguiente en la sucesión con la elevación del número de propágulos residentes que se produce con el crecimiento de este tipo de plantas, aunque de forma general no logra una reproducción adecuada de los HMA del suelo y una micorrización efectiva de las plantas porque los propágulos se encuentran en muy bajas cantidades o las especies presentes no son efectivas (Rivera y Fernández, 2003).

Precisamente, en este sentido son los resultados de Sánchez (2001) trabajando con diferentes especies de abonos verdes y dos tipos de suelo en la producción de posturas de cafeto, los cuales mostraron que aunque las especies de abonos verdes incrementaron la micorrización de las plantas, esta no fue efectiva y no impidió la respuesta positiva a la inoculación micorrízica de las posturas.

La inoculación con cepas eficientes de HMA eleva el número de esporas en cualquier tipo de secuencia, aunque depende del número de inoculaciones, la especie vegetal en cuestión y del cultivo precedente (Rivera y Fernández, 2003). Según Martín y col. (2012) la inoculación de los abonos verdes incrementa el contenido de propágulos micorrízicos en el suelo y el crecimiento de los cultivos posteriores. De esta manera se logra la introducción de estas cepas en el agroecosistema y condiciones de suelo con una concentración alta de propágulos, los cuales permiten una efectiva y más económica micorrización de las plantas posteriores (Rivera y col., 2013).

En la mayoría de los suelos y sistemas agroproductivos el empleo de los abonos verdes no garantiza totalmente los requerimientos nutricionales para una micorrización efectiva de las plantas, en estos casos es necesario suplementar con algunas cantidades de abono orgánico o mineral, las cuales son inferiores a las que se aplican en sistemas productivos intensivos o en presencia de cultivos no micorrizados (Martín, 2009; Sánchez y col., 2009; Rivera y col., 2010; García, 2014).

Existen resultados experimentales que han establecido una influencia positiva de la micorrización sobre la absorción del N en formas orgánicas, tanto a través de incrementos en los procesos de mineralización de los nutrientes provenientes de las fuentes y residuos orgánicos, al intensificar su descomposición, vía crecimiento de la microbiota asociada y de una proliferación mayor de hifas en presencia de este tipo de fuentes (Hodge y Fitter, 2010; Veresoglou y col., 2012; Hodge y Storer, 2015).

***III. MATERIALES
Y
MÉTODOS***

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se desarrollaron del 2005 al 2010, en el área de aclimatación de la “Biofábrica” de la Unión Agropecuaria Militar (UAM) y en las áreas agrícolas del Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT) ubicado a los 22° 35’ N, 80°18’ W y a 40 msnm, situado a 2,5 km de distancia de la “Biofábrica” y ambas localizadas en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, Cuba.

Principales características edafoclimáticas. Según la clasificación de Köppen, el clima puede catalogarse como Aw, tropical subhúmedo (Inzunza, 2005). El periodo experimental estuvo caracterizado por una estación lluviosa de mayo a octubre donde ocurrió el 81 % de las lluvias anuales y el 72 % de los días con lluvia (Tabla 1).

El periodo poco lluvioso se caracterizó además por las menores temperaturas medias mensuales, que se encontraron entre 17,2 y 24,6 °C, ascendiendo durante la época lluviosa y se hallaron siempre entre 25,0 y 27,9 °C (Tabla 2).

En el periodo experimental la precipitación anual, número de días con lluvia (dll) y temperatura media promedio fueron del orden de 1 349 mm, 126 y 24,18 °C respectivamente, muy similares a las medias históricas de los últimos 32 años. Las mayores fluctuaciones anuales se encontraron en las precipitaciones pero con poco efecto debido al régimen de riego utilizado (MINAG, 2004a; 2011a).

Todos los experimentos se desarrollaron en un suelo Pardo mullido carbonatado, según la Clasificación de los suelos de Cuba 2015 (Hernández y col., 2015), catalogado como *Phaeozems haplic calcaric* en correspondencia con la *World Reference Base* (WRB, 2014).

La determinación de las propiedades que caracterizan la fertilidad del horizonte cultivable del suelo (Tabla 3) se realizó a partir de las diferentes Normas Cubanas (NC) establecidas.

Tabla 1. Precipitación (mm) y número de días con lluvias mensuales en el período experimental 2005-2010 y el promedio histórico de 1978-2010.

Años	2005		2006		2007		2008		2009		2010		Promedio 2005-2010		Promedio histórico 1978-2010	
	(mm)	(dll)	(mm)	(dll)	(mm)	(dll)										
Enero	1	5	20	4	5	3	62	6	14	6	6	2	18	4	38	6
Febrero	8	2	19	4	102	8	18	6	19	5	90	11	43	6	45	5
Marzo	30	3	17	1	60	7	59	8	8	3	51	6	38	5	63	6
Abril	5	3	68	7	38	5	141	8	7	6	127	8	64	6	64	5
Mayo	177	15	250	12	152	15	86	8	217	16	12	9	149	13	180	12
Junio	191	14	92	12	247	18	152	11	228	16	228	12	190	14	215	15
Julio	395	15	187	14	224	14	175	14	156	16	191	17	221	15	164	14
Agosto	161	15	121	13	191	21	394	19	101	10	214	19	197	16	161	15
Septiembre	169	16	153	17	140	17	267	20	221	19	158	18	185	18	195	16
Octubre	256	18	83	14	305	20	136	17	38	7	135	14	159	15	123	12
Noviembre	16	6	47	7	20	6	81	8	77	9	26	10	44	8	64	9
Diciembre	28	4	37	14	27	8	127	4	66	6	25	5	52	7	36	6
Acumulado	1436	116	1093	119	1509	142	1698	129	1153	119	1262	131	1359	126	1349	121

Fuente: Los datos de las variables climatológicas correspondientes al período experimental y los históricos de 32 años se tomaron de la Estación Agrometeorológica No. 326, adjunta al Instituto de Meteorología (INSMET, 2010) y ubicada a 22° 35' N, 80° 18' W y a 40 msnm en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), en el municipio de Santo Domingo, Villa Clara, Cuba.

Leyenda: mm = precipitación caída; dll = número de días con lluvia.

Tabla 2. Temperatura media (°C) registrada por meses en el período experimental 2005-2010 y el promedio histórico de 1978-2010.

Años	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Promedio 2005-2010	Promedio histórico 1978-2010
Meses	(°C)	(°C)						
Enero	20,10	20,90	22,60	21,10	20,30	19,50	20,75	20,80
Febrero	20,50	20,30	22,10	22,80	19,70	19,90	20,88	21,50
Marzo	23,50	21,60	22,70	23,30	21,50	20,40	22,17	22,60
Abril	24,00	23,80	23,70	23,40	24,60	23,60	23,85	24,20
Mayo	25,80	25,20	25,00	26,10	25,40	26,70	25,70	25,50
Junio	26,70	26,70	26,10	26,80	26,10	27,90	26,72	26,60
Julio	27,40	26,80	27,10	27,00	27,70	27,20	27,20	27,00
Agosto	27,10	26,80	26,70	26,80	27,40	27,20	27,00	26,90
Septiembre	26,70	26,50	25,90	26,50	26,50	26,50	26,43	26,30
Octubre	25,20	25,40	25,80	25,20	25,90	24,80	25,38	25,20
Noviembre	23,40	22,50	22,30	22,00	23,20	21,90	22,55	23,40
Diciembre	21,40	23,70	22,30	21,40	23,00	17,20	21,50	21,70
Promedio	24,32	24,18	24,36	24,37	24,28	23,57	24,18	24,30

Fuente: Los datos de las variables climatológicas correspondientes al período experimental y los históricos de 32 años se tomaron de la Estación Agrometeorológica No. 326, adjunta al Instituto de Meteorología (INSMET, 2010) y ubicada a 22° 35' N, 80° 18' W y a 40 msnm en el INIVIT, en el municipio de Santo Domingo, Villa Clara, Cuba.

Tabla 3. Algunas propiedades que caracterizan la fertilidad del horizonte cultivable (0-0,20 m) del suelo Pardo mullido carbonatado.

Experimento	Año	pH		MO	P ₂ O ₅	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
		KCl	H ₂ O	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)		
1*	2005	6,90	7,80	22,52	32,88	45,35	3,25	0,62
	Z ₁₋ * S _x	±0,12	±0,12	±0,89	±1,23	±0,92	±0,07	±0,05
	2006	7,00	8,00	20,52	30,92	44,28	3,18	0,58
	Z ₁₋ * S _x	±0,14	±0,06	±1,06	±0,89	±0,75	±0,06	±0,05
2**	2006	6,81	7,85	21,01	31,86	44,94	3,24	0,40
	Z ₁₋ * S _x	±0,14	±0,11	±1,19	±1,29	±1,20	±0,11	±0,09
3**	2008	6,93	7,95	19,95	31,81	44,71	3,32	0,37
	Z ₁₋ * S _x	±0,08	±0,06	±1,53	±1,76	±1,45	±0,10	±0,08

Z₁₋ * S_x = ±Intervalo de confianza (1- = 0,05), siendo Z₁ = 1,96. *Cada valor es promedio de 10 muestras compuestas. ** Cada valor es promedio de ocho muestras compuestas.

pH en H₂O y KCL (KCl solución 1 M) en relación suelo:solución (1:2,5) por el método potenciométrico (NC-ISO 10 390, 1999). Determinación de la materia orgánica por el método de Walkley-Black (oxidación del C con K₂Cr₂O₇ 0,5 M en H₂SO₄ (18 M al 98 %) y valoración con SO₄FeNH₄ (0,25 M) (NC-51, 1999). Determinación del P por el método de Machiguín (solución extractiva de (NH₄)₂CO₃ con concentración de 10 g L⁻¹, pH 9,0) y valoración con ácido ascórbico (NC-52, 1999). Determinación de cationes intercambiables con NH₄Ac 1 M y pH 7 en relación suelo:solución de 1:5 y agitando durante 5 minutos (NC-209, 2002).

El suelo presentó una reacción ligeramente alcalina, con valores de materia orgánica bajos y contenidos medios de fósforo disponible. En relación con los cationes intercambiables, el Ca^{+2} mostró valores altos, mientras que el Mg^{+2} y el K^{+} presentaron contenidos medios. En el caso del K los valores mostraron una mayor variación en los años, los cuales oscilaron desde 0,37 a 0,62 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (MINAG, 1984). Sin embargo la proporción del K expresado a partir de la relación catiónica $\text{K} / \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}$ fue siempre baja (Carvajal, 1984) y dado por los altos contenidos de Ca^{+2} intercambiable de estos suelos.

Contenido inicial de esporas micorrízicas residentes en el suelo. En cuanto al número inicial de esporas de HMA (Tabla 4), si bien fueron bajas, se corresponden con los valores obtenidos anteriormente por Marrero y col. (2008) y Ruiz y col. (2010) en un suelo Pardo mullido carbonatado y en esta localidad.

Tabla 4. Cantidad inicial de esporas residentes en el horizonte cultivable (0-0,20 m) del suelo Pardo mullido carbonatado.

Número experimento	Año	Número de esporas
		(esporas 50 g^{-1})
1*	2005	41,00
	$Z_{1-} * S_x$	$\pm 3,91$
	2006	53,00
	$Z_{1-} * S_x$	$\pm 4,07$
2**	2006	47,50
	$Z_{1-} * S_x$	$\pm 14,60$
3**	2008	42,75
	$Z_{1-} * S_x$	$\pm 13,45$

$Z_{1-} * S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1 - \alpha = 0,05$), siendo $Z_1 = 1,96$. *Cada valor es promedio de 10 muestras compuestas. ** Cada valor es promedio de ocho muestras compuestas.

Cuantificación de esporas según la modificación de Herrera y col. (1995) al protocolo inicial de Gerdemann y Nicholson (1963).

En los experimentos se utilizaron plantas de banano 'FHIA-18' (*Musa* sp., AAAB) cuyas principales características aparecen descritas en el anexo 1.

3.1. Experimento 1. Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares y de relaciones suelo:abono orgánico para la aclimatación de plantas de banano obtenidas *in vitro* en suelo Pardo mullido carbonatado

El experimento se llevó a cabo en el área de aclimatación de la “Biofábrica” durante los periodos mayo-julio de 2005 y mayo-julio de 2006 con plantas de banano obtenidas *in vitro* sin presencia de signos visibles de contaminación microbiana, con una altura aproximada de 50 mm y con cuatro hojas por planta, de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma de producción correspondiente (NRAG, 2012).

La aclimatación de las plantas se realizó en condiciones semicontroladas, en una casa de cultivo cubierta por una malla plástica (zarán), que permitía el paso del 60 % de la iluminación natural (NRAG, 2012).

Se evaluaron cuatro cepas de HMA y un control sin inoculación, dos tipos de abonos orgánicos (compost y humus de lombriz) y cinco relaciones suelo:abono orgánico (v:v) [100 % Suelo (S), 3:1, 1:1, 1:3 y 100 % abono orgánico (AO)] en un diseño Completamente aleatorizado con 50 tratamientos. Se utilizaron para las evaluaciones 15 plantas por tratamiento. El tratamiento de 100 % AO con uno u otro tipo de AO correspondió al utilizado actualmente en la aclimatación de las plantas de banano obtenidas *in vitro* (MINAG, 2004b; 2012).

Las cepas utilizadas pertenecen a la colección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba y se correspondieron con las siguientes especies: *Funneliformis mosseae* (Schüßler y Walker, 2011)/INCAM-2; *Glomus cubense* (Rodríguez y col., 2011)/INCAM-4; *Claroideoglomus claroideum* (Schüßler y Walker, 2011)/INCAM-8 y *Rhizoglomus intraradices* (Sieverding, y col., 2014)/INCAM-11. En todos los casos, el contenido de esporas de los inóculos estaba entre 25 y 30 esporas g⁻¹ de producto.

Los dos tipos de abono orgánico utilizados, procedieron del Centro de Producción de Abonos Orgánicos del INIVIT y se caracterizaron como elementos totales (Tabla 5) y las diferentes relaciones de S:AO estudiadas se caracterizaron como elementos disponibles o intercambiables (Tabla 6), según lo descrito por las NC establecidas.

Para la conformación de las diferentes relaciones suelo:abono orgánico (S:AO), los tipos

Tabla 5. Algunas propiedades que caracterizan la composición química de los dos tipos de abonos orgánicos utilizados (en base seca).

Abono orgánico	pH	MO	Concentración					Humedad	C:N
	H ₂ O	(g kg ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	(%)	
			(g kg ⁻¹)						
Compost	7,00	569,00	19,50	3,10	9,90	14,00	4,90	65,00	16,9
Z ₁ · S _x	±0,10	±11,19	±0,80	±0,57	±0,75	±0,87	±0,63	±1,31	
Humus	7,10	560,38	19,80	4,30	8,50	13,00	3,50	67,00	16,8
Z ₁ · S _x	±0,07	±15,05	±0,95	±0,64	±0,90	±0,77	±0,40	±1,60	

Z₁ · S_x = ±Intervalo de confianza (1-α = 0,05), siendo Z₁ = 1,96. Cada valor es promedio de seis muestras compuestas. En el caso del compost se consideró un 65 % de humedad.

pH en H₂O en relación suelo:solución (1:2,5) por el método potenciométrico (NC-ISO 10 390, 1999). Determinación de la materia orgánica por el método de Walkley-Black (oxidación del C con K₂Cr₂O₇ 0,5 M en H₂SO₄ (18 M al 98 %) y valoración con SO₄FeNH₄ (0,25 M) (NC-51, 1999). Los elementos totales por digestión de la muestra con H₂SO₄ (18 M al 98 %) + Se, el N: se determinó por el método colorimétrico de Nessler; el P con ácido-1 amino-2 naftol-4 sulfónico (Método de Osmond); el Ca y Mg por el método volumétrico con EDTA 0,005 M, pH 9 y el K por fotometría de llama (NC-209, 2002).

Tabla 6. Algunas propiedades que caracterizan las diferentes combinaciones suelo:abono orgánico utilizadas.

Relación	pH	MO	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺
	H ₂ O	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)			
Suelo:Compost (3:1)	7,8±0,08	96,5±1,27	211,0±1,13	1,0±0,04	39,3±0,26	3,5±0,08	0,3±0,04
Suelo:Compost (1:1)	7,6±0,06	146,5±2,04	248,5±1,27	1,4±0,02	42,5±0,18	4,5±0,11	0,3±0,06
Suelo:Compost (1:3)	7,5±0,08	180,8±1,67	276,5±1,27	1,7±0,05	44,0±0,16	5,2±0,04	0,4±0,05
Suelo:Humus (3:1)	7,7±0,08	99,8±2,45	212,0±0,80	0,9±0,03	38,5±0,26	3,5±0,09	0,2±0,06
Suelo:Humus (1:1)	7,5±0,09	141,8±3,24	252,0±2,12	1,4±0,01	41,5±0,24	4,4±0,12	0,2±0,06
Suelo:Humus (1:3)	7,3±0,08	179,5±1,89	278,5±1,27	1,7±0,03	43,2±0,22	5,0±0,01	0,3±0,04

Z₁ * S_x = ±Intervalo de confianza (1- α = 0,05), siendo Z₁ = 1,96. Cada valor es promedio de cuatro muestras compuestas. MO = Materia orgánica. pH en H₂O en relación suelo:solución (1:2,5) por el método potenciométrico (NC-ISO 10 390, 1999). Determinación de la materia orgánica por el método de Walkley-Black (oxidación del C con K₂Cr₂O₇ 0,5 M en H₂SO₄ (18 M al 98 %) y valoración con SO₄FeNH₄ (0,25 M) (NC-51, 1999). Determinación del P por el método de Machiguín (solución extractiva de (NH₄)₂CO₃ con concentración de 10 g L⁻¹, pH 9,0) y valoración con ácido ascórbico NC-52, 1999) (NC-52, 1999). Determinación de cationes intercambiables con NH₄Ac 1 M y pH 7 en relación suelo:solución de 1:5 y agitando durante 5 minutos (NC-209, 2002).

de AO se mezclaron independientemente con suelo Pardo mullido carbonatado (Tabla 3) tomado a una profundidad de 0-0,2 m, en áreas dedicadas al cultivo de la yuca que no habían recibido previamente aplicaciones de inoculantes micorrízicos. Las mezclas se elaboraron 20 días antes del trasplante de las plantas de banano a las bolsas.

El trasplante se efectuó colocando una planta en cada bolsa de polietileno negro que ya contenía 0,5 kg de cada relación de S:AO (combinación de suelo y tipo de abono orgánico). La inoculación se realizó en el momento del trasplante a razón de 10 g de inóculo micorrízico por planta, localizado debajo de las raíces y en contacto directo con estas.

Durante la aclimatación de las plantas mediante el uso de microaspersores aéreos se mantuvo una humedad relativa alta en los 15 primeros días con una frecuencia de tres riegos diarios con una duración de 15 minutos cada uno, posteriormente se regó dos veces al día.

Las restantes actividades se desarrollaron acorde a lo establecido en el Instructivo Técnico (MINAG, 2004b; 2012).

El experimento tuvo una duración de 60 días y se evaluaron en ese momento, el porcentaje de supervivencia, la altura (cm), el área foliar (AF) (cm²), la masa seca (MS) (g), la concentración de N, P y K (g kg⁻¹), la extracción de N, P y K (mg por planta) y el porcentaje de colonización micorrízica total.

3.2. Experimento 2. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, la canavalia y el suministro de nutrimentos en plantaciones de banano

El trabajo experimental se realizó en las áreas agrícolas del INIVIT, durante el periodo abril de 2006 hasta octubre de 2008.

El experimento se desarrolló en dos etapas y siempre en las mismas parcelas. Los tratamientos se presentan en la tabla 7. Una primera etapa previa a la plantación de banano de acuerdo con los tratamientos, se sembró canavalia como AV y en otros se mantuvo el área limpia durante el

Tabla 7. Experimento 2. Características de los tratamientos en ambas etapas del experimento.

Tratamiento	Etapa	
	Primera	Segunda
	Precedente	Plantación del banano (Tres ciclos productivos)
1	Área limpia	Control absoluto
2	Área limpia	BHMA(t)
3	Área limpia	75 % NPK
4	Área limpia	75 % NPK + BHMA(t)
5	Área limpia	100 % NPK
6	Área limpia	75 % FOM
7	Área limpia	75 % FOM + BHMA(t)
8	Área limpia	100 % FOM
9	Área limpia	100 % FOM + BHMA(t)
10	AVP	AVI
11	AVPHMA	AVIHMA
12	AVPHMA	AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM
13	AVPHMA	AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM
14	AVPHMA	AVIHMA + BHMA(t) + 75 % FOM

Leyenda: AVP = canavalia precedente; AVI = canavalia intercalada; AVPHMA = canavalia precedente inoculada; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo (PM, V-1 y V-2), de N y de K₂O respectivamente y 38 g por plantón de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a); FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo (PM, V-1 y V-2) respectivamente (MINAG, 2011a). Suelo Pardo mullido carbonatado.

periodo. La segunda etapa correspondió a la plantación de banano.

Se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro réplicas y se ejecutó durante los ciclos de planta madre y dos vástagos.

Siembra y manejo de la canavalia precedente en la plantación de banano. Se sembró el 24 de abril de 2006 con un marco de siembra de 0,5 m entre surcos y 0,2 m entre plantas, con una densidad de 100 000 plantas ha⁻¹ y se utilizaron 125 kg ha⁻¹ de semilla. El área de cada parcela fue de 12 m x 12 m (144 m²). A los 60 días después de la siembra (dds), se realizó el corte de la canavalia con una chapeadora rotatoria y se incorporó en el suelo hasta 0,15 m de profundidad con un arado de disco (ADI-3 M).

Aclimatación de las plantas obtenidas *in vitro* utilizadas en el experimento. Se aplicaron los resultados obtenidos en el experimento 1. En los tratamientos inoculados, las plantas se inocularon en la fase de aclimatación con la cepa de *R. intraradices* y en presencia de la relación suelo:compost de 1:1; y en los tratamientos no inoculados fueron aclimatadas en la relación 100 % AO (MINAG, 2004b; 2012).

Plantación del banano. Se realizó de forma manual en todas las parcelas, tomando como referencia que se ejecutó a los 30 días después del corte e incorporación del AV. Se utilizó un marco de plantación de 4 m x 2 m x 2,4 m, equivalente a 1 388 plantas ha⁻¹ y con un total de 20 plantas por parcela distribuidas en un área de 144 m². El área de cálculo por parcela fue de 43,2 m² con seis plantas evaluables. En el experimento se evaluaron tres ciclos productivos: PM y los hijos seguidores V-1 y V-2. La selección de los vástagos se realizó por el método de un portador y el mejor hijo (MINAG, 2004a; 2011a).

Siembra y manejo de la canavalia intercalada en plantación de banano. De acuerdo con los tratamientos (Tabla 7) y a los 30 días (25 de agosto de 2006) después del trasplante (ddt) del

banano, se sembró canavalia intercalada, ubicando siete surcos en el camellón ancho y tres surcos en el estrecho, con un marco de siembra de 0,5 m x 0,2 m y siempre con una separación de 0,5 m de los surcos de banano, para una densidad de 81 800 plantas ha⁻¹.

A los 60 dds se realizó el primer corte de la canavalia intercalada de forma manual con machete a una altura de 0,15 m del suelo y se ejecutó un segundo corte a ras del suelo a los 60 días posteriores al primero. El AV cortado se arrojó en todos los casos, sobre las hileras de banano.

Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares. Se utilizó la cepa INCAM-11 de *R. intraradices*. En el caso de la canavalia, tanto para la siembra precedente como para la intercalada, la inoculación micorrízica se realizó mediante el recubrimiento de la semilla, con cantidades de inoculante equivalentes al 8 % de su peso y utilizando 600 ml de agua por cada kg de inoculante (Martín y col., 2012).

Para el banano, la dosis dependió del material de propagación a utilizar. En la aclimatación de las plantas, la inoculación micorrízica se ejecutó de forma similar al descrito en el acápite 3.1., mientras en la plantación se realizó en el trasplante de las plantas a campo, a razón de 20 g de inoculante por planta situado en el fondo del hoyo y siempre localizado debajo de las raíces.

Esquemas de suministros de nutrimentos en la plantación de banano. Se utilizaron dos esquemas para suministrar los nutrimentos a las plantas de banano en condiciones de campo.

Esquema 1: a partir de fertilizantes minerales (NPK), con los portadores: urea (46 % de N), superfosfato triple (46 % de P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % de K₂O).

Esquema 2: identificado como fertilización orgánico-mineral (FOM), a partir de la utilización de compost y ceniza de paja de caña de azúcar.

Las dosis recomendadas por el Instructivo Técnico del Cultivo del Plátano (MINAG, 2004a; 2011a) e identificadas como 100 % NPK consistieron en 300 y 720 g por plantón y por ciclo, de

N y de K₂O respectivamente, así como 38 g por plantón de P₂O₅, aplicado solo en el ciclo de planta madre. La referida al 100 % de la FOM, se basó en la aplicación de 20 y 10 kg por plantón y por ciclo, de compost y ceniza de paja de caña respectivamente.

La caracterización del compost se presentó en la tabla 5. La composición química de la ceniza de paja de caña fue la siguiente: 6,6±0,87; 42,8±1,07; 52,4±1,10 y 8,95±0,58 g kg⁻¹ de P, K, Ca y Mg respectivamente (Cada valor es promedio de seis muestras compuestas).

En la tabla 8 se muestran las cantidades de N, P₂O₅ y K₂O aportados en cada ciclo productivo evaluado, con las diferentes dosis en ambos esquemas de suministro de nutrimentos.

En el ciclo de PM los fertilizantes minerales se fraccionaron de la siguiente forma: la urea en cuatro aplicaciones a partes iguales, a los 45, 90, 135 y 180 días después de la plantación (ddp) del banano; el fertilizante potásico se fraccionó en dos aplicaciones (50 % de la dosis total aplicada por tratamiento) y se fertilizó a los 45 y 135 ddp. Todas las aplicaciones se realizaron en forma circular alrededor de la planta y fueron tapadas con suelo (MINAG, 2004a; 2011a). En el caso del fertilizante fosfórico no se fraccionó y se aplicó totalmente en el establecimiento de la plantación en el fondo del surco (MINAG, 2004a; 2011a).

En cada uno de los ciclos correspondientes a los dos vástagos, las dosis de N y K se fraccionaron en dos aplicaciones (50 % de la dosis total aplicada por tratamiento) y se realizaron en forma de media luna frente al vástago correspondiente, la primera aplicación se ejecutó cuando el 80-90 % de las plantas del ciclo anterior estaban en fase de cosecha y la segunda 60 días después.

En el caso de las aplicaciones a base de compost y ceniza (FOM), estas se realizaron siempre fraccionadas en dos aplicaciones a partes iguales. En el ciclo de PM, al momento de la plantación en el fondo del surco y a los 90 días de la primera, en forma circular alrededor de la planta y tapada con suelo; y en los ciclos V-1 y V-2, similar a como se describió anteriormente

Tabla 8. Aportes de N, P₂O₅ y K₂O por las diferentes dosis estudiadas en cada ciclo productivo evaluado y el acumulado total.

Esquema de suministro de nutrimento	Planta Madre			Vástago-1			Vástago-2			Acumulado total		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(kg ha ⁻¹)											
100 % de NPK	416	52	999	416	0	999	416	0	999	1248	52	2997
75 % de NPK	312	39	749	312	0	749	312	0	749	936	39	2247
100 % de FOM	191	281	835	191	281	835	191	281	835	573	843	2505
75 % de FOM	143	211	626	143	211	626	143	211	626	429	633	1878
50 % de FOM	96	141	418	96	141	418	96	141	418	288	423	1254
25 % de FOM	48	70	209	48	70	209	48	70	209	144	210	627

Leyenda: 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo (PM, V-1 y V-2), de N y de K₂O respectivamente y 38 g por plantón de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a); FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo (PM, V-1 y V-2) respectivamente (MINAG, 2011a). Densidad de plantas 1 388 plantas ha⁻¹. Suelo Pardo mullido carbonatado.

para la fertilización nitrogenada y potásica (MINAG, 2004a; 2011a).

Todas las atenciones agrotécnicas en las plantaciones de banano se realizaron de acuerdo con el Instructivo Técnico del Cultivo del Plátano (MINAG, 2004a; 2011a).

Variables evaluadas y procedimiento de muestreo. En los diferentes cortes de la canavalia y ciclos del banano se determinaron: esporas micorrízicas y porcentajes de colonización micorrízica total, producción de biomasa en los órganos y partes de órganos evaluados y total, concentración en estos de N, P y K (g kg^{-1}) y la extracción de N, P_2O_5 y K_2O (kg ha^{-1}) correspondiente, así como el rendimiento agrícola.

Para el muestreo inicial de suelo se tomaron ocho muestras compuestas de suelo en toda el área experimental. De la misma manera, se realizaron análisis químicos de suelos en cada ciclo (PM, V-1 y V-2) del banano y al terminar la cosecha de cada tratamiento. Las muestras se tomaron de 0-0,2 m de profundidad.

En el banano y en los momentos de cosecha de cada ciclo de forma similar (PM, V-1 y V-2) se muestrearon las seis plantas de cálculo de cada parcela y en cada planta se tomaron submuestras de ocho puntos (15-30-45-60-75-90-105-120 cm) en forma de espiral alrededor del seudotallo de la planta, siguiendo la metodología descrita por Guijarro (1983) y ejemplificada en el anexo 2, de forma tal que cada muestra por parcela fue una muestra compuesta de 32 submuestras.

Los muestreos para el conteo de esporas en el suelo se realizaron en siete momentos, al inicio del experimento, al incorporar la canavalia precedente (previo al trasplante del banano) e inmediatamente después de cada corte de la canavalia intercalada y en la etapa de cosecha de cada uno de los ciclos del banano. En todos los casos se tomaron las muestras de suelo en la profundidad de 0-0,20 m.

A partir del conteo inicial de esporas de HMA, los muestreos se realizaron siempre en cada

parcela. En el segundo muestreo realizado inmediatamente después del corte de la canavalia precedente e incluso en los tratamientos en que no se sembró canavalia, se tomaron muestras compuestas de cinco submuestras por parcela, de forma similar se procedió en los muestreos correspondientes a los diferentes cortes en la canavalia intercalada.

En el caso del porcentaje de colonización micorrízica total los muestreos se realizaron siempre por parcela, tanto en la canavalia precedente e intercalada como en cada ciclo del banano. Para las evaluaciones en canavalia se motearon las raíces de las plantas que se encontraban en 1,0 m², coincidente con el muestreo para biomasa, y para el banano se tomaron raíces de cuatro plantas de cálculo en el estadio de floración.

Los muestreos foliares en banano se realizaron en todos los tratamientos, en la fase de floración de cada ciclo del cultivo, para lo cual se seleccionó en cada planta de cálculo, la III^a hoja de la planta y se tomó una banda de 10 cm de cada semilimbo, en el centro del limbo (Anexo 3). Las muestras foliares de cada parcela se homogenizaron, secaron en estufa controlada termostáticamente, con ventilación forzada a 70 °C y molinaron.

Los muestreos correspondientes a la producción de biomasa y cantidades de nutrimentos extraídas por las plantas de canavalia se realizaron a los 60 dds por parcela, para la evaluación se extrajeron todas las plantas que se encontraban en 1,0 m² en el centro de cada parcela separándose en hojas y tallos e inmediatamente se procesaron según la metodología descrita por García y col. (2001).

En el caso del banano, lo primero que se realizó fue seleccionar una planta representativa por parcela en cada tratamiento, a partir de los valores de altura y perímetro promedios evaluados en la etapa de floración de cada ciclo productivo, de esta forma se garantizó su representatividad con el tratamiento en cuestión.

En estas plantas a partir de la floración se recolectaron todos los materiales vegetales secos que

pertenecieron a las mismas. En el momento de la cosecha se extrajeron estas plantas y se procedió inmediatamente a subdividir cada una de estas en los diferentes órganos o partes de órganos según la metodología descrita por Guijarro (1983), los cuales fueron: cormo (Co), seudotallo (St), tallo verdadero (TV), pecíolos (Pc), nervaduras (Nv), limbos (L), raquis (R), pámpana (Pn) y frutos. Los materiales secos previamente recolectados de cada planta se unieron con la parte del órgano correspondiente, una vez todos los materiales secos, se homogenizaron y molinaron.

La producción de biomasa total en el banano y las extracciones de N, P y K por órganos y totales se determinaron en todos los tratamientos y como material para la tesis fueron seleccionados los siguientes tres tratamientos: control absoluto, 100 % de FOM y AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM.

3.3. Experimento 3. Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante a campo del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada

El trabajo experimental se realizó en las áreas agrícolas del INIVIT, durante el periodo abril de 2008 hasta octubre de 2010 y a partir de los resultados principales obtenidos en el experimento anterior. El objetivo fundamental fue evaluar la necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante a campo del banano, cuando en el cultivo se utiliza además la canavalia inoculada como precedente.

Los tratamientos estudiados en el experimento se presentan en la tabla 9. Se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro réplicas y se ejecutó durante los ciclos PM, V-1 y V-2. Las características del suelo y contenidos iniciales de esporas de HMA residentes se presentan en las tablas 3 y 4. El experimento se desarrolló en dos etapas, de forma similar a lo descrito en el experimento anterior (Acápite 3.2.1.) y a partir de los resultados obtenidos en el experimento 2. La siembra de canavalia precedente del banano se realizó el 1 de abril de 2008 y la plantación del

banano se efectuó el 2 de julio de ese año. La canavalia intercalada se sembró a los 30 ddt del banano (3 de agosto de 2008).

Tabla 9. Experimento 3. Características de los tratamientos en ambas etapas del experimento.

Tratamiento	Etapa	
	Primera	Segunda
	Precedente	Plantación del banano (Tres ciclos productivos)
1	Área limpia	Control absoluto
2	Área limpia	100 % FOM
3	AVPHMA	AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM
4	AVPHMA	AVIHMA + 50 % FOM

Leyenda: AVPHMA = canavalia precedente inoculada; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo (PM, V-1 y V-2) respectivamente (MINAG, 2011a). Suelo Pardo mullido carbonatado.

En el experimento se siguió un protocolo similar de muestreos y determinaciones al del experimento

2. Se evaluaron las mismas variables (Acápite 3.2.1.) pero no se efectuaron los muestreos de suelo, en cosecha y los correspondientes a los muestreos de biomasa total en banano.

3.4. Metodologías utilizadas en las diferentes determinaciones y evaluaciones

Análisis de suelo. Las normas con las cuales se realizaron las determinaciones de las propiedades que caracterizaron la fertilidad del suelo, se especificaron en el pie de la tabla 3.

Análisis de esporas. Para la extracción de esporas se procedió según el protocolo descrito por Gerdemann y Nicholson (1963), modificado por Herrera y col. (1995). Las esporas fueron contadas con el uso del microscopio estéreo (Carl Zeiss, Stemi 2000-C/50x) y se expresaron en esporas 50 g^{-1} de suelo.

Porcentajes de colonización micorrízica total. Se determinó en cada muestra a partir de 200 mg de raíces, las cuales fueron secadas en estufa controlada termostáticamente, con ventilación forzada a $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante. Las raíces fueron teñidas según la metodología descrita por Phillips y Hayman (1970). La evaluación se realizó en microscopio estéreo (Carl Zeiss, Stemi 2000-C/50x).

Para la cuantificación se utilizó el método de los interceptos de Giovanetti y Mosse (1980).

Evaluaciones morfológicas. La altura (cm) se determinó con una regla graduada desde la base delseudotallo hasta la intercepción de las dos últimas hojas y el área foliar (AF, cm²) se calculó por la fórmula: $AF = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{número de hojas} \times 0,80 \times 0,662$, según lo descrito por Kumar y Krishnamoorthy (2002).

Biomasa. La masa fresca del tejido aéreo (MF) de cada planta se determinó por pesada en balanza técnica ($\pm 0,01$ g). La masa seca (MS) en cada muestra se determinó a partir del porcentaje de masa seca del tejido aéreo fresco secado en estufa controlada termostáticamente, con ventilación forzada a 70 °C hasta masa constante y de los valores de masa fresca y se expresó en g.

Concentración de N, P y K. En cada una de las muestras de tejido aéreo seco se determinaron las concentraciones totales de N, P y K en una digestión húmeda con H₂SO₄ + Se (método Kjeldahl) y se expresaron en g kg⁻¹. Se utilizó el método de Nessler para determinar el N, el aminonaftol sulfónico para el P y fotometría de llama para el K (NRAG-564, 1982).

Producción de biomasa total. En la canavalia se halló la masa fresca de cada órgano, tomándose una muestra de 100 g para determinar masa seca (García y col., 2001). En el caso del banano se determinó el peso fresco a las diferentes partes descritas anteriormente (Guijarro, 1983), y se tomaron alícuotas representativas. En todos los casos, se determinó el peso fresco de la alícuota, las cuales fueron posteriormente secadas en estufa controlada termostáticamente, con ventilación forzada a 70 °C y se determinó el contenido de materia seca.

La extracción de N, P₂O₅ y K₂O (kg ha⁻¹) tanto en canavalia como en banano se determinó con las concentraciones de los elementos (g kg⁻¹) y la masa seca (g) en cada órgano estudiado y se calculó por la siguiente fórmula: $\text{Extracción} = MS \times \text{Concentración elemento} \times \text{factor gravimétrico}$ (1,2 y 2,29 para K₂O y P₂O₅, respectivamente).

El Índice de eficiencia simbiótica (IE, %) se calculó en función de las variables evaluadas (MS, N, P, K, altura y AF), mediante la ecuación propuesta por Siqueira y Franco (1988):

$$\text{IE simbiótica} = \frac{\text{Tratamiento inoculado con HMA} - \text{Tratamiento no inoculado homólogo}}{\text{Tratamiento no inoculado homólogo}} * 100$$

El aporte de N, P₂O₅ y K₂O (t ha⁻¹) se calculó con las dosis en kg ha⁻¹ tanto de las fuentes minerales como orgánico-minerales. Para el compost se consideró un 65 % de humedad y la concentración (g kg⁻¹) de N, P y K en los mismos (Tabla 5).

El rendimiento agrícola del banano (t ha⁻¹) se determinó por pesada de los racimos (kg) en cada una de las seis plantas de cálculo de cada parcela y en los diferentes ciclos estudiados y se expresó como rendimiento por parcela de cada ciclo y el acumulado total.

En cada ciclo evaluado en banano, se calculó el rendimiento relativo (%) con relación al rendimiento del tratamiento 100 % NPK (MINAG, 2011), mediante la fórmula:

$$\text{RR(tratamiento)} = \frac{\text{Rendimiento (tratamiento)}}{\text{Rendimiento (100 \% NPK)}} * 100$$

Además se determinó la relación K:N a partir de los valores de las concentraciones foliares de ambos elementos.

3.5. Análisis estadístico

Se verificaron en cada caso los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por Levene y Kolmogorov-Smirnov. Se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS, versión 15.0 (2012).

En algunas variables evaluadas en cada experimento, se establecieron los Intervalos de Confianza de las medias (1- = 0,05).

Experimento 1. En cada uno de los dos años, con todas las variables y utilizando los 50 tratamientos se realizaron Análisis de Componentes Principales (ACP) y para establecer diferencias significativas entre los agrupamientos de tratamientos el Factorial Discriminante (FD) y el ANOVA a las

puntuaciones discriminantes de las funciones. Una vez establecida la cepa eficiente se procedió a evaluar el efecto de los dos tipos de AO y las cinco relaciones S:AO en la efectividad de la inoculación micorrízica, procesando la información como un diseño Completamente aleatorizado con arreglo factorial de $2 \times 2 \times 5 \times 2$ y solo utilizando la información asociada con la inoculación de la cepa eficiente y los homólogos no inoculados. Los factores y sus respectivos niveles en este caso fueron: cepas (2), tipo de AO (2), relaciones S:AO (5) y años (2).

Experimento 2 y 3. Para cada una de las variables evaluadas en cada uno de los ciclos y en el rendimiento acumulado del banano como en la canavalia se realizaron los correspondientes ANOVA de Clasificación Doble. En todos los experimentos se utilizó como criterio de comparación entre medias la Prueba de Rangos Múltiple de Tukey.

En el experimento 2 para establecer el efecto de los ciclos de cosecha en el rendimiento e indicadores del funcionamiento micorrízico se realizó el ANOVA, con arreglo factorial, siendo los factores: tratamientos (con 14 niveles) y ciclos de cosecha (con 3 niveles). Además se realizaron en cada ciclo del banano, análisis de correlaciones simples entre el rendimiento relativo (%) de todos los tratamientos y las concentraciones respectivas de N, P y K (g kg^{-1}) en la III^a hoja en floración del banano como con la relación K:N, y en el momento de la cosecha de cada ciclo con los contenidos de MO, P_2O_5 y K^+ intercambiable en el suelo.

Además, con la finalidad de integrar los resultados de todos los tratamientos en los tres ciclos y estados nutricionales asociados se ejecutaron Análisis de Regresión Lineal, entre el rendimiento relativo (%) y la concentración foliar de K (g kg^{-1}) y la relación K:N. Se siguió el criterio de que cuando los porcentajes de rendimiento relativo fueron ≥ 95 % se consideró un estado nutricional satisfactorio, cuando los rendimientos relativos se encontraron entre 65 y < 95 % se consideró deficiente y por debajo de 65 % un estado nutricional muy deficiente. La distribución de los

rendimientos relativos fue similar para K y K:N.

Se aplicó el método de las particiones sucesivas de Waugh y col. (1973) para establecer correlaciones entre el rendimiento relativo (%) obtenido en cada ciclo y los contenidos de K⁺ intercambiable el suelo al finalizar la cosecha. Estas correlaciones se establecieron con todos los tratamientos.

3.6. Análisis económico

Para determinar el beneficio económico de los resultados se calcularon los costos de producción y los beneficios en cuatro de los tratamientos estudiados en los experimentos 2 y 3 (100 % NPK; 100 % FOM; 75 % FOM + BHMA(t); AVIHMA + 50 % FOM) que reflejaron los principales resultados obtenidos e incluyeron los tratamientos en las recomendaciones de fertilización mineral y orgánico-mineral, así como en la recomendación que se realiza a partir de los resultados alcanzados [AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)].

Los rendimientos de cada tratamiento ($t\ ha^{-1}$) se expresaron como valor promedio, teniendo en cuenta que no se presentaron diferencias estadísticas entre estos en ninguno de los ciclos evaluados, ni en el acumulado total. En el anexo 4 se muestra la base de datos empleada en el análisis económico. Los costos de producción (miles CUP ha^{-1}) se calcularon a partir de la carta tecnológica del banano y los precios establecidos de los principales insumos (MINAG, 2002; 2011b), los cuales se muestran en la tabla 10, además se calcularon los ingresos por venta a partir de los rendimientos y el precio de compra de la cosecha (MINAG, 2013) y se estimó la ganancia (miles de CUP ha^{-1}), así como la relación beneficio:costo: (B:C) de cada tratamiento.

Adicionalmente y a partir de las disminuciones encontradas de FOM con relación a las cantidades recomendadas (MINAG, 2011), se estimó el efecto económico asociado con el incremento de nuevas áreas de banano que se pueden beneficiar con la aplicación de los resultados obtenidos.

Tabla 10. Precio de los principales insumos para la producción de banano en las condiciones estudiadas.

Principales insumos	UM	Precio en CUP
Plantas aclimatizadas de banano	planta	1,10
Semilla canavalia	kg	6,30
Compost	t	50,00
Ceniza	t	10,00
KCl	t	454,59
EcoMic	kg	2,50
Urea	t	556,50
SFT	t	783,90
Doblete	L	9,20
Finale	L	10,47
Gliphosate	L	3,99
Gesapax	kg	6,70
Agua	m ³	5,00
Diesel	L	0,70
Energía	kw	0,27

***IV. RESULTADOS
Y
DISCUSIÓN***

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1. Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares y de relaciones suelo:abono orgánico para la aclimatación de plantas de banano obtenidas *in vitro* en suelo Pardo mullido carbonatado

Resultados

4.1.1. Selección de la cepa de HMA más eficiente

El Análisis de Componentes Principales (ACP), mostró que los dos primeros componentes explicaron el 93 y 92 % de la varianza originada por los tratamientos, en cada uno de los años analizados (Tabla 11), por tanto resultó un método estadístico efectivo para explicar los efectos obtenidos de los tratamientos a partir de solo dos componentes.

El componente 1 presentó una alta y positiva participación de todas las variables, con excepción del porcentaje de colonización micorrízica que mostró los valores menores. En el componente 2 con menor peso que el componente 1, solo el porcentaje de colonización micorrízica manifestó una contribución alta e importante. La similar contribución de las variables evaluadas a la formación de los componentes en cada uno de los dos años, indicó una reproducibilidad alta de los resultados.

A partir de lo anterior, en la gráficas resultante del ACP (Figura 1 I; II), se conformaron a priori seis grupos en cada uno de los dos años, los cuales se identificaron con las letras A, B, C, D, E y F y compuestos en ambos casos por los mismos tratamientos, expresión del carácter regular de los resultados, en la tabla 12 se muestran los valores medios de cada variable evaluada en cada uno de los grupos.

Se destacó el grupo A, integrado por los tratamientos inoculados con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) en presencia de las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO, bien fueran con

Tabla 11. Análisis de Componentes Principales. Extracción de la variabilidad total y contribución de las variables a la formación de las componentes principales (C1 y C2) en cada año.

Extracción	Año I (2005)		Año II (2006)	
	Componente			
	C1	C2	C1	C2
Varianza (%)	78	15	77	15
Varianza acumulada (%)	93		92	
Matriz de componentes				
Masa seca (g por planta)	0,94	-0,22	0,95	-0,20
Concentración de N (g kg ⁻¹)	0,92	-0,15	0,92	-0,16
Extracción de N (mg por planta)	0,96	-0,20	0,96	-0,18
Concentración de P (g kg ⁻¹)	0,73	0,66	0,71	0,67
Extracción de P (mg por planta)	0,97	0,14	0,97	0,16
Concentración de K (g kg ⁻¹)	0,97	-0,16	0,96	-0,17
Extracción de K (mg por planta)	0,95	-0,19	0,96	-0,17
Altura (cm)	0,91	0,30	0,90	0,30
Área foliar (cm ²)	0,91	-0,09	0,91	-0,10
Supervivencia (%)	0,86	-0,36	0,84	-0,43
Colonización (%)	0,42	0,89	0,42	0,88

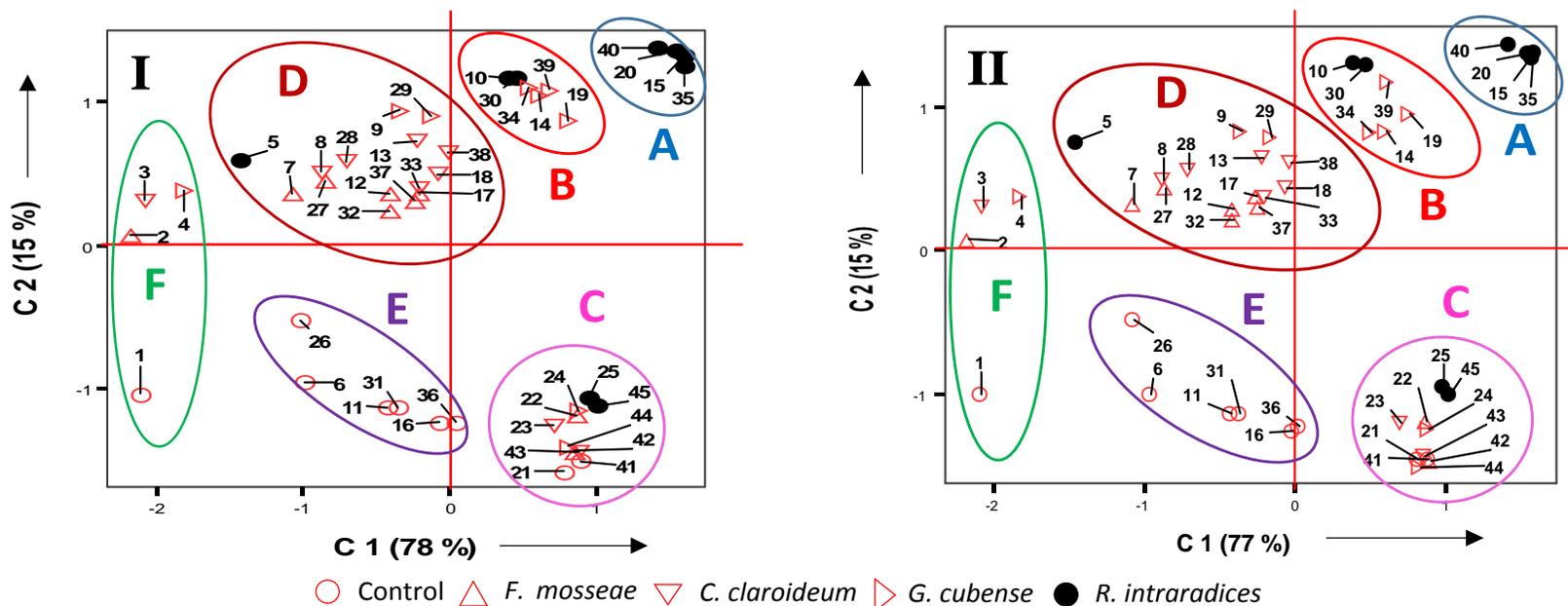


Figura 1. Diagramas de dispersión en los dos primeros componentes principales para la fase de aclimatación del banano cv. 'FHIA-18' en ambos años. I = 2005 y II = 2006.

Leyenda: S = suelo; C = compost; H = humus. El ordenamiento de los niveles del factor cepa en cualquier combinación tipo de AO por relación S:AO fue siempre: control, *F. mosseae*, *C. claroideum*, *G. cubense* y *R. intraradices*.

Los tratamientos se numeraron como sigue: 100 % S (1, 2, 3, 4 y 5); 3:1 S:C (6, 7, 8, 9 y 10); 1:1 S:C (11, 12, 13, 14 y 15); 1:3 S:C (16, 17, 18, 19 y 20); 100 % C (21, 22, 23, 24 y 25); 3:1 S:H (26, 27, 28, 29 y 30); 1:1 S:H (31, 32, 33, 34 y 35); 1:3 S:H (36, 37, 38, 39 y 40); 100 % H (41, 42, 43, 44 y 45).

Composición del grupo:

A = *R. intraradices* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

B = *R. intraradices* en la relación 3:1 y *G. cubense* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

C = Tratamientos sin inocular y *R. intraradices*, *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % AO

D = *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en. Las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO y *R. intraradices* en 100 % S

E = Tratamientos sin inocular en las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO

F = Tratamientos sin inocular y *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % S

Tabla 12. Valores medios de cada variable evaluada en los diferentes grupos que se conformaron a priori en ambos años.

Año	Grupo	MS	Concentración			Extracción			Colonización	Altura	AF	Supervivencia
			N	P	K	N	P	K				
		(g por planta)	(g kg ⁻¹)			(mg por planta)			(%)	(cm)	(cm ²)	(%)
I (2005)	A	6,51	31,34	3,11	32,54	204,11	20,20	211,97	63,60	17,35	218,15	100,00
	B	5,47	29,61	2,85	30,58	161,71	15,55	166,91	58,63	16,17	191,73	77,33
	C	5,22	29,20	2,12	29,89	152,38	11,09	155,96	7,98	12,88	178,76	79,20
	D	3,71	28,27	2,57	28,30	105,19	9,58	105,26	48,77	13,36	175,76	61,07
	E	3,24	26,39	2,07	26,99	85,86	6,72	87,79	9,07	12,00	172,00	62,67
	F	2,45	22,95	2,12	23,80	56,46	5,23	58,67	35,40	10,50	116,55	28,00
II (2006)	A	6,35	31,32	2,94	32,44	198,89	18,66	206,07	62,55	16,99	212,20	100,00
	B	5,27	29,47	2,73	30,38	155,34	14,32	159,88	56,97	14,77	186,10	76,00
	C	5,02	29,17	2,01	29,76	146,24	10,08	149,18	6,56	11,25	173,10	80,40
	D	3,58	28,24	2,46	28,18	101,50	8,82	101,18	46,79	11,49	170,12	57,07
	E	3,14	26,36	1,97	26,87	83,00	6,17	84,55	7,63	10,00	166,40	59,33
	F	2,38	22,92	2,02	23,69	54,75	4,86	56,69	33,50	8,50	111,00	24,00

Composición del grupo:

A = *R. intraradices* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

B = *R. intraradices* en la relación 3:1 y *G. cubense* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

C = Tratamientos sin inocular y *R. intraradices*, *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % AO

D = *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en. Las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO y *R. intraradices* en 100 % S

E = Tratamientos sin inocular en las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO

F = Tratamientos sin inocular y *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % S

uno u otro tipo de abono orgánico, que presentaron siempre los valores máximos en los dos componentes, e indicando de acuerdo a la participación de las variables en los dos componentes (Tabla 11), que las plantas más vigorosas y altas con mayores contenidos nutricionales, mostraron también un funcionamiento micorrízico y una supervivencia superior. Cercano al grupo A, pero con un comportamiento inferior, y con valores positivos en ambos componentes, se encuentra el grupo B que incluyó los tratamientos inoculados con la cepa de *R. intraradices* en la relación 3:1 de S:AO y los inoculados con la cepa de *G. cubense* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO.

La inoculación con la cepa de *G. cubense* en las relaciones de S:AO, mostró también un comportamiento beneficioso en las plantas de banano, aunque con valores inferiores en ambos componentes al que presentó *R. intraradices* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO, lo que indicó crecimientos, contenidos nutricionales y porcentajes de colonización micorrízica menores que los obtenidos con *R. intraradices* en esas combinaciones S:AO.

Por otra parte, se halla el grupo C, ubicado en el cuadrante inferior de la derecha con valores positivos del componente 1 y negativos del componente 2. Este grupo está compuesto por los tratamientos en la relación del 100 % AO con cualquiera de los dos tipos de abono orgánico, incluyendo tanto los inoculados, con todas las cepas evaluadas, como los sin inocular. El conjunto presentó los valores menores del componente 2, lo cual está asociado a un funcionamiento micorrízico bajo, a la vez presentó valores intermedios del componente 1 posiblemente relacionados con el hecho de que los tratamientos compuestos por el 100 % AO, se corresponden con la recomendación del Instructivo del Plátano (MINAG, 2012) para aclimatar las plantas, en ausencia de la inoculación.

El grupo D se ubicó en el cuadrante superior de la izquierda con valores negativos del

componente 1 y positivos del componente 2. En el mismo se encuentran los tratamientos inoculados con las cepas de *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO, con uno u otro tipo de abono orgánico y el inoculado con la cepa de *R. intraradices* en la relación del 100 % S.

Los tratamientos sin inocular en las relaciones 3:1, 1:1 y 1:3 de S:AO que conforman el grupo E, se ubicaron en el cuadrante inferior de la izquierda con valores negativos en ambos componentes.

Por último, el grupo F que presentó los valores menores del componente 1 y valores bajos del componente 2. Este grupo lo conformaron los tratamientos que no recibieron abono orgánico (100 % S) incluyendo los inoculados y los no inoculados, con excepción del tratamiento inoculado con la cepa de *R. intraradices* que presentó siempre un comportamiento mejor en ambos componentes y se incluyó en el grupo D.

El Factorial Discriminante (FD) permitió verificar la precisión del agrupamiento realizado a priori (Figura 2 I; II). Se encontró que en cada uno de los años con solo dos funciones se explicó el 88 y 90 % de las diferencias entre grupos, respectivamente.

Con la primera función se establecieron relaciones altas con casi todas las variables con excepción del porcentaje de colonización, con la segunda función el porcentaje de colonización presentó una relación alta y las demás variables presentaron relaciones bajas. La concentración de fósforo presentó valores medios con ambas funciones, aunque mejores en la función 2 (Tabla 13). Este comportamiento fue similar al que se encontró en el ACP. La representación gráfica del mostró una reproducibilidad en ambos años, lo cual también se encontró con los ACP.

El ANOVA realizado a las puntuaciones discriminantes de la función 1 para los diferentes grupos, presentó diferencias significativas ($p < 0,01$) entre éstos, en los dos años (Tabla 14),

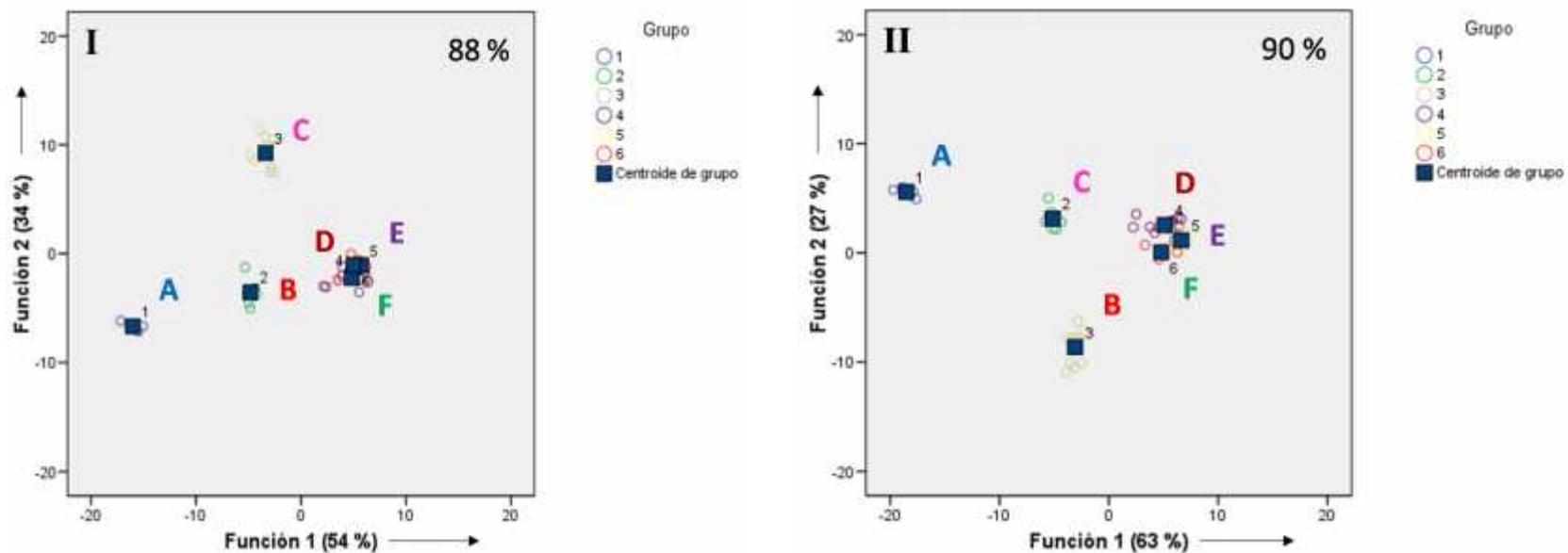


Figura 2. Factorial Discriminante en base a las dos primeras funciones discriminantes para la fase de aclimatación del banano cv. 'FHIA-18' en ambos años. I = 2005 y II = 2006.

Composición del grupo:

A = *R. intraradices* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

B = *R. intraradices* en la relación 3:1 y *G. cubense* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

C = Tratamientos sin inocular y *R. intraradices*, *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % AO

D = *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en. Las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO y *R. intraradices* en 100 % S

E = Tratamientos sin inocular en las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO

F = Tratamientos sin inocular y *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % S

Tabla 13. Factorial Discriminante. Matriz de correlación entre las funciones discriminantes (F1 y F2) y las variables evaluadas, en ambos años.

Concepto	Año I (2005)		Año II (2006)	
	Función			
	F1	F2	F1	F2
Diferencias (%)	54	34	63	27
Diferencias entre grupos (%)	88		90	
Matriz de correlación				
Variable				
Masa seca (g por planta)	-0,92	0,13	-0,91	-0,14
Concentración de N (g kg ⁻¹)	-0,66	0,02	-0,64	-0,01
Extracción de N (mg por planta)	-0,92	0,09	-0,90	-0,10
Concentración de P (g kg ⁻¹)	-0,51	-0,69	-0,51	0,69
Extracción de P (mg por planta)	-0,90	-0,25	-0,90	0,24
Concentración de K (g kg ⁻¹)	-0,78	0,02	-0,76	-0,02
Extracción de K (mg por planta)	-0,93	0,08	-0,92	-0,09
Altura (cm)	-0,74	-0,43	-0,80	0,37
Área foliar (cm ²)	-0,66	-0,17	-0,64	0,19
Supervivencia (%)	-0,70	0,11	-0,67	-0,20
Colonización (%)	-0,22	-0,77	-0,28	0,77

Tabla 14. Resultados del ANOVA a las puntuaciones discriminantes de los grupos para la función 1 en ambos años.

Grupo	Año I (2005)	Año II (2006)
	Función 1	
A	-16,02 a	-18,53 a
B	-4,82 b	-5,15 b
C	-3,37 c	-3,09 c
D	4,82 c	5,13 de
E	5,73 d	6,63 e
F	5,00 d	4,80 d
$S_{\bar{x}} =$	0,16**	0,16**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias ($p = 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Composición del grupo:

A = *R. intraradices* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

B = *R. intraradices* en la relación 3:1 y *G. cubense* en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO

C = Tratamientos sin inocular y *R. intraradices*, *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % AO

D = *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en. Las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO y *R. intraradices* en 100 % S

E = Tratamientos sin inocular en las relaciones 3:1, 1:1; 1:3 de S:AO

F = Tratamientos sin inocular y *G. cubense*, *C. claroideum* y *F. mosseae* en 100 % S

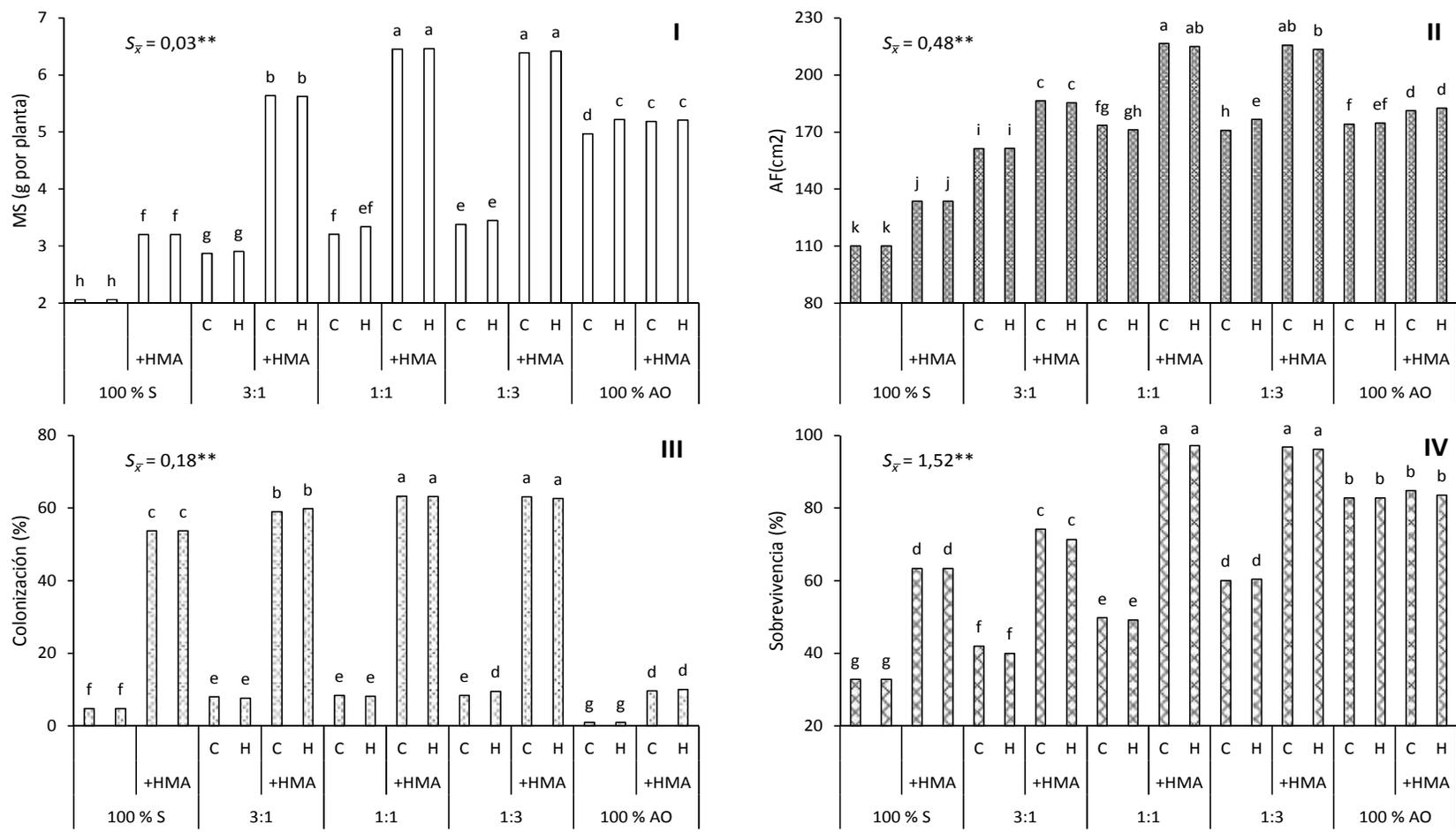
estableciendo el comportamiento siempre superior del grupo A, conformado por los tratamientos que recibieron la inoculación con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) en presencia de las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO y para ambos tipos de abono orgánico estudiadas. Del análisis conjunto de esta información se estableció que los tratamientos mejores estuvieron siempre asociados con la inoculación de la cepa de *R. intraradices* y por tanto se comportó como la cepa más eficiente en las condiciones estudiadas para el banano, aunque sus efectos fueron dependiente de la relación S:AO. En el acápite siguiente (4.1.2.) se detalla para cada variable como influyeron las relaciones de S:AO en la efectividad de la simbiosis micorrízica arbuscular pero solo en función de la inoculación con *R. intraradices* (INCAM-11).

4.1.2. Influencia de los tipos de abono orgánico y relaciones suelo:abono orgánico en la efectividad de la inoculación con la cepa eficiente de HMA

El análisis factorial para las diferentes variables, incluyendo los años como un factor, mostró que este último factor no fue significativo y estuvo asociado con la alta reproducibilidad encontrada, por lo que se presentan los resultados de la interacción de máximo orden que fuera significativa, que en este caso fue la de tercer orden: cepas x tipo de AO x relaciones (Anexo 5).

Se encontró un efecto significativo ($p = 0,01$) de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11), en el comportamiento de las diferentes variables estudiadas (Figuras 3 y 4). De forma tal que con su aplicación, en presencia de las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO respectivamente, se obtuvieron siempre los valores mayores tanto de las variables relacionadas con el crecimiento, el porcentaje de colonización micorrízica y el estado nutricional (g kg⁻¹ de N, P y K) con diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

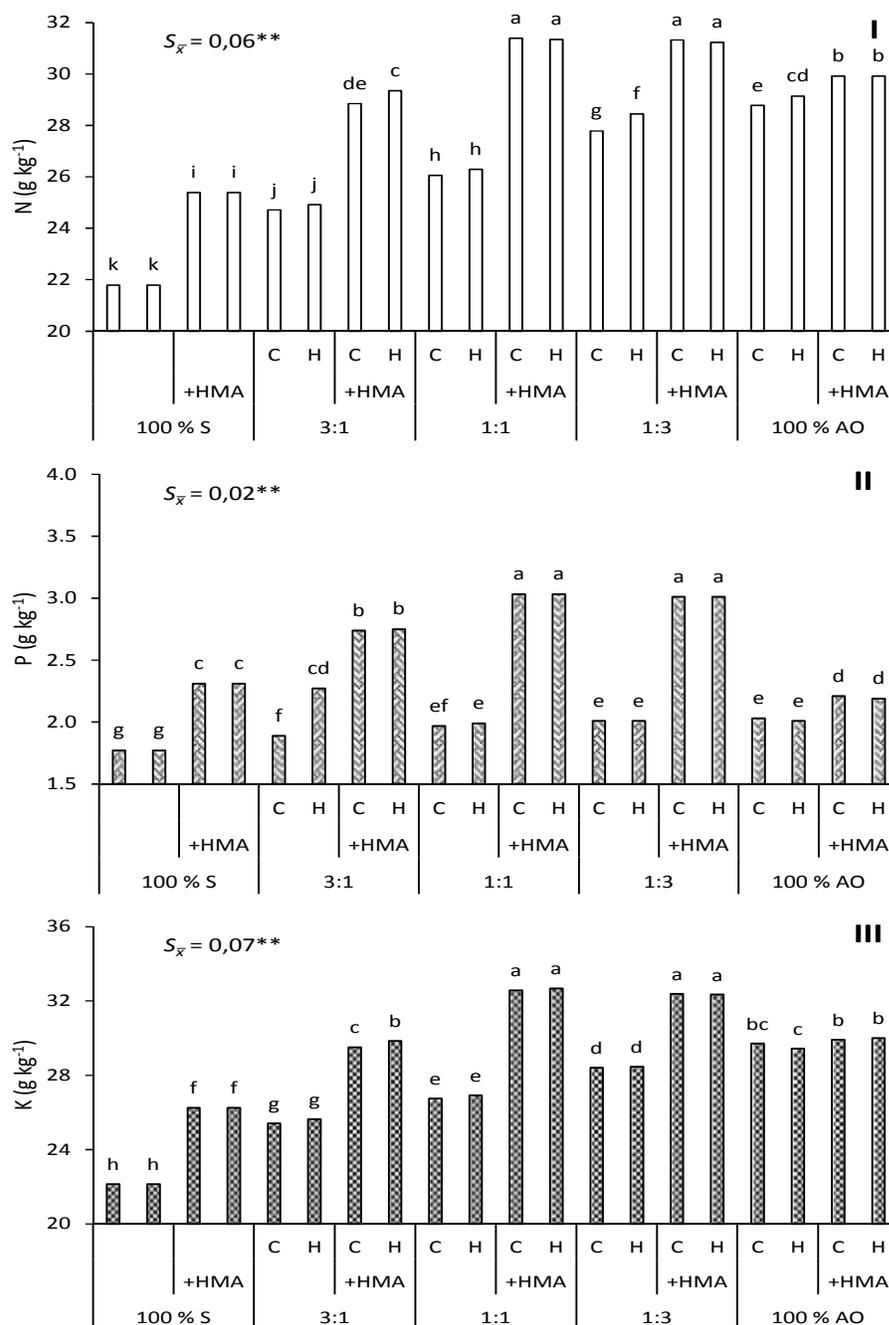
El efecto significativo de la inoculación se observó también en el tratamiento que solo estaba compuesto por el suelo (100 % S) pero no se manifestó o fue poco importante en los



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias (p 0,01) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 3. Influencia de los tipos de AO y las relaciones de S:AO en la efectividad de *R. intraradices* (INCAM-11) en la aclimatación de plantas de banano cv. 'FHIA-18' a los 60 días del trasplante. (I) Masa seca (g por planta); (II) Área foliar (cm²); (III) Porcentaje de colonización micorrízica total y (IV) Supervivencia (%).

Leyenda: inoculados (+HMA); tipos de abonos orgánicos (compost: C y humus: H) y relaciones S:AO (100 % S, 3:1, 1:1, 1:3 y 100 % AO).



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 4. Influencia de los tipos de AO y las relaciones S:AO en la efectividad de *R. intraradices* (INCAM-11) en la aclimatación de plantas de banano cv. 'FHIA-18'. (I) Concentración de N; (II) Concentración de P y (III) Concentración de K en tejido aéreo, a los 60 días de la aclimatación.

Leyenda: inoculados (+HMA); tipos de abonos orgánicos (compost: C y humus: H) y relaciones S:AO (100 % S, 3:1, 1:1, 1:3 y 100 % AO).

tratamientos en que la relación S:AO solo estaba compuesta por 100 % AO.

Los tratamientos inoculados en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO originaron plantas más vigorosas y con contenidos de nutrientes mayores que el tratamiento utilizado actualmente en condiciones de producción, 100 % AO (Figuras 3 y 4).

Desde el punto de vista de los contenidos nutricionales, si bien se encontró un efecto significativo a la inoculación micorrízica en cualquiera de los tres nutrientes, los mayores efectos se encontraron en los contenidos de fósforo.

En los tratamientos no inoculados se encontró una respuesta significativa a la aplicación creciente del abono orgánico, con diferencias significativas entre los valores obtenidos en las diferentes relaciones de S:AO, más evidentes en la masa seca, el área foliar, el porcentaje de supervivencia y la concentración de N y K e indicativo de que en ausencia de la inoculación, las plantas requieren cantidades de abono orgánico altas (MINAG, 2012).

En relación con el porcentaje de colonización micorrízica la inoculación con la cepa eficiente de HMA, aún en ausencia de abono orgánico (100 % S), originó valores relativamente altos de colonización micorrízica, aunque menores que los encontrados en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO, dejando claro que esta variable si bien fue muy dependiente de la inoculación se necesita un suministro de nutrientes para obtener los mayores porcentajes de colonización.

En presencia del 100 % AO los porcentajes de colonización micorrízica fueron muy bajos y casi similares a los encontrados en el tratamiento de 100 % S no inoculado. Esta variable, si bien reflejó el efecto de la inoculación, presentó un comportamiento diferente al resto de las variables.

Si bien con los tratamientos inoculados en las relaciones 1:1 y 1:3 de S:AO se encontraron en las variables evaluadas, valores absolutos similares sin diferencias significativas entre estos.

Se encontró el mayor índice de eficiencia simbiótica (Tabla 15) en los tratamientos inoculados con la cepa de *R. intraradices* en las relación 1:1 de S:AO.

Lo anterior se manifiesta en que los IE simbiótica calculados en relación a los tratamientos homólogos respectivos no inoculados, presentaron diferencias significativas ($p = 0,05$) a favor de la relación 1:1 de S:AO en las variables: MS, N y K, respectivamente. Esta situación se presentó tanto en presencia de compost como de humus.

Como la relación 1:1 de S:AO además requirió de una cantidad menor de AO, resulta más económica. Los dos tipos de abonos orgánicos presentaron un comportamiento muy similar, sin diferencias significativas.

Discusión

Si bien la inoculación de cepas de HMA como vía para obtener una simbiosis micorrízica arbuscular efectiva en los agroecosistemas presenta un reconocimiento creciente (Rivera y col., 2007; Baar, 2008; Pellegrino y col., 2011; Verbruggen y col., 2012; Yang y col., 2014), no abundan en la actualidad los resultados publicados internacionalmente al respecto.

Entre las diversas causas se encuentran la carencia de inoculantes efectivos que se apliquen en bajas dosis (Verbruggen y col., 2012), la no comprensión del papel que desempeñan las propiedades del suelo como factor determinante en la conducta de las cepas de HMA (Rivera y Fernández, 2003; Hamel y Strullu, 2006; Baar, 2008; Herrera y col., 2010; Oehl y col., 2010; Santos y col., 2011) y la necesidad de incrementar el conocimiento público sobre la importancia de las micorrizas en la sostenibilidad del agroecosistema (Gianinazzi y Vosatka, 2004).

Los resultados mostraron que la inoculación con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) originó los efectos mayores en: el crecimiento, el estado nutricional, los porcentajes de

Tabla 15. Índices de eficiencia simbiótica (IE %) para diferentes variables, producto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* en las relaciones suelo:compost y suelo:humus de 1:1 y 1:3.

Relación	MS	N	P	K	Altura	AF
	(%)					
Suelo:Compost (1:1)	102±6,50	20±0,52	54±1,91	22±0,78	58±7,45	25±0,87
Suelo:Compost (1:3)	89±1,36	13±0,74	50±3,01	14±0,76	61±9,79	26±0,86
Suelo:Humus (1:1)	94±4,41	19±0,47	52±2,68	21±0,67	53±7,23	26±1,21
Suelo:Humus (1:3)	86±3,12	10±0,82	50±2,85	14±1,13	57±9,36	21±0,74

$Z_{1-\alpha} * S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1-\alpha = 0,05$), siendo $Z_{1-\alpha} = 1,96$.

Leyenda: MS = masa seca; AF = área foliar.

colonización micorrízica total y de supervivencia de las plantas de banano durante la fase de aclimatación.

Con la aplicación de esta cepa en las relaciones de S:AO de 1:1 y 1:3 se obtuvieron porcentajes de colonización micorrízica total superiores al 60 %, los cuales en muchos cultivos han sido indicativos de un funcionamiento micorrízico efectivo (Fernández, 1999; Ruiz, 2001; González y col., 2008; Rivera y col., 2010; Sánchez y col., 2011; González, 2014).

Los resultados corroboran no solo la dependencia micorrízica del banano (Jaizme-Vega y col., 2002; Jaizme-Vega y Rodríguez, 2004), sino también que la inoculación con la cepa eficiente de HMA en esta etapa del cultivo y en las relaciones de S:AO adecuadas para una micorrización óptima, mejora la tecnología actual de aclimatación de las plantas micropropagadas (MINAG, 2012), al obtenerse plantas más vigorosas y con porcentajes de supervivencia mayores que al crecer solo en presencia de abono orgánico (100 % AO).

La inoculación con una cepa eficiente de HMA para la condición de suelo, no es el único factor que gobierna la efectividad de la aplicación, siendo el suministro de nutrimentos otro de los factores más importantes.

Un funcionamiento micorrízico óptimo requiere de un suministro adecuado de nutrimentos, un abastecimiento menor limitan la micorrización y superior la inhiben (Ruiz, 2001; Rivera y col., 2007; González y col., 2014) y si bien de forma general estas relaciones de efectividad y disponibilidad de nutrimentos han sido más comúnmente establecidas con fertilizantes minerales (Siqueira y Franco, 1988; Ruiz, 2001; Rivera y col., 2007, González, 2014), en los trabajos realizados en cafetos (Fernández, 1999; Sánchez, 2001; Rivera y col., 2010) se utilizaron los abonos orgánicos como fuentes de nutrimentos.

En trabajos realizados en la fase de obtención de posturas de cafetos (Sánchez, 2001), se

obtuvieron resultados similares en cuanto a que las plantas requirieron de un suministro óptimo de abono orgánico para lograr una micorrización efectiva, el cual fue menor que el comúnmente recomendado para posturas no inoculadas (S:AO de 3:1). Las mejores relaciones de S:AO para la micorrización del café oscilaron entre 5:1 y 7:1 dependientes del tipo de suelo y posiblemente de la fertilidad química asociada (Rivera y Fernández, 2003). Suministros de nutrientes inferiores, en forma de abono orgánico, no permitieron un funcionamiento micorrízico adecuado y cantidades superiores lo inhibieron.

En los experimentos con banano, los efectos mayores y beneficiosos de la inoculación se encontraron con cantidades superiores de abonos orgánicos, siendo presumiblemente una consecuencia de un ritmo mayor de crecimiento del banano, el hecho de que las relaciones de S:AO óptimas encontradas en el presente trabajo (1:1 y 1:3 de S:AO) contengan cantidades mayores de AO que las obtenidas en café.

Es decir, la influencia de la disponibilidad de nutrientes en la efectividad de una cepa eficiente y en su funcionamiento, no es independiente del cultivo micorrizado y de sus necesidades nutricionales.

Los tratamientos inoculados o no, que dependieron solo de la fertilidad del suelo (100 % S) y de relaciones con cantidades menores de abono orgánico (3:1 de S:AO), no garantizaron un suministro adecuado de nutrientes, lo que conllevó a porcentajes de colonización micorrízica inferiores, concentraciones nutricionales menores y crecimiento inadecuado en las plantas de banano.

En el caso de los tratamientos que solo recibieron abono orgánico (100 % AO), la disminución del efecto de la inoculación parece estar relacionada, como previamente se ha informado, con una inhibición de la micorrización en presencia de una disponibilidad alta de nutrientes

(Siqueira y Franco, 1988; Ruiz, 2001; González, 2014).

Es de destacar que las aplicaciones crecientes de abono orgánico no cambiaron la conducta respectiva de las cepas de HMA y de esta forma *R. intraradices* presentó un comportamiento superior a las restantes cepas en cualquier relación de S:AO, con excepción de la alcanzada en los tratamientos con 100 % AO en que prácticamente no existió efecto de ninguna de las cepas de HMA.

Lo anterior puede ser una consecuencia de las características de los abonos orgánicos utilizados y del propio suelo, donde las diferentes relaciones de S:AO estudiadas si bien difirieron en los contenidos de nutrimentos, mantuvieron valores de pH similares y siempre superiores a 7 (Tabla 6).

Diversos autores señalaron la importancia del pH en el funcionamiento de la simbiosis micorrízica y distribución de las cepas HMA en los agroecosistemas (Siqueira y Franco, 1988; Göranson y col., 2008). En un trabajo resumen de 35 experimentos en que se compararon las mismas cepas de HMA que aquí se estudiaron, pero en diversos cultivos y suelos (Rivera y col., 2015), se obtuvieron relaciones altas ($R^2 = 0,97$) entre la efectividad de las cepas de HMA inoculadas y el pH del suelo. Estos autores informaron que el pH parece ser una de las propiedades fundamentales que determinan el cambio de efectividad de las cepas inoculadas al pasar de un ambiente edáfico a otro.

Lo anterior explicaría ¿por qué? en las diferentes relaciones de S:AO, *R. intraradices* (INCAM-11) presentó efectos mayores que las restantes cepas y por tanto los resultados obtenidos en estas condiciones fueron similares a los logrados en diferentes experimentos y cultivos en suelo Pardo mullido carbonatado (pH 7), en los que siempre *R. intraradices* (INCAM-11) se comporta como la cepa de HMA más eficiente (Ruíz, 2001; González, 2014),

con resultados significativamente superiores a los obtenidos cuando se inocularon otras cepas de HMA.

El comportamiento de los tratamientos no inoculados y que recibieron cantidades altas de abonos orgánicos (100 % AO), en los que se obtuvieron crecimientos intermedios con porcentajes de colonización micorrízica muy bajos, así como los inoculados en presencia de 100 % S que presentaron valores relativamente importantes de porcentajes de colonización micorrízica con valores bajos de crecimiento y concentraciones de nutrimentos, explica la necesidad de un segundo componente en el ACP, asociado en lo fundamental con el porcentaje de colonización para explicar la variabilidad originada por los tratamientos. Esta misma situación explica la relación entre las variables y las funciones en el AD.

Con independencia de la conducta superior de *R. intraradices*, la cepa de *G. cubense* también presentó un comportamiento positivo, con una respuesta similar de su efectividad con las relaciones S:AO y su inoculación originó plantas vigorosas y superiores a los controles no inoculados.

El resto de las cepas presentaron siempre un comportamiento inferior al de *R. intraradices* y al de *G. cubense*, con un ordenamiento similar en cuanto a su efectividad al encontrado cuando se compararon estas cepas en diferentes cultivos y con otras fuentes de suministro de nutrimentos pero en el mismo suelo (González y col., 2008; Rivera y col, 2012a; Tamayo, 2014). Lo que ratifica el criterio de especificidad cepa de HMA por tipo de suelo antes que especificidad cepa de HMA por cultivo.

Los resultados de este trabajo responden además al criterio de baja especificidad de la cepa eficiente de HMA con los cultivos (Rivera y col., 2007), al ampliar con el banano los que cumplen esta regularidad bajo las condiciones de estudio.

El hecho de mostrarse el mismo efecto diferenciado entre las cepas de HMA en los tratamientos que no recibieron ninguna cantidad de abono orgánico (100 % S) y aún cuando el suministro insuficiente de nutrimentos no permitió un funcionamiento micorrízico efectivo, explica porque algunos protocolos de comparación de cepas de HMA con cultivos no fertilizados en suelos Pardo mullido carbonatado y Ferralítico Rojos (Ruiz, 2001) fueron exitosos y por tanto no es imprescindible garantizar las aplicaciones adecuadas de nutrimentos para estos estudios de selección y comparación de cepas de HMA.

Si bien la inoculación incrementó significativamente las concentraciones de los tres macronutrientes en las plantas, los aumentos mayores se encontraron en el nutriente P y posiblemente asociado con los beneficios directos de una micorrización efectiva en la absorción de este elemento (Smith y Smith, 2011).

Sánchez y col. (2000) encontraron que la aplicación de cepas eficientes de HMA produjo incrementos significativos en el crecimiento, masas seca, área foliar, porcentaje de colonización micorrízica y extracción de macronutrientes de las posturas de café en tres tipos de suelos; sin embargo, no se encontraron efectos en las concentraciones de los macronutrientes en la parte aérea.

Por su parte, Fernández (1999) en diferentes suelos que Sánchez (2001) encontró que la aplicación de cepas eficientes de HMA produjo incrementos significativos y similares en la absorción de N, P y K en las posturas de café, no indicando preferencia de los HMA por un elemento u otro.

Abundan los reportes que relacionan los efectos beneficiosos de las micorizas arbusculares con respecto a la absorción y translocación de los nutrimentos hacia las plantas, a través de las hifas de los HMA; y que mejoran la nutrición fosfórica de los cultivos (Karandashov y

Bucher, 2005; Smith y Smith, 2011), pero también con incrementos directos en la absorción de N (George, 2000; Hodge y col., 2001; Ruíz, 2001; Govindarajulu y col., 2005; González, 2014) y en la absorción de K (Ruiz, 2001; Fernández y col., 2010; González, 2014).

Rivera y col. (2007), al integrar los resultados de un grupo de experimentos, indicaron que más que presentar una compatibilidad o selectividad por uno u otro elemento, las micorrizas arbusculares parecen ser un mecanismo que incrementa diferenciadamente la absorción de los macronutrientes en base a las necesidades de las plantas y la disponibilidad de estos en el suelo. Más recientemente, Hodge y Storer (2015) señalaron que puede existir una necesidad diferenciada en base a la demanda nutricional de la propia cepa de HMA inoculada.

En el caso específico del efecto de las micorrizas arbusculares en presencia de abonos orgánicos y residuos vegetales, actualmente se reconoce la intensificación de la mineralización de los restos orgánicos por la presencia de las micorrizas en el sistema suelo-planta y una absorción preferencial por la red de hifas micorrízicas (Hodge y col., 2001; Yang y col., 2014), asociándose además con la proliferación de las hifas en los residuos (Hodge y Fitter, 2010) y la interacción positiva con otros microorganismos del suelo que descomponen los restos orgánicos (Hodge y Storer, 2015).

Todos estos mecanismos de una u otra forma favorecen el aumento de la capacidad de absorción y disponibilidad de los nutrientes, originalmente en formas orgánicas, por acción de la micorrización.

Los porcentajes de colonización micorrízica bajos (< 5 %) en los tratamientos no inoculados (Figura 3 III) parecen estar en correspondencia con la cantidad baja de esporas residentes de HMA (Tabla 4) y posiblemente asociado con varias causas, tales como: el mantenimiento de los suelos limpios de vegetación durante los periodos previos al montaje de los experimentos,

la fertilización y la no aplicación anterior de inoculantes micorrízicos.

Resultados similares de cantidades bajas de esporas residentes de HMA se encontraron en trabajos de Ruiz y col. (2010) en este tipo de suelo, con precedentes de raíces y tubérculos tropicales, que se mantuvieron limpios de vegetación entre los cultivos y recibieron fertilizaciones altas y sistemáticas.

Si bien la presencia de cantidades bajas de esporas residentes en el suelo que se utilizó para conformar las relaciones S:AO fue una situación que permitió la efectividad de la inoculación, para que se encuentre respuesta positiva a la inoculación con la cepa de *R. intraradices* no siempre serán imprescindibles estos valores bajos, ya que en suelos similares, González (2014) encontró respuesta a la inoculación con esta cepa hasta con poblaciones residentes muy superiores (400 esporas 50 g^{-1} de suelo) a las presentes en estos experimentos y posiblemente relacionado con una efectividad baja de las cepas residentes.

Por otra parte, aunque en condiciones diferentes y con otras cepas de HMA, Martín (2009) encontró respuesta del maíz a la inoculación con la cepa de *G. cubense* (INCAM-4) en suelos Ferralíticos Rojos, hasta con poblaciones residentes de 900 a 1 000 esporas 50 g^{-1} de suelo.

Estos resultados y la propia información existente respaldan las posibilidades de la inoculación de cepas eficientes para obtener efectos positivos y reproducibles y de esta forma poder aprovechar las potencialidades de la simbiosis micorrízica arbuscular en la producción agrícola.

La no existencia de diferencias entre los dos tipos de abonos orgánicos (compost y humus) utilizados parece ser consecuencia de las similares características químicas y de pH de estos, presentes no solo en ellos, sino en cada una de las diferentes combinaciones de S:AO, en las cuales la variación se originó por las relaciones S:AO, pero no por el tipo de abono orgánico.

4.2. Experimento 2. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, la canavalia y el suministro de nutrimentos en plantaciones de banano

Para facilitar la comprensión e interpretación de los efectos de la inoculación de la cepa eficiente de HMA y los abonos verdes en las dosis de los fertilizantes minerales y orgánico-minerales del banano y a partir de los resultados del análisis estadístico del rendimiento con todos los tratamientos, estos se han subdividido en dos tópicos: (1) efectos de la inoculación micorrízica en la fertilización mineral y orgánico-mineral; (2) efectos del manejo integrado de inoculantes micorrízicos y abonos verdes en la fertilización orgánico-mineral.

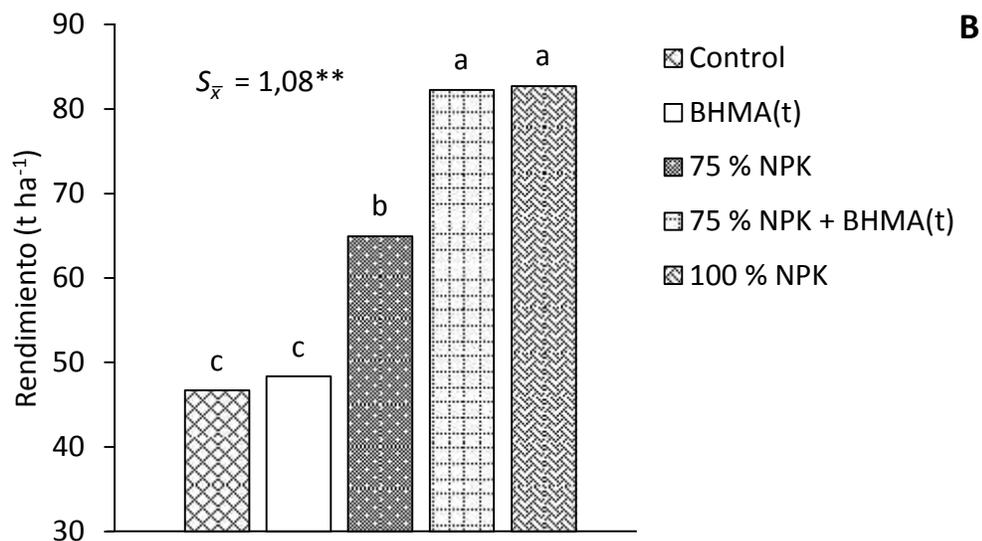
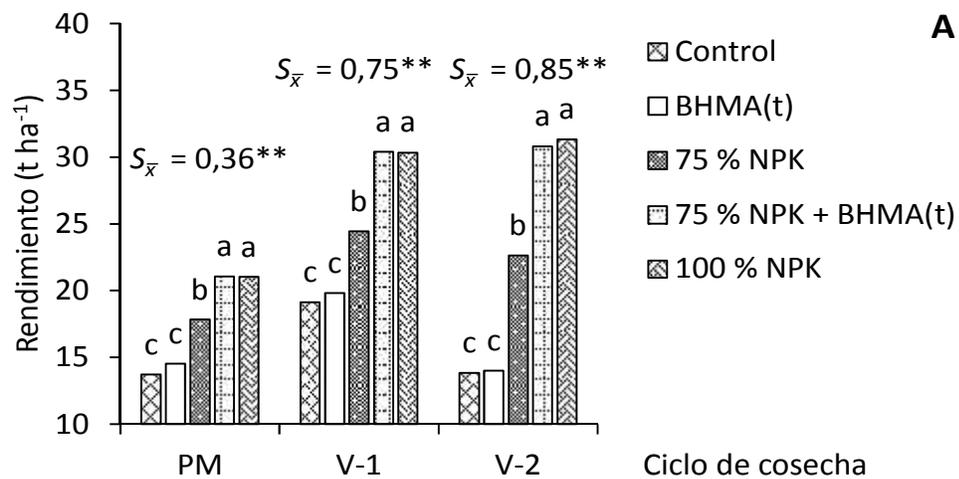
4.2.1. Efecto de la inoculación con una cepa eficiente de HMA en las dosis de fertilizantes minerales y orgánico-minerales del banano

- **Rendimiento agrícola**

Se encontró una respuesta positiva en el rendimiento a la fertilización mineral (Figura 5 A; B), con diferencias significativas ($p < 0,01$) entre cada uno de los niveles de fertilización estudiados y obteniéndose los rendimientos mayores con la dosis recomendada (100 % NPK) para obtener rendimientos altos en el cultivo. Estos efectos se encontraron en todos los ciclos productivos y en el rendimiento acumulado.

En relación con la aplicación combinada de HMA y el fertilizante mineral se encontró, en cualquiera de los ciclos y en el acumulado, un efecto positivo y significativo de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* y la dosis del 75 % de NPK, alcanzándose rendimientos superiores a los obtenidos solo con la aplicación del 75 % de la dosis de NPK y similares a los logrados con la aplicación de la dosis máxima de fertilizante mineral (100 % NPK).

El tratamiento inoculado pero que no recibió ninguna aplicación de fertilizante, no presentó diferencias en el rendimiento en ninguno de los ciclos, en comparación con el tratamiento



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 5. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* y la fertilización mineral (NPK) en cada ciclo productivo en el rendimiento (A) y el rendimiento acumulado (B) del banano cv. 'FHIA-18' en suelo Pardo mullido carbonatado.

Leyenda: Ciclos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo de N y de K_2O respectivamente y 38 g por plantón de P_2O_5 solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a).

control sin fertilización y asimismo presentó rendimientos inferiores al que se inoculó y complementó con el 75 % de la fertilización mineral.

De forma similar se encontró una respuesta significativa y creciente a la aplicación de las diferentes dosis de la fertilización orgánico-mineral (Figura 6 A; B) con diferencias entre los rendimientos obtenidos para cada una de ellas en cada uno de los tres ciclos evaluados y en el acumulado.

Con la aplicación de las dosis del 100 % de la FOM se alcanzaron niveles de rendimiento similares a los obtenidos cuando se aplicó la dosis del 100 % NPK, dejando claro la equivalencia de ambas dosis para suministrar los nutrimentos al banano.

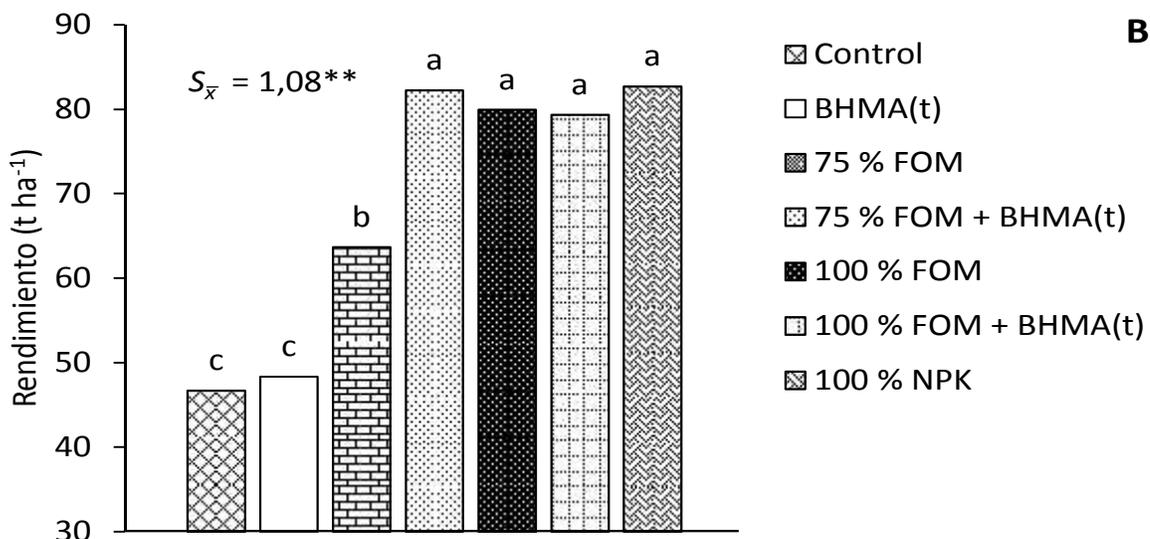
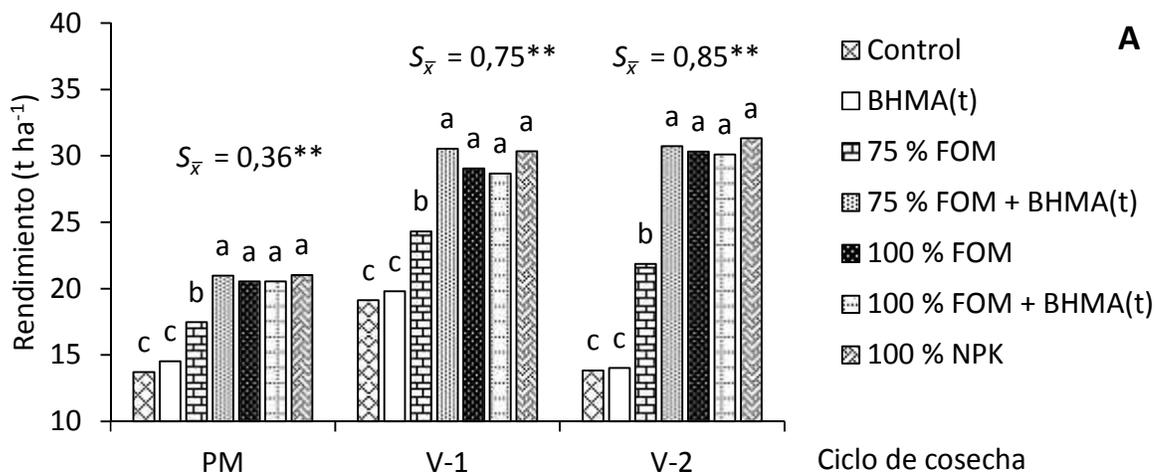
El efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* combinada con la dosis del 75 % de la FOM en los diferentes ciclos, evidenció un efecto positivo y significativo en esta variable, alcanzándose rendimientos mayores que el tratamiento que solo recibió el 75 % de la FOM y sin diferencias con los tratamientos que recibieron las mayores dosis de la fertilización mineral y de la FOM

La aplicación de las dosis superiores de la FOM de conjunto con la inoculación HMA no presentó diferencias significativas en el rendimiento con relación al tratamiento homólogo no inoculado (100 % FOM), ni con el que recibió la dosis superior de fertilizante mineral (100 % NPK).

La comparación de los rendimientos obtenidos por los tratamientos mejores en cada uno de los ciclos productivos (Figura 7), mostró que los rendimientos mayores se obtienen en los vástagos sin diferencias entre ellos y muy superiores (50 %) a los obtenidos en el ciclo de PM.

- **Funcionamiento micorrízico**

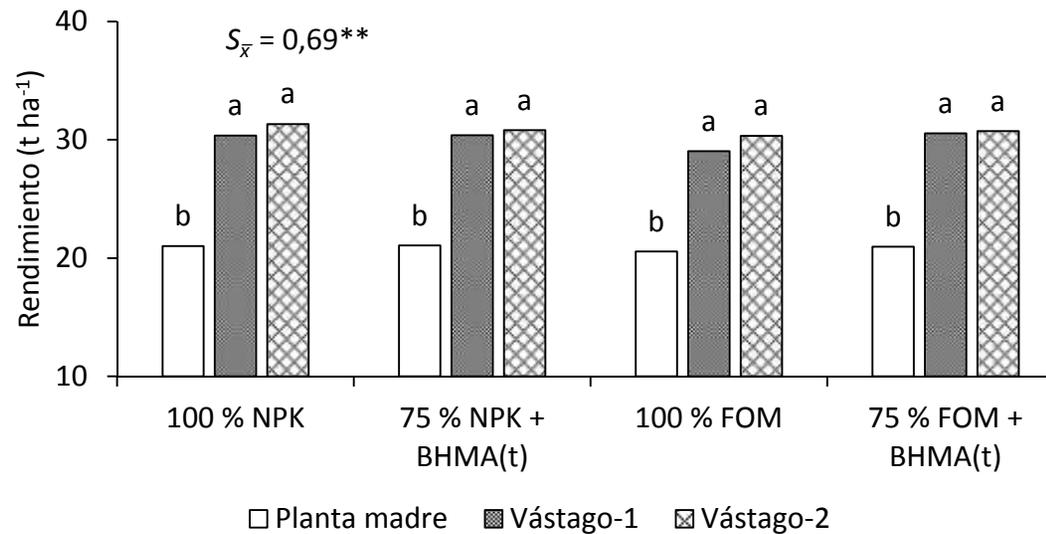
En todos los casos, con la inoculación de la cepa de *R. intraradices* se obtuvieron valores del



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 6. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* y la fertilización orgánico-mineral (FOM) en cada ciclo productivo en el rendimiento (A) y el rendimiento acumulado (B) del banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Leyenda: Ciclos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo de N y de K_2O respectivamente y 38 g por plantón de P_2O_5 solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a). FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 7. Efecto del ciclo de cosecha en el rendimiento de banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado. Tres ciclos de cosecha.

Leyenda: BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo de N y de K₂O respectivamente y 38 g por plantón de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a). FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

porcentaje de colonización micorrízica y del número de esporas en la rizosfera del banano superiores a los que se alcanzaron en los tratamientos sin inocular (Tabla 16).

En los tratamientos inoculados que recibieron cantidades de fertilizantes mineral u orgánico-mineral se alcanzaron los porcentajes de colonización micorrízica mayores, los cuales fueron del orden del 60 y 63 % durante los ciclos de PM y V-1 respectivamente y entre el 56 y 57 % en el ciclo V-2.

El tratamiento inoculado que no recibió adiciones de fertilizantes presentó valores significativamente menores de colonización micorrízica que los anteriores y del orden del 50 %, aunque superiores a los tratamientos no inoculados.

Se encontró de forma similar una respuesta diferenciada de los tratamientos en la producción de esporas con conductas de los tratamientos muy similares a los descritos para el porcentaje de colonización micorrízica, con la excepción de que el tratamiento inoculado que recibió la dosis superior de FOM presentó cantidades de esporas significativamente menores a los inoculados que recibieron las dosis de 75 %, bien fueran como fertilizante mineral u orgánico-mineral, e incluso estas cantidades de esporas no difirieron de las obtenidas con el tratamiento inoculado que no recibió dosis alguna de fertilizantes. Los tratamientos no inoculados presentaron los valores menores de esporas y sin diferencias significativas entre sus contenidos.

- **Concentraciones foliares (N, P, K)**

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los tratamientos para las concentraciones de N y K, en la III^{ra} hoja del banano en floración, en cada uno de los ciclos evaluados (Tabla 17), pero con un comportamiento muy diferente entre ambos elementos.

De forma tal, que las concentraciones mayores de N foliar se hallaron en los tratamientos sin fertilizar y que produjeron los rendimientos menores, mientras las concentraciones menores

Tabla 16. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, la fertilización mineral (NPK) y la fertilización orgánico-mineral (FOM) en cada ciclo productivo en el porcentaje de colonización micorrízica y el número de esporas de HMA en 0-0,20 m de profundidad en plantaciones de banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	Colonización			Conteo de esporas		
	PM	V-1	V-2	PM	V-1	V-2
	(%)			(esporas 50 g ⁻¹ de suelo)		
Control absoluto	13,50 c	16,50 c	9,50 c	47,50 b	38,25 b	31,25 c
BHMA(t)	51,75 b	54,50 b	49,25 b	191,75 ab	259,00 ab	98,75 bc
75 % NPK	13,75 c	15,75 c	10,00 c	53,75 b	32,50 b	35,00 c
75 % NPK + BHMA(t)	61,00 a	63,25 a	56,00 a	353,75 a	458,50 a	292,75 ab
100 % NPK	14,25 c	16,25 c	10,50 c	61,75 b	45,25 b	40,50 c
75 % FOM	12,75 c	15,25 c	10,50 c	54,25 b	50,75 b	47,25 c
75 % FOM + BHMA(t)	61,25 a	63,25 a	57,50 a	365,50 a	424,25 a	332,50 a
100 % FOM	13,75 c	15,75 c	11,50 c	65,75 b	60,00 b	58,25 c
100 % FOM + BHMA(t)	60,00 a	61,75 a	56,75 a	220,25 ab	137,75 b	111,00 bc
$S_x =$	0,66**	0,76**	0,55**	45,08**	45,47**	42,67**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Leyenda: Ciclos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo de N y de K₂O respectivamente y 38 g por plantón de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a). FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

Tabla 17. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, la fertilización mineral (NPK) y la fertilización orgánico-mineral (FOM) en cada ciclo productivo en la concentración foliar de N, P y K (g kg^{-1}), evaluado en la lámina media de la III^{ra} hoja en floración del banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	PM			V-1			V-2		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(g kg^{-1})								
Control	32,3 ab	2,1	22,9 c	30,5 a	2,2	24,1 c	29,3 a	2,1	22,6 c
BHMA(t)	32,9 a	2,0	22,1 c	30,0 a	2,2	24,6 c	28,9 a	2,0	22,0 c
75 % NPK	30,0 abc	2,0	29,3 b	27,8 ab	2,2	30,8 b	25,6 bcd	2,2	29,4 b
75 % NPK + BHMA(t)	29,1 cde	2,1	33,3 a	26,3 bc	2,2	35,5 a	24,6 bcd	2,2	36,9 a
100 % NPK	28,7 cdef	2,1	34,4 a	25,9 bc	2,2	36,0 a	23,1 d	2,2	37,0 a
75 % FOM	29,4 bcd	2,0	27,9 b	27,5 abc	2,1	30,6 b	26,4 abc	2,0	29,0 b
75 % FOM + BHMA(t)	26,3 def	2,0	33,5 a	25,3 bc	2,2	34,8 a	23,9 cd	2,1	35,3 a
100 % FOM	27,0 cdef	2,0	33,6 a	25,3 bc	2,1	35,1 a	24,3 bcd	2,1	34,8 a
100 % FOM + BHMA(t)	28,1 cdef	2,1	34,1 a	26,1 bc	2,1	35,4 a	24,9 bcd	2,1	35,1 a
$S_x =$	0,62**	0,08 NS	0,72**	0,64*	0,10 NS	0,34**	0,64**	0,11 NS	0,82**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Leyenda: Ciclos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo de N y de K_2O respectivamente y 38 g por plantón de P_2O_5 solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a). FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

se encontraron en los tratamientos fertilizados con las dosis mayores de fertilizantes mineral u orgánico-mineral (100 % NPK y 100% FOM) o los tratamientos inoculados que recibieron dosis complementarias de fertilizantes, los cuales mostraron los rendimientos mayores (Figuras 5 y 6).

Los tratamientos no inoculados y que recibieron el 75 % de la dosis del 100 % de fertilizantes, tanto vía mineral u orgánico-mineral, presentaron valores de concentración de N entre 25,6 y 30,0 g kg⁻¹ similares a las mostradas por el tratamiento control en todos los ciclos, excepto en el ciclo V-2, donde se encontraron diferencias.

En relación con las concentraciones de K los efectos fueron completamente diferentes. Se encontró por tanto un efecto positivo de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* en presencia de dosis complementarias de fertilizantes minerales u orgánico-minerales, en las concentraciones de K foliar, de forma tal que los tratamientos presentaron valores mayores de K en la III^{ra} hoja en floración y de rendimientos (Figuras 5 y 6), que los tratamientos homólogos no inoculados y similares con los tratamientos que recibieron las cantidades mayores de fertilizantes (100 % NPK y 100 % FOM). Esta conducta se encontró en los tres ciclos estudiados. De forma general, las concentraciones mayores de K foliar se asociaron con los rendimientos mayores y viceversa.

En el caso de la concentración foliar de P no se encontraron diferencias entre los tratamientos, los valores fueron similares y oscilaron entre 2,0 y 2,2 g kg⁻¹. Esta conducta se manifestó de forma análoga en cada ciclo evaluado.

Por otra parte, el tratamiento inoculado que no recibió fertilizantes y el tratamiento control, presentaron similares tenores foliares de N, P y K en cualquiera de los ciclos, de forma similar a como se presentó en el rendimiento.

Discusión

El cultivo del banano requiere de cantidades elevadas de fertilizantes para alcanzar rendimientos altos y una nutrición satisfactoria (Guijarro, 1983; López y Espinosa, 1995; Turner y col., 2007) y los resultados de este trabajo corroboraron estos criterios y asimismo se demostró la equivalencia entre las dosis de fertilizantes minerales (100 % NPK) y orgánico-minerales (100 % FOM) recomendadas para suministrar nutrimentos al cultivo (MINAG, 2011a).

Por tanto, la fertilización orgánico-mineral con 20 y 10 kg por planta de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente, garantizó a lo largo de los tres ciclos de cultivo estudiados las cantidades nutricionales y los rendimientos altos del banano cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado. Los resultados relacionados con el uso beneficioso de la fertilización orgánico-mineral en plantaciones de banano y sustitución total de la fertilización mineral concuerdan con lo informado por diferentes autores en otros cultivos (González y col., 2008; 2015; Saldanha y col., 2010).

La inoculación con la cepa de *R. intraradices*, en combinación con la aplicación del 75 % de las dosis de fertilizante mineral u orgánico-mineral recomendada para garantizar las necesidades nutricionales del banano, fue efectiva y aseguró rendimientos altos y la demanda nutricional del cultivo. Los resultados corroboraron la efectividad de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* en diferentes cultivos en suelo Pardo mullido carbonatado (Ruiz, 2001). Con el banano se amplió el grupo de cultivos que cumplen con la regularidad de baja especificidad cepa eficiente-cultivo (Rivera y col., 2007).

El hecho de que las disminuciones en las dosis resultaran similares para la fertilización mineral y la orgánica-mineral, debe ser consecuencia de la equivalencia de ambas fuentes para la nutrición del banano.

Si bien, la disminución porcentual de las dosis de fertilizantes minerales para plantaciones inoculadas de 'FHIA-18', coincide con los porcentajes obtenidos anteriormente en plátano 'Burro CEMSA' en este mismo suelo e inoculado con la misma cepa de HMA (Rivera y Fernández, 2003), no existían resultados anteriormente publicados en que se establecieran estas disminuciones de fertilizante mineral u orgánico-mineral para el banano. Por otra parte, se corroboraron los criterios que sostienen que un funcionamiento micorrízico efectivo incrementa la absorción de los nutrimentos del suelo y los fertilizantes (Borie y col., 2010; Medina y Azcón, 2010).

De forma tal, que si las plantas inoculadas con cepas eficientes de HMA requieren de un suministro adecuado de nutrimentos para un funcionamiento micorrízico óptimo y por ende obtener los beneficios de la micorrización, este suministro será menor que las dosis de fertilizantes del cultivo no inoculado, tanto en presencia de fertilizantes minerales como orgánicos.

Lo anterior ya había sido obtenido tanto en producción de posturas de cafeto (Fernández, 1999; Sánchez, 2001), raíces y tubérculos (Ruiz, 2001), tabaco (Cruz y col., 2012), frutales (Ramos y col., 2013) y pastos del género *Brachiaria* (González, 2014), aunque dependientes las disminuciones específicas obtenidas, de cada cultivo y tipo de suelo.

La aplicación de compost y ceniza, al influir en propiedades de los suelos, como el contenido de materia orgánica, la retención de humedad y favorecer la actividad microbiana en el mismo, pudo haber originado condiciones mejores para la efectividad de la inoculación y por ende de los beneficios asociados al funcionamiento micorrízico (Serralde y Ramírez, 2004; Pérez y col., 2012).

Los resultados inferiores asociados a las plantas en el tratamiento inoculado que no recibió

dosis complementarias de fertilizantes en las diferentes variables evaluadas, estableció la necesidad de un suministro adecuado de nutrimentos a las plantas inoculadas para garantizar un funcionamiento micorrízico óptimo, estado nutricional satisfactorio y por ende rendimientos mayores.

Es decir, la inoculación con una cepa eficiente de HMA no será efectiva si el suministro de nutrimentos no es adecuado para garantizar un funcionamiento micorrízico eficiente (Rivera y Fernández, 2003) y puede llegar como en este caso, al extremo en que prácticamente no haya efecto de la inoculación en ausencia de fertilizantes.

Los diferentes tratamientos no inoculados en presencia o no de cantidades de fertilizantes mineral u orgánico-mineral, presentaron valores inferiores en los porcentajes de colonización micorrízica y de producción de esporas, en relación con los tratamientos inoculados y que recibieron fertilizantes.

Este comportamiento indicó que el nivel de funcionamiento de las cepas de HMA residentes fue bajo, y debió estar relacionado con las cantidades bajas de esporas de HMA iniciales e indicó la necesidad de inocular en estas condiciones para obtener los beneficios de la simbiosis micorrízica arbuscular.

No obstante para que haya respuesta positiva a la inoculación de *R. intraradices* (INCAM-11) no son necesarias cantidades tan bajas de esporas residentes en este tipo de suelo, ya que se ha encontrado una micorrización efectiva, incluso en presencia de 400 esporas 50 g^{-1} de suelo (González, 2014).

Si bien, tanto el porcentaje de colonización como la producción de esporas presentaron los valores mayores en los tratamientos inoculados que recibieron el 75 % de la fertilización mineral y orgánico-mineral y en correspondencia con los rendimientos mayores y valores

superiores de concentración de K foliar, indicativos de un funcionamiento micorrízico óptimo, la inoculación en presencia de las dosis mayores de fertilizante orgánico-mineral originó un comportamiento diferenciado entre los porcentajes de colonización y el número de esporas en el suelo.

En el tratamiento (BHMA(t) + 100 %) las cantidades de esporas parecieron más sensibles para reflejar las variaciones en el funcionamiento micorrízico que el porcentaje de colonización, teniendo en cuenta que suministros altos de nutrimentos generalmente no son favorables para un funcionamiento óptimo (Rivera y col., 2007; Sánchez y col., 2011).

Si bien los porcentajes de colonización micorrízica obtenidos en el tratamiento fueron altos, los contenidos de esporas disminuyeron significativamente con relación al tratamiento inoculado que recibió el 75 % de la FOM, siendo incluso similares a las del tratamiento inoculado que no recibió ningún fertilizante y cuyo comportamiento general fue inferior.

Esta conducta de las esporas en este caso, parece reflejar una sensibilidad mayor que los porcentajes de colonización como indicador del funcionamiento micorrízico. Este comportamiento no es frecuente pero se encontró con anterioridad al evaluar la influencia de diferentes características de los suelos en la efectividad de *G. cubense* al utilizar como hospedero *Brachiaria decumbens* (Rivera y col., 2013).

En dicho estudio se encontró que la cepa de *G. cubense* presentó un funcionamiento óptimo por encima de pH 6; y en suelos con pH cercanos a 5 prácticamente no esporuló, sin embargo, los porcentajes de colonización de *B. decumbens* permanecieron altos (65 %). En suelos en que el pH fue aún más bajo y del orden de 4,5, tanto las esporas como los porcentajes de colonización micorrízica fueron mínimos.

Según lo anterior, los resultados conllevan a considerar la producción de esporas como un

indicador del funcionamiento micorrízico efectivo como lo planteó Janos (2007) y sobre todo a partir de la existencia del efecto de permanencia de la inoculación inicial (Ruiz, 2001; Martín y col., 2009; González, 2014), que se relaciona con la propia reproducción de esporas que realizó previamente el cultivo inoculado y para lo cual se requiere que el ambiente edáfico sea el adecuado para el funcionamiento micorrízico de la cepa (Rivera y col., 2015).

O sea, que el efecto de una cepa eficiente de HMA no solo se manifiesta a través de la micorrización efectiva que se obtiene en el cultivo inoculado, sino de la capacidad de garantizar el efecto de permanencia, al menos con el primer cultivo posterior (Rivera y col., 2007) y para lo cual la cantidad de propágulos reproducidos es condición imprescindible.

Las concentraciones foliares de N, P y K (Tabla 18) utilizadas como estimadores del estado nutricional del banano, indicaron la importancia de cada uno de los nutrientes en la plantación y permitieron explicar el comportamiento de los tratamientos e integrándose con el funcionamiento micorrízico y rendimiento.

El estado nutricional del N presentó un comportamiento reproducible en cada ciclo, asociándose las concentraciones mayores con los tratamientos con rendimientos menores y viceversa, lo que sugirió la existencia de un efecto de dilución, debido posiblemente a que el N no fuera el principal elemento limitante en estas condiciones. Rodríguez (1980) informó un fenómeno similar en plantaciones de banano deficientes en K.

El hecho de que no se encontraron diferencias significativas por los tratamientos en las concentraciones de P, está en correspondencia con los reportes de escasa respuesta del banano a la fertilización fosfórica, obtenidos tanto en otros países (Hoffmann y col., 2010; Castillo y col., 2011) como en Cuba (Guijarro, 1983), por lo cual las dosis que se emplean en el cultivo generalmente son bajas, siendo muy frecuentes las aplicaciones a largo plazo, en el

establecimiento de la plantación, una vez para varios ciclos, como se recomienda en Cuba. (MINAG, 2011a).

Un comportamiento diferente reflejaron las concentraciones de K foliar en los tres ciclos evaluados, con una respuesta directa a la fertilización bien fuera mineral u orgánico-mineral, siendo los valores obtenidos con las cantidades mayores de fertilizantes aplicados indicativos de una nutrición potásica adecuada en cualquiera de los ciclos.

Los valores asociados con los rendimientos altos fueron ligeramente inferiores a los que encontró Guijarro (1983) y posiblemente relacionado con el hecho que este autor trabajó en suelos Ferralíticos Rojos con cantidades menores de Ca^+ y Mg^+ intercambiable que en los suelos Pardos mullidos carbonatados y a la importancia del equilibrio catiónico para la disponibilidad del potasio (Carvajal, 1984; Robinson y Galán, 2012).

La inoculación de la cepa de *R. intraradices* en presencia de la dosis del 75 % de fertilizantes bien fueran minerales u orgánico-minerales garantizó valores de K foliar adecuados y similares a los obtenidos con las dosis mayores de fertilizantes en ausencia de inoculación, lo que indicó el efecto positivo de la inoculación en la absorción de este nutriente.

La literatura internacional comúnmente no refleja un efecto directo de la simbiosis micorrízica arbuscular en la absorción de K. Trabajos recientes de Fernández (2013) demostraron la funcionalidad de la simbiosis micorrízica arbuscular en la adquisición y translocación de K a las plantas en un sistema autotrófico de cultivo totalmente *in vitro* de *Medicago truncatula* Gaertn inoculado con esporas de *G. clarum* y *G. intraradices*, a través del transporte de ^{86}Rb por parte de las hifas extrarradicales de estas cepas de HMA hasta el sistema aéreo de las plantas.

Cuando se integran los resultados informados en Pardo mullido carbonatado con la

inoculación de esa misma cepa de *R. intraradices* en diferentes cultivos con equilibrios nutricionales diversos como yuca, boniato, malanga (Ruiz, 2001), cafeto (Fernández, 1999; Sánchez, 2001) y en pastos del género *Brachiaria* (González y col., 2008 y 2011), con los encontrados en un cultivo potasófilo como el banano y con pocas exigencias de P (Guijarro, 1983; Hoffmann y col., 2010), se coincide con los criterios de Rivera y Fernández, (2003), los cuales asociaron a las micorrizas arbusculares como un mecanismo “extensor” del sistema radical, que contribuye a incrementar la absorción de nutrimentos siendo la planta en base a sus necesidades nutricionales, la que selecciona los elementos que en ella ingresan.

Un aspecto a destacar, es que los efectos positivos de la inoculación inicial en presencia de las dosis del 75 % de la fertilización, tanto en el rendimiento como en las variables de funcionamiento micorrízico y las concentraciones de K foliar se obtuvieron en cada uno de los tres ciclos estudiados.

La permanencia del efecto de la inoculación inicial que se transmitió de un ciclo a otro, debe estar posiblemente asociado con la coincidencia sucesiva del crecimiento de los hijos con el desarrollo activo y el funcionamiento micorrízico del ciclo que los precede, en presencia de adecuadas atenciones culturales y riegos sistemáticos (MINAG, 2011a), de forma tal que el sistema radical micorrizado siempre mantiene una adecuada “presión” de esporas y propágulos que garantizan la continuidad de la micorrización de un ciclo a otro.

El comportamiento no debe ser ajeno a que debido a la alta demanda hídrica del banano, siempre se le garantizó un riego adecuado. Estas condiciones, conjuntamente con el hecho de ser un cultivo tropical adaptado a temperaturas altas, así como de las aplicaciones complementarias de fertilizantes, conllevaron a que se mantuviera el funcionamiento micorrízico a lo largo de la plantación, lo cual no parece ser una conducta general para otros

cultivos perennes sin riego, como los frutales o el cafeto.

En áreas de forrajes permanentes en suelo Pardo mullido carbonatado inoculados con la cepa de *R. intraradices* se encontró que el efecto de la inoculación inicial se mantiene de uno a dos años, en función de la especie de pasto y su manejo, asociado con el crecimiento del sistema radical y la reproducción de esporas en la estación poco lluviosa (González, 2014).

En dichos trabajos los contenidos de esporas que indicaron la necesidad de reinocular fueron de 580 esporas 50 g^{-1} de suelo, superiores a los encontrados en este trabajo en los tratamientos inoculados que recibieron el 75 % de la fertilización en el cual los contenidos de esporas de alrededor de 350 esporas 50 g^{-1} de suelo mantuvieron el funcionamiento micorrízico de un ciclo a otro.

En secuencias de cultivos en suelo Pardo mullido carbonatado inoculados con la cepa *R. intraradices* se comprobó que el efecto de permanencia de la inoculación solo se expresó adecuadamente en el primer cultivo posterior al inoculado (Ruiz, 2001).

Por tanto, todo parece indicar que la propia forma de propagación vegetativa del banano y las convenientes condiciones presentes para su crecimiento, garantizaron ambientes favorables para mantener un funcionamiento micorrízico adecuado en la plantación.

4.2.2. Efecto del manejo integrado de inoculantes micorrízicos, abonos verdes y orgánico-minerales en plantaciones de banano

- **Efecto de la inoculación con HMA en la masa seca, variables fúngicas y extracción de nutrimentos de canavalia**

Se observó, con independencia de la forma de uso del abono verde (precedente o intercalado) y en cada uno de los cortes, un efecto positivo y significativo de la inoculación con la cepa eficiente de *R. intraradices* en el rendimiento de masa seca, concentración de nutrientes, porcentaje de colonización y

número de esporas micorrízicas en la canavalia (Tabla 18).

En relación a la producción de biomasa, los incrementos oscilaron entre 25 y 41 % en los diferentes cortes, alcanzando el tratamiento canavalia inoculada con HMA una producción de biomasa seca de 6 t ha⁻¹ en la etapa precedente y un acumulado de 13 t ha⁻¹, superior al obtenido con la canavalia no inoculada.

El efecto se manifestó también con intensidad en los indicadores del funcionamiento micorrízico y las plantas inoculadas presentaron porcentajes de colonización entre 60 y 68 %, cuatro veces mayores a los obtenidos en la canavalia no inoculada. Si bien el cultivo de la canavalia incrementó la cantidad de esporas residentes en el suelo, estas fueron casi cinco veces menores que las obtenidas al inocular la canavalia.

Los efectos de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* en los contenidos de N, P y K de la canavalia fueron significativos. En el caso del N y del P los incrementos oscilaron entre 11 y 15 % y en el caso del K entre 9 y 11 %.

Las cantidades de nutrimentos extraídos por la canavalia se incrementaron con la inoculación en cada uno de los cortes. En la etapa precedente pasaron de 115; 21 y 110 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente a 170; 32 y 160 kg ha⁻¹. Mientras la extracción acumulada por los tres cortes de la canavalia inoculada fue de 347; 69 y 313 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, y cuando no se inoculó se estimó en 234; 46 y 215 kg ha⁻¹.

- **Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, canavalia y aplicaciones de fuentes orgánico-minerales (FOM) en el rendimiento del banano**

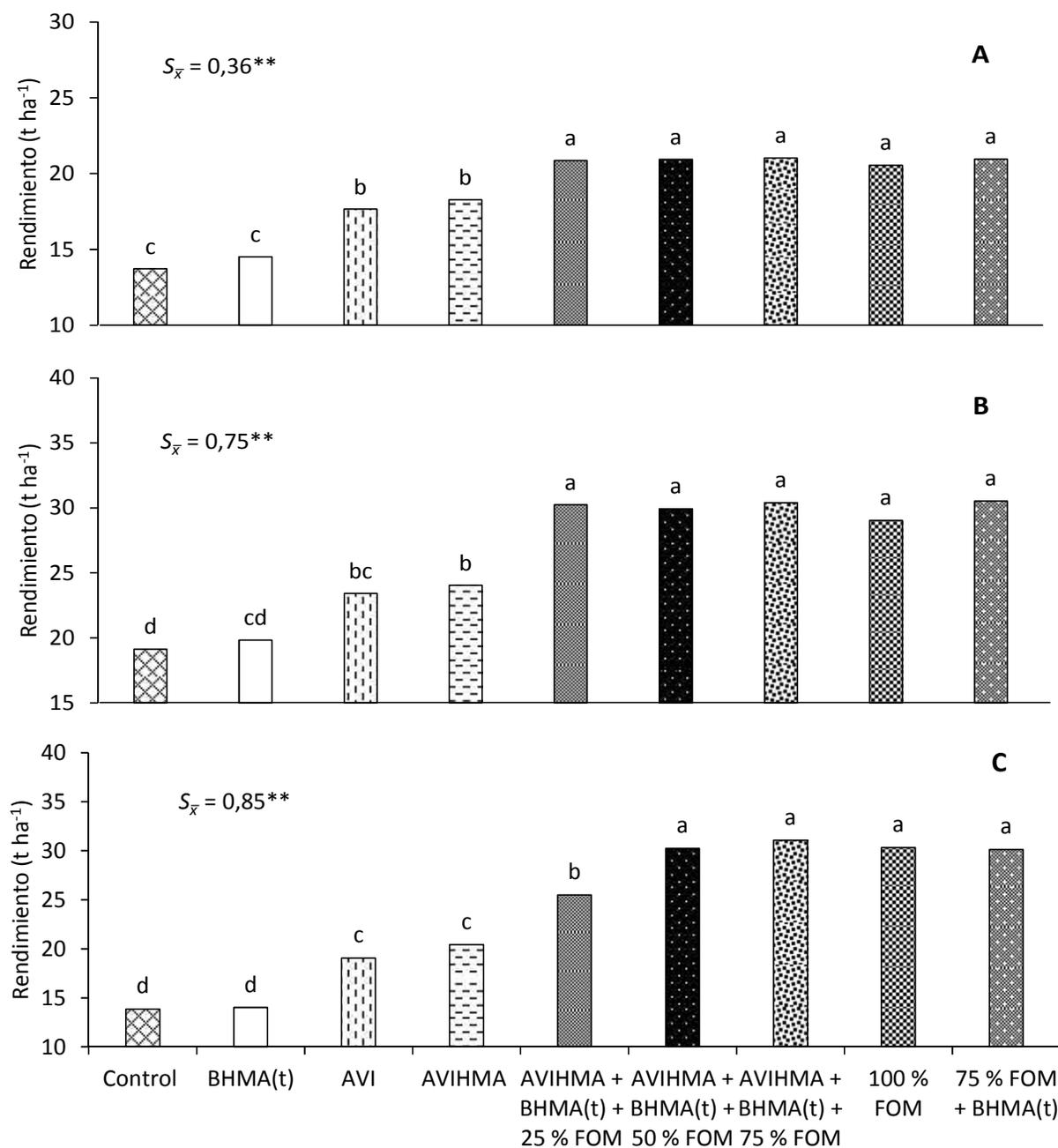
El banano respondió significativamente en todos los ciclos a la aplicación de la fertilización orgánico-mineral (100 % FOM) y garantizó rendimientos altos (Figura 8) y un acumulado de 79,93 t ha⁻¹.

Tabla 18. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* en la producción de masa seca ($t\ ha^{-1}$), concentración de nutrimentos de la parte aérea y variables del funcionamiento micorrízico de la canavalia en los diferentes cortes.

Tratamiento	MS	N	P	K	Colonización	Conteo de esporas
	($t\ ha^{-1}$)	(g kg^{-1})			(%)	(esporas $50\ g^{-1}$ de suelo)
Precedente						
Canavalia	4,57±0,05	25,28±0,58	2,00±0,08	20,00±0,33	16,25±1,47	105,50±19,69
Canavalia + HMA	6,10±0,12	27,92±0,12	2,28±0,03	21,80±0,08	67,88±0,94	536,06±30,11
Intercalada (corte 1)						
Canavalia	3,06±0,12	22,78±0,62	2,05±0,13	16,80±0,26	15,00±0,80	89,25±16,98
Canavalia + HMA	3,84±0,06	25,41±0,13	2,28±0,03	18,47±0,21	63,38±0,24	384,75±19,55
Intercalada (corte 2)						
Canavalia	2,35±0,03	20,80±0,58	1,93±0,12	15,48±0,29	13,25±0,94	69,50±17,25
Canavalia + HMA	3,32±0,04	23,95±0,55	2,21±0,04	17,16±0,26	60,63±0,35	312,94±11,96

$Z_{1-\alpha} \cdot S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1-\alpha = 0,05$), siendo $Z_{1-\alpha} = 1,96$.

Leyenda: Canavalia = canavalia sin inocular; Canavalia + HMA = canavalia inoculada con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11). En los tratamientos de Canavalia y en Canavalia + HMA, los valores son medias de 4 y 16 observaciones, respectivamente.



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 8. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, abono verde y dosis de compost y ceniza en el rendimiento en PM (A), V-1 (B) y V-2 (C) del cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVI = canavalia intercalada; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

Si bien se encontró un efecto positivo por la utilización de la canavalia inoculada en el rendimiento del banano, no obstante fueron necesarias las aplicaciones de cantidades complementarias de fuentes orgánico-minerales para obtener los mayores rendimientos.

Los efectos beneficiosos de la incorporación y arroje de la canavalia inoculada con la cepa de *R. intraradices* fueron tales que permitieron reducir significativamente las dosis de la FOM del banano y garantizaron rendimientos altos y similares a cuando se aplicó el 100 % de FOM, pero solo necesitando del 25 % de la FOM en los ciclos de PM y V-1 y que ascendió a 50 % de la FOM en el último ciclo (V-2).

La utilización de la canavalia no inoculada y la inoculada, sin la aplicación de dosis complementarias de FOM presentaron un comportamiento inferior, aunque sin mostrar diferencias significativas entre sí, siendo significativamente superiores al tratamiento control en cualquiera de los ciclos.

• **Efectos de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, canavalia y aplicaciones de fuentes orgánico-minerales (FOM) en las variables fúngicas del banano**

Con la inoculación de la cepa de *R. intraradices* se obtuvieron porcentajes de colonización micorrízica y cantidades de esporas en la rizosfera del banano superiores ($p < 0,01$) a los que se alcanzaron en los tratamientos sin inocular (Tabla 19).

Los tratamientos con canavalia inoculada + BHMA(t) que recibieron dosis complementarias de la FOM alcanzaron los porcentajes de colonización micorrízica mayores, del orden del 60 y 61 % durante los ciclos de PM y V-1, valores que disminuyeron hasta 56 y 57 % en el ciclo V-2.

De la anterior conducta se apartó el tratamiento con AVIHMA + BHMA(t) y que recibió el 25 % de la FOM, el cual en el ciclo V-2 presentó un porcentaje de colonización significativamente inferior a los tratamientos inoculados que recibieron cantidades mayores

Tabla 19. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, abonos verdes y dosis de compost y ceniza en cada ciclo productivo, en el porcentaje de colonización micorrízica y el número de esporas de HMA en 0-0,20 m de profundidad. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	Colonización			Número de esporas		
	PM	V-1	V-2	PM	V-1	V-2
	(%)			(esporas 50 g ⁻¹ de suelo)		
Control	13,50 c	16,50 c	9,50 c	47,50 d	38,25 d	31,25 e
BHMA(t)	51,75 b	54,50 b	49,25 b	191,75 cd	259,00 cd	98,75 de
AVI	13,25 c	14,50 c	11,00 c	115,00 d	107,50 d	73,75 e
AVIHMA	55,00 b	57,25 b	50,00 b	829,75 b	1228,75 b	498,50 c
AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM	60,00 a	61,75 a	51,00 b	893,50 ab	1369,00 ab	810,25 b
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	60,00 a	61,75 a	56,25 a	991,25 ab	1494,00 a	1145,25 a
AVIHMA + BHMA(t) + 75 % FOM	60,00 a	61,50 a	56,50 a	1070,50 a	1527,00 a	1255,50 a
100 % FOM	13,75 c	15,75 c	11,50 c	65,75 d	60,00 d	58,25 e
75 % FOM + BHMA(t)	61,25 a	63,25 a	57,50 a	365,50 c	424,25 c	332,50 c
S _x =	0,66**	0,76**	0,55**	45,08**	44,09**	41,63**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias significativas (p < 0,01) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVI = canavalia intercalada; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

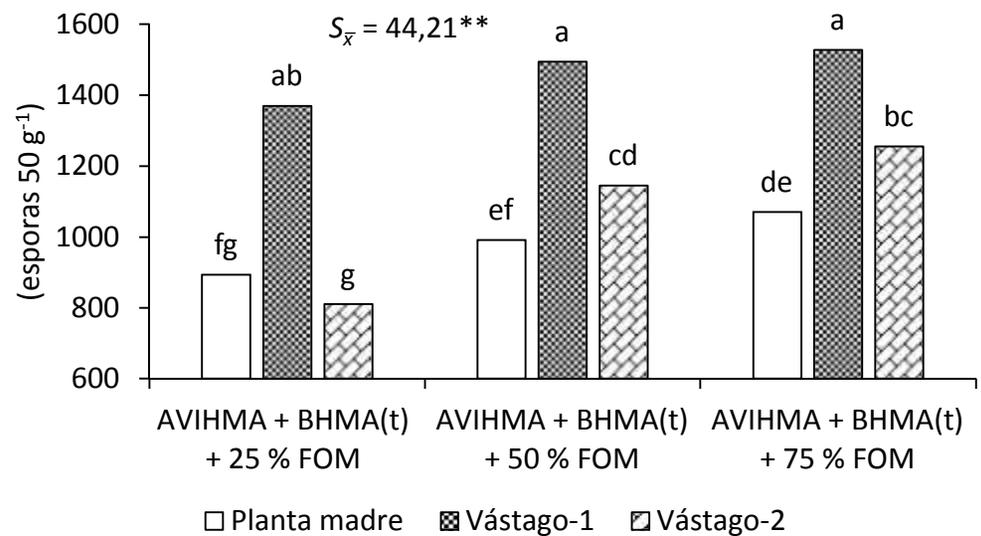
de la FOM, y que fue similar en ese ciclo a los obtenidos por los tratamientos inoculados sin aplicaciones de fertilizantes orgánico-minerales. Este comportamiento fue similar al que presentó este tratamiento durante el ciclo V-2 en el rendimiento.

Se encontró una respuesta alta a la inoculación en la producción de esporas en la rizosfera del banano. Los valores mayores y significativamente superiores estuvieron asociados con los tratamientos en que se utilizó la canavalia inoculada y que recibieron porcentajes de la dosis de FOM, los cuales fueron del orden de 900 a 1 500 esporas 50 g^{-1} y dependiente del ciclo.

De forma similar a como se encontró en el porcentaje de colonización y en el rendimiento, el tratamiento con AVIHMA + BHMA(t) y que recibió el 25 % FOM, presentó en el ciclo V-2 un contenido de esporas significativamente inferior al del resto de los tratamientos con canavalia inoculada y dosis de FOM, aunque superior a los restantes tratamientos que no incluyeron la canavalia inoculada.

El tratamiento 75 % de la FOM + BHMA(t), aunque alcanzó valores superiores de esporas que los tratamientos no inoculados, o de los inoculados que no recibieron dosis complementarias de FOM ni abonos verdes, presentó un comportamiento significativamente inferior a los tratamientos con canavalia inoculada y complementados con la fertilización orgánico-mineral; no obstante no difirió en relación con los rendimientos y porcentajes de colonización micorrízica obtenidos.

Si bien el tratamiento con canavalia no inoculada incrementó los contenidos de esporas con relación a las condiciones iniciales (Tabla 4), fueron inferiores a los obtenidos por los tratamientos con canavalia inoculada que recibieron además dosis complementarias de la FOM. De forma general los valores mayores de esporas se encontraron en la rizosfera de las plantas del ciclo V-1, superiores a los que se obtuvieron en PM y V-2 (Figura 9).



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias significativas ($p < 0,01$ de acuerdo con Prueba de Tukey).

Figura 9. Efecto del ciclo en el número de esporas en la rizosfera del banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado. Tres ciclos de cosecha.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

- **Efectos de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, canavalia y aplicaciones de fuentes orgánico-minerales (FOM) en las concentraciones foliares en banano**

Se encontraron efectos significativos entre los tratamientos para las concentraciones de N y K, en cualquiera de los tres ciclos evaluados (Tabla 20), aunque dependientes del elemento en cuestión.

Las concentraciones mayores de N se encontraron en los tratamientos control sin inocular y en el inoculado sin aplicación de fertilizante, sin diferencias significativas entre si y que fueron precisamente los que presentaron rendimientos menores, estos tenores de N fueron superiores ($p < 0,01$) a los encontrados en los tratamientos inoculados y que recibieron dosis complementarias de FOM o el que recibió 100 % FOM, con los cuales se alcanzaron los rendimientos mayores.

Se encontró un marcado efecto positivo y significativo en la concentración foliar de K en cualquiera de los tres ciclos, pero en este caso las concentraciones mayores se asociaron con los tratamientos que recibieron el 100 % FOM, 75 % FOM + BHMA(t) y los que utilizaron canavalia inoculada y recibieron cantidades de FOM, sin encontrarse diferencias significativas entre dichas concentraciones.

De esta conducta se apartó el tratamiento con canavalia inoculada que recibió el 25 % FOM, el cual en el ciclo V-2 disminuyó significativamente las concentraciones de K foliar, y presentó un comportamiento similar al que manifestó en el rendimiento y los indicadores del funcionamiento micorrízico.

Se encontró además una alta y significativa relación ($R^2 = 0,87$) entre la concentración de K de la III^{ra} hoja en floración y los valores del rendimiento relativo de los diferentes tratamientos en cada uno de los tres ciclos de cosecha evaluados. De forma tal que la integración de los valores

Tabla 20. Efecto de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, el abono verde y dosis de compost y ceniza en cada ciclo productivo en la concentración foliar de N, P y K (g kg^{-1}), evaluado en la lámina media de la III^{ra} hoja en floración del banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	PM			V-1			V-2		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(g kg^{-1})								
Control	32,3 ab	2,1	22,9 c	30,5 a	2,2	24,1 d	29,3 a	2,1	22,6 c
BHMA(t)	32,9 a	2,0	22,1 c	30,0 a	2,2	24,6 d	28,9 a	2,0	22,0 c
AVI	29,0 cde	1,9	28,9 b	26,6 bc	2,1	29,3 bc	27,4 ab	2,2	26,9 b
AVIHMA	30,1 abc	2,1	28,1 b	27,9 ab	2,1	29,0 c	26,1 abcd	2,2	27,0 b
AVIHMA+ BHMA(t) + 25 % FOM	25,1 g	2,1	33,3 a	26,1 bc	2,2	34,6 a	25,6 bcd	2,1	30,4 b
AVIHMA+ BHMA(t) + 50 % FOM	26,2 efg	2,0	34,0 a	24,8 bc	2,2	35,6 a	24,2 bcd	2,2	36,3 a
AVIHMA+ BHMA(t) + 75 % FOM	25,7 fg	2,1	34,8 a	24,4 c	2,1	35,8 a	23,8 cd	2,2	36,5 a
100 % FOM	27,0 cdefg	2,0	33,6 a	25,3 bc	2,1	35,1 a	24,3 bcd	2,1	34,8 a
75 % FOM + BHMA(t)	26,3 defg	2,0	33,5 a	25,3 bc	2,2	34,8 a	23,9 cd	2,1	35,3 a
$S_x =$	0,62**	0,08 NS	0,72**	0,64**	0,10 NS	0,34**	0,64**	0,11 NS	0,82**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias significativas ($p = 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVI = canavalia intercalada; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

de ambas variables para los diferentes tratamientos en los tres ciclos de cosecha, permitió en base a los niveles de rendimientos obtenidos asociar los rangos de concentraciones foliares de K con estados nutricionales (Figura 10).

Los valores de K entre 33 y 36 g kg⁻¹ se asociaron con los rendimientos mayores y concentraciones por debajo de 33 g kg⁻¹ originaron rendimientos significativamente inferiores.

A diferencia del K con una correlación positiva muy alta ($r = 0,93^{**}$) con el rendimiento relativo, las concentraciones de N presentaron una correlación negativa moderada ($r = -0,58^*$) y las del P ($r = 0,14$) fueron muy bajas y no significativas (Anexo 6).

La razón K:N de las concentraciones foliares en la III^{ra} hoja (Figura 11), manifestó una asociación alta ($R^2 = 0,72$) con los rendimientos relativos obtenidos por los diferentes tratamientos en los tres ciclos, aunque con resultados inferiores a los encontrados con la concentración de potasio. Los valores de la relación que se asociaron con los mayores rendimientos relativos estuvieron entre 1,3 y 1,6 y valores por debajo de 1,3 se asociaron con rendimientos menores.

En cualquiera de las dos figuras se reflejó el cambio de conducta del tratamiento AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM, el cual presentó en el ciclo del segundo vástago, una disminución a valores por debajo del estado nutricional satisfactorio tanto en las concentraciones de K como de la relación K:N.

Con relación al P no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados en ninguno de los tres ciclos productivos evaluados.

El análisis de suelo en el caso del K⁺ intercambiable también permitió evaluar la suficiencia de los diferentes tratamientos en garantizar una nutrición adecuada del banano. Al aplicar el método de Waugh y col. (1973) a los pares de valores conformados por los rendimientos

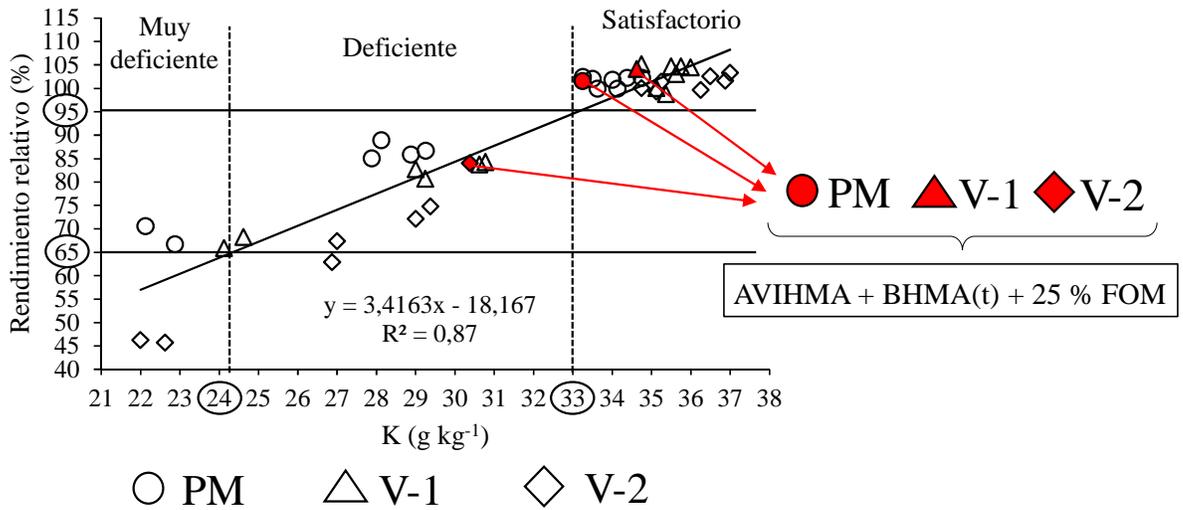


Figura 10. Relación entre la concentración de K (g kg⁻¹), evaluado en la lámina media de la III^a hoja en floración, y el rendimiento relativo (%) en los ciclos de planta madre (PM), vástago-1 (V-1) y vástago-2 (V-2) del banano cv. 'FHIA-18'. Estado nutricional asociado. Suelo Pardo mullido carbonatado.

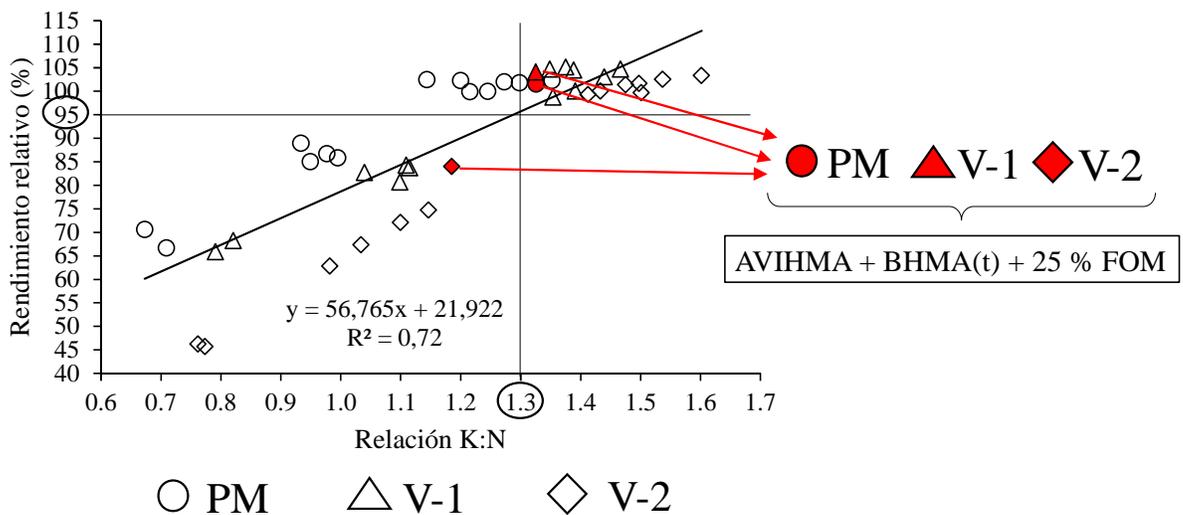


Figura 11. Relación entre la razón K:N foliar evaluada en la lámina media de la III^a hoja en floración, y el rendimiento relativo (%) en los ciclos de planta madre (PM), vástago-1 (V-1) y vástago-2 (V-2) del banano cv. 'FHIA-18'. Estado nutricional asociado. Suelo Pardo mullido carbonatado.

relativos obtenidos por cada tratamiento en cada ciclo y los contenidos respectivos de K^+ intercambiable del suelo (0-0,20 m de profundidad) que se encontraron al finalizar cada cosecha, se obtuvo una relación alta y significativa ($R^2 = 0,81$), separando los tratamientos en dos poblaciones de acuerdo con las concentraciones de K^+ intercambiable que originaron en el suelo (Figura 12).

Se estableció por tanto un índice crítico en el suelo de $0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, de forma tal que cuando el esquema de suministro de nutrimentos finaliza la cosecha con valores de K^+ intercambiables por debajo de este valor, el rendimiento fue afectado, lo que indicó como en estas condiciones el esquema utilizado no garantizó las cantidades necesarias de nutrimentos.

Precisamente esta situación fue la que ocurrió con el tratamiento AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM, el cual durante las primeras dos cosechas (PM y V-1) garantizó valores superiores a $0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de K^+ intercambiable y asociadas con rendimientos altos y del orden del 100 % del RR; sin embargo al terminar la cosecha del ciclo V-2 los contenidos de K^+ intercambiables fueron inferiores al índice crítico y su RR disminuyó a 81 %, por tanto fue indicativo de que el suministro de K no fue suficiente y la necesidad de incrementar la cantidad a aplicar de este elemento para el próximo ciclo.

A diferencia del K^+ intercambiable que presentó una correlación positiva muy alta ($r = 0,83^{**}$) con el rendimiento relativo, los contenidos de MO y de P disponible en el suelo presentaron correlaciones bajas y no significativas, con valores de $r = 0,28$ y $r = 0,22$ (Anexo 7), con un comportamiento similar al encontrado en el análisis foliar en la cual las concentraciones de N y P (Tabla 20) no presentaron influencia directa en el rendimiento.

Discusión

El efecto positivo de la inoculación con la cepa de *R. intraradices* en la biomasa,

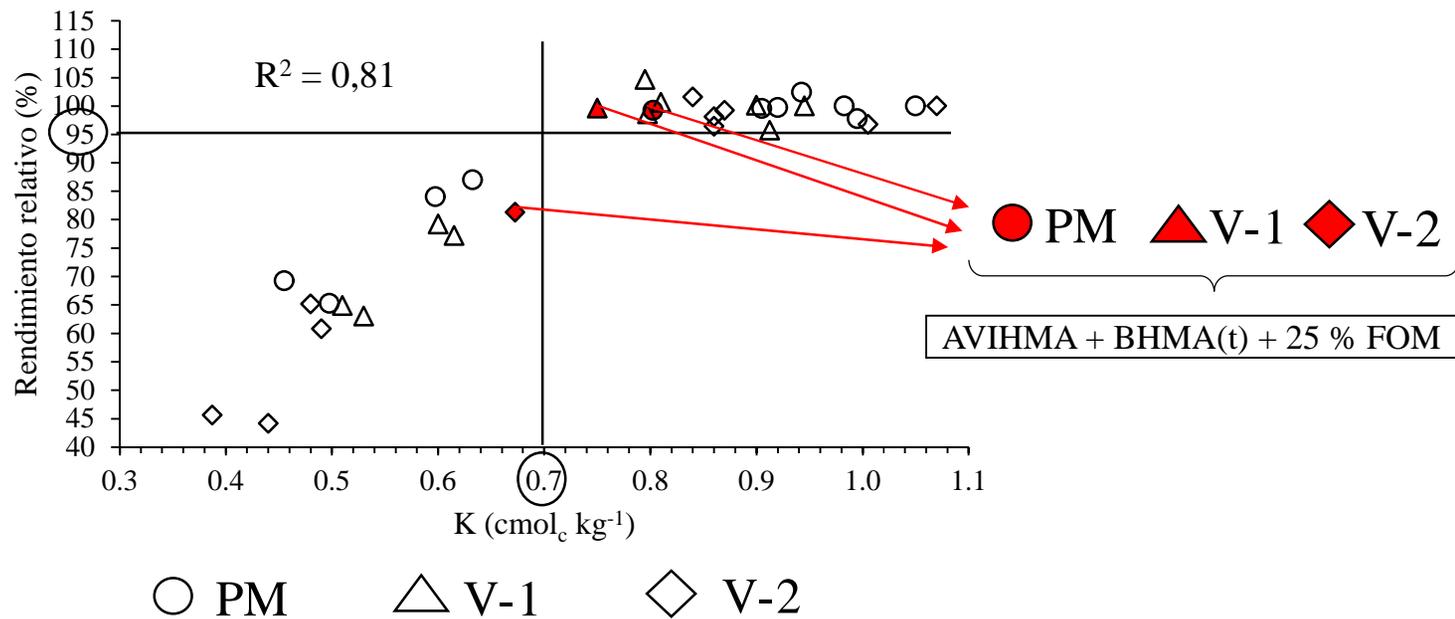


Figura 12. Relación entre el rendimiento relativo y el K⁺ intercambiable en el suelo, evaluado al finalizar cada cosecha en los ciclos de planta madre (PM), vástago-1 (V-1) y vástago-2 (V-2) del banano cv. 'FHIA-18'. Método de las particiones sucesivas de Waugh y col. (1973). Suelo Pardo mullido carbonatado.

funcionamiento micorrízico y contenidos nutricionales de canavalia, es explicable por el establecimiento de una simbiosis micorrízica arbuscular efectiva y sus efectos beneficiosos en la absorción de los nutrimentos (Medina y Azcón, 2010; Smith y Smith, 2011) y por ende en la producción de biomasa del cultivo, de manera similar ha sido reportado por Ruiz (2001); Rivera y col. (2007); González (2014) al inocular con cepas eficientes de HMA en diferentes cultivos.

En el caso de las leguminosas se reportan adicionalmente efectos positivos de la micorrización en la FBN (Chalk y col., 2006). Además de la respuesta a la inoculación en biomasa y extracción de nutrimentos por la canavalia, se encontró una significativa reproducción de esporas y que presumiblemente corresponden a la cepa inoculada.

Los resultados fueron similares a los encontrados al inocular canavalia con la cepa eficiente de HMA para suelos Ferralíticos Rojos (Martín, 2009) y demostraron que los efectos pueden obtenerse en diferentes condiciones edáficas, siempre que se inoculen las cepas eficientes por tipo de suelo (Rivera y Fernández, 2007).

Si bien el cultivo de la canavalia de por sí, incrementó los contenidos de esporas residentes de HMA, el efecto no ocasionó ningún incremento posterior significativo en los porcentajes de colonización del banano. Resultados similares obtuvieron con canavalia (Martín y col., 2012), y además con canavalia, *Crotalaria juncea* L. y *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Sánchez y col., 2011) en diversos tipos de suelos y cultivos principales, lo cual corrobora los criterios de necesidad de inocular los abonos verdes con cepas eficientes de HMA para garantizar una micorrización eficiente de los cultivos posteriores (Rivera y col., 2007) y de esta forma adicionar un importante valor al uso de esta alternativa.

La integración de la canavalia inoculada con HMA, en el esquema de suministro de

nutrimentos con compost y ceniza de la paja de caña de azúcar para el banano fue exitosa disminuyendo aún más las dosis de estas fuentes, que ya habían sido obtenidos al inocular el banano en el trasplante (Acápite 4.2.1.).

En este caso, el reciclaje de nutrientes asociados a la incorporación y arroje de la canavalia inoculada y un funcionamiento micorrízico eficiente redujeron las dosis de FOM hasta un 25 % de las recomendadas (MINAG, 2011a), en los ciclos de PM y V-1, y que se incrementaron hasta 50 % de la FOM en el ciclo del V-2, presumiblemente asociado con los aportes insuficientes de K por este tratamiento en este último ciclo (V-2).

La disminución adicional de las dosis de FOM al utilizar canavalia inoculada como abono verde precedente, puede estar asociada no solo por los reciclajes considerables de N y K, los cuales se incrementaron por la inoculación de la canavalia y la elevación del potencial de inóculo micorrízico en el suelo (Martín y col., 2010; Tamayo, 2014). Además se mantuvo un funcionamiento micorrízico satisfactorio del banano y otros efectos positivos de los HMA, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Chalk y col., 2006; Smith y Smith, 2011; Prager y col., 2012).

En este caso, la disminución de las cantidades de FOM se encuentra tanto asociada con el hecho de que las plantas micorrizadas eficientemente incrementan la mineralización de las fuentes orgánicas, como el compost y los residuos de canavalia, a partir de la intensificación de la actividad de los microorganismos asociados a la hifosfera y por tanto de la velocidad de descomposición de los materiales orgánicos (Verosoglou y col., 2012; Yang y col., 2014; Hodge y Storer, 2015), como a que las fuentes orgánicas incrementan las estructuras micorrízicas en la raíz (Hodge y Fitter, 2010) y por ende la capacidad de absorción de los nutrientes.

Además de que el propio reciclaje asociado a la biomasa de los AV y el N atmosférico fijado en la canavalia por los rizobios nativos asociados (Spagnoletti y col., 2013; Crespo y col., 2014; Martín y col., 2015), también participan en la disminución de las cantidades de los FOM de las plantas de banano.

Los porcentajes de colonización micorrízica encontrados en los tratamientos inoculados y complementados con cantidades de fertilizantes orgánico-minerales, con valores cercanos al 60 % y asociados con los mayores rendimientos, la efectividad de la inoculación micorrízica y las necesidades de un suministro adecuado de nutrimentos para un funcionamiento micorrízico efectivo (Rivera y Fernández, 2003), indicaron que suministros inferiores como en los tratamientos inoculados pero que no recibieron abonos orgánico-minerales, causaron un funcionamiento micorrízico inferior, un estado nutricional deficiente y rendimientos menores.

La similitud en el comportamiento entre la respuesta del tratamiento 75 % FOM + BHMA(t) y los tratamientos más productivos que recibieron canavalia inoculada + BHMA(t) y FOM, en cuanto a porcentaje de colonización micorrízica, rendimiento y estado nutricional, indica un funcionamiento micorrízico óptimo durante los tres ciclos con este tratamiento, aún cuando la inoculación solo se realizó en el trasplante.

Los valores altos de esporas en la rizosfera del banano, en los tratamientos con canavalia inoculada y dosis complementarias de FOM, parecen asociarse con la propia reproducción de estas por la canavalia inoculada e incluso también por significativos incrementos en las esporas de HMA en el suelo; además no se debe descartar un posible incremento del crecimiento radical del banano micorrizado producto del arropo y las fuentes orgánicas, que en unión del reconocido aumento de hifas en estas condiciones (Hodge y Fitter, 2010), pudo conllevar a una cantidad mayor de raíces micorrizadas en el volumen vital de suelo del cultivo

y por tanto originar una población mayor de esporas asociadas.

La reproducible información experimental obtenida en los tratamientos con 75 % FOM + BHMA(t) y los que recibieron canavalia inoculada y dosis complementarias de FOM, con rendimientos y porcentajes de colonización micorrízica altos y similares y contenidos nutricionales óptimos, pero muy diferente cantidad de esporas de HMA, establece interrogantes en cuanto a si el funcionamiento micorrízico de dichos tratamientos fue similar, o si las esporas estaban indicando una cantidad mayor de raíces micorrizadas y estructuras fúngicas por cm^3 de suelo en los tratamientos con canavalia inoculada y dosis de FOM y que fueron necesarias para la rápida utilización de los nutrimentos incorporados con los abonos verdes y el compost.

El estado nutricional del N, P y K en la III^{ra} hoja fue similar a la descrita y explicada, entre el rendimiento relativo y las concentraciones de K foliar, en el acápite anterior (4.2.1.). Los resultados del análisis foliar con altos coeficientes de correlación corroboraron la importancia del K para garantizar rendimientos altos en el banano (Guijarro, 1983; López y Espinosa, 1995) y se comportó como una herramienta adecuada para definir las dosis complementarias de compost y ceniza.

Por tanto, la significativa disminución de las concentraciones de K foliar en la III^{ra} hoja del tratamiento de AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM, de 33,3 y 34,6 g kg^{-1} de K, en los ciclos de PM y V-1, respectivamente a 30 g kg^{-1} de K en el ciclo V-2 (Tabla 20), parecen explicar las razones por las cuales este tratamiento disminuyó significativamente su rendimiento en el último ciclo, indicando que el suministro de K fue insuficiente.

La relación K:N también ha sido utilizada por diversos autores en el cultivo del banano (Guijarro, 1983; López y Espinosa, 1995) como indicador para evaluar su estado nutricional a

partir de la integración de ambos nutrimentos.

Si bien se obtuvo un coeficiente de determinación significativo entre los rendimientos relativos y la relación K:N ($R^2 = 0,72$), este fue menor que el obtenido con la relación entre el rendimiento relativo (%) y la concentración de K (g kg^{-1}) en la lámina media de la III^{ra} hoja en floración, lo cual estuvo relacionado posiblemente a que el N no se manifestó como el elemento limitante y al efecto de dilución anteriormente comentado (Acápite 4.2.1.).

Guijarro (1983) informó el valor de 1,5 como índice adecuado para la relación K:N, mayor al valor de 1,3 obtenido en esta investigación y explicable en las menores concentraciones de K foliar encontradas en estas condiciones de suelo Pardo mullido carbonatado y asociadas con la reconocida dependencia con los mayores contenidos de Ca^{+2} y Mg^{+2} intercambiable en el suelo estudiado (Robinson y Galán, 2012).

Similares incrementos en las concentraciones de K foliar en respuesta a la inoculación con cepas eficientes de HMA se han encontrado en diversos cultivos como café (Fernández, 1999), raíces y tubérculos (Ruiz, 2001) y especies del género *Brachiaria* (González, 2014).

El análisis de suelo, dejó clara también la importancia del K para la nutrición del banano en estas condiciones e incorpora al sistema de trabajo un indicador que permite evaluar la suficiencia en el suministro de K y se convierte en una herramienta útil para guiar la fertilización.

Los resultados demostraron la factibilidad y lo beneficioso de integrar las herramientas clásicas para guiar la fertilización de los cultivos, en los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente (Rivera y Fernández, 2003).

Los resultados tanto del análisis foliar como de suelo coincidieron en establecer que la disminución en el rendimiento del tratamiento AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM fue el

suministro insuficiente de K en el último ciclo (V-2). Por todo lo anterior, se recomienda el siguiente esquema de suministro de nutrimentos: AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM en los ciclos PM y V-1 y ascender a 50 % FOM en el ciclo V-2.

4.2.3. Extracciones y exportaciones de nutrimentos por el banano

- **Masa seca**

Se encontró un efecto positivo y significativo de la aplicación de la FOM en la producción de masa seca en los diferentes órganos, en todos los ciclos evaluados y con resultados superiores al control (Tabla 21). El tratamiento inoculado que recibió la incorporación y arroje de la canavalia inoculada con el 50 % de la FOM, garantizó no solo rendimientos equivalentes al tratamiento 100 % de la FOM, sino que acumuló también valores similares de masa seca.

Los valores mayores de MS se encontraron en los vástagos 1 y 2, en ambos tratamientos. En relación con los valores del acumulado de biomasa fueron entre 1,7 y 2 veces superiores en las plantas fertilizadas con relación al control absoluto.

Los frutos fueron el órgano con valores mayores de biomasa y representaron alrededor del 43 %, en los tratamientos con rendimientos superiores. Las cantidades mayores de biomasa se encontraron en los ciclos de V-1 y V-2.

Desde el punto de vista de la acumulación de masa seca por órgano, el ordenamiento en los tratamientos, con un suministro óptimo de nutrimentos (100 % FOM y AVIHMA + BHMA(t) + 50% FOM) fue el siguiente: frutos > seudotallo > cormo limbo > nervadura > tallo pecíolo > raquis > pámpana.

- **Contenido de N, P y K**

Los contenidos de nitrógeno fueron similares en el cormo, tallo verdadero, pecíolo, limbo y frutos para los tratamientos evaluados, siendo superiores en el seudotallo, nervaduras, raquis y

Tabla 21. Acumulación de masa seca por órgano o parte del órgano de la planta de banano cv. 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado. Muestras realizadas en la cosecha y en cada ciclo productivo.

Tratamiento	Ciclo	Co	St	TV	Pc	Nv	L	R	Pn	Fruto	Total
		MS (g por órgano)									
Control	PM	726±14	938±16	78±5	106±5	149±7	434±15	57±4	27±3	660±15	3177±64
	V-1	822±13	1051±35	87±5	119±6	168±6	495±11	66±3	29±2	748±20	3586±80
	V-2	708±17	920±22	75±6	104±6	144±6	426±10	54±4	28±2	647±18	3106±67
100 % FOM	PM	788±28	1258±31	147±3	141±5	160±5	543±16	86±6	34±2	2360±69	5517±157
	V-1	928±17	1479±25	172±3	166±2	187±7	644±15	100±5	42±3	2779±48	6498±109
	V-2	957±26	1530±30	177±5	172±4	195±8	669±13	103±7	39±5	2880±58	6723±141
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	PM	780±36	1259±58	148±6	139±6	159±8	537±17	84±7	34±2	2364±91	5504±207
	V-1	927±19	1484±27	171±3	167±2	183±7	644±22	97±8	43±4	2784±47	6501±99
	V-2	948±39	1534±39	179±3	173±4	196±4	673±19	100±8	37±3	2901±61	6741±156

$Z_{1-\alpha} * S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1-\alpha = 0,05$), siendo $Z_1 = 1,96$.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a); Co = cormo; St = seudotallo; TV = Tallo verdadero; Pc = pecíolo; Nv = nervadura; L = limbo; R = raquis; Pn = pámpana.

y pámpana en los tratamientos fertilizados (Tabla 22).

Con relación a los contenidos de P (Tabla 23) se encontró un comportamiento dependiente del órgano de la planta en cuestión, oscilando entre 1 y 2 g por órgano. Se encontraron los contenidos mayores en los pecíolos, cormos, limbos y tallos, los demás órganos presentaron contenidos similares.

Los tratamientos fertilizados presentaron contenidos mayores de P en el corno, tallo y pecíolos con valores superiores al tratamiento no fertilizado, e inferiores en el fruto posiblemente asociado a un efecto de dilución, siendo similares los contenidos en el resto de los órganos estudiados. En los tratamientos fertilizados, no se encontraron diferencias entre los ciclos.

Los contenidos de K (Tabla 24) de los órganos o parte de órganos, en los tratamientos fertilizados, fueron entre tres y ocho veces superiores al control y solo similares en el caso de los frutos. En las pámpanas el efecto fue aproximadamente 40 veces mayor.

- **Extracción y exportación de nutrimentos**

Se encontró un efecto positivo y significativo de los tratamientos fertilizados en la extracción de N, P₂O₅ y K₂O, sin diferencias significativas entre los tratamientos 100 % FOM y AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM para los tres nutrimentos evaluados (Tabla 25).

Las extracciones menores se encontraron en el ciclo de PM, y se correspondieron con los más bajos rendimientos y la menor producción de biomasa, mientras las extracciones mayores ocurrieron en los ciclos de los V-1 y V-2, sin diferencias entre ambos.

Las extracciones fueron superiores en el K, seguido del N y por último de P. En el caso del K fueron tres veces mayores que las de N y estas fueron tres veces y media mayores que las de P. No obstante, las extracciones relativamente altas del banano; las exportaciones por cosecha

Tabla 22. Contenidos de N por órgano o parte del órgano de la planta de banano cv. 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado. Muestras realizadas en la cosecha y en cada ciclo productivo.

Tratamiento	Ciclo	Co	St	TV	Pc	Nv	L	R	Pn	Fruto
		N (g por órgano)								
Control	PM	19,8±0,6	10,3±0,4	11,7±0,8	17,2±0,7	10,2±0,6	11,4±1,3	8,8±0,8	9,7±0,3	9,8±0,5
	V-1	19,4±0,8	10,7±0,3	11,7±1,0	17,2±0,7	10,3±0,7	10,9±1,0	8,7±0,9	9,8±0,2	9,8±0,5
	V-2	19,5±0,6	10,8±0,3	11,5±0,8	17,0±0,9	10,4±0,8	10,8±0,8	8,9±0,9	9,6±0,4	9,7±0,6
100 % FOM	PM	19,5±0,5	12,4±0,8	10,4±0,9	16,0±0,7	14,4±0,8	10,1±0,1	15,8±0,7	11,2±0,8	9,0±0,5
	V-1	19,2±0,7	12,3±0,6	10,5±0,7	16,1±0,7	14,3±1,1	10,0±0,3	15,6±0,7	11,1±0,6	9,2±0,3
	V-2	19,4±0,6	12,4±0,6	10,6±0,8	15,9±0,9	14,2±0,7	10,2±0,2	15,5±0,6	11,2±0,6	9,3±0,2
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	PM	19,4±0,4	12,3±0,6	10,5±1,2	16,0±0,7	14,4±0,6	9,9±0,2	15,4±1,1	11,1±0,9	9,1±0,4
	V-1	19,5±0,8	12,2±0,3	10,6±0,5	15,9±0,9	14,4±0,4	9,9±0,3	15,4±0,9	11,2±1,0	9,2±0,2
	V-2	19,4±0,6	12,3±0,4	10,7±0,9	15,9±0,7	14,5±0,4	10,0±0,2	15,7±0,7	11,6±0,5	9,1±0,2

$Z_{1-\alpha} * S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1-\alpha = 0,05$), siendo $Z_{1-\alpha} = 1,96$.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a); Co = cormo; St = seudotallo; TV = Tallo verdadero; Pc = pecíolo; Nv = nervadura; L = limbo; R = raquis; Pn = pámpana.

Tabla 23. Contenidos de P por órgano o parte del órgano de la planta de banano cv, 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado. Muestreos realizados en la cosecha y en cada ciclo productivo.

Tratamiento	Ciclo	Co	St	TV	Pc	Nv	L	R	Pn	Fruto
		P (g por órgano)								
Control	PM	1,4±0,2	1,4±0,1	1,6±0,2	2,5±0,2	1,6±0,1	1,9±0,1	2,0±0,1	1,1±0,1	1,9±0,2
	V-1	1,3±0,1	1,2±0,1	1,6±0,2	2,4±0,2	1,6±0,1	2,0±0,2	2,0±0,2	1,0±0,1	1,9±0,1
	V-2	1,1±0,1	1,2±0,2	1,5±0,3	2,4±0,2	1,5±0,2	1,9±0,1	1,9±0,2	1,0±0,2	1,9±0,2
100 % FOM	PM	2,1±0,3	1,5±0,2	2,1±0,2	3,6±0,2	1,4±0,2	2,1±0,3	1,5±0,2	1,2±0,2	1,1±0,1
	V-1	2,2±0,2	1,6±0,3	2,1±0,2	3,5±0,2	1,5±0,3	2,0±0,3	1,2±0,1	1,1±0,2	1,2±0,1
	V-2	2,1±0,3	1,5±0,3	2,0±0,1	3,3±0,3	1,3±0,2	2,0±0,2	1,3±0,2	1,2±0,3	1,1±0,1
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	PM	2,2±0,3	1,4±0,1	2,0±0,2	3,5±0,3	1,3±0,1	1,9±0,2	1,4±0,1	1,2±0,3	1,1±0,1
	V-1	2,2±0,2	1,6±0,2	2,1±0,2	3,5±0,2	1,5±0,3	2,0±0,3	1,2±0,1	1,1±0,2	1,2±0,1
	V-2	2,0±0,1	1,4±0,1	2,0±0,1	3,2±0,3	1,4±0,2	2,2±0,2	1,4±0,2	1,2±0,3	1,1±0,1

$Z_{1-\alpha} * S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1-\alpha = 0,05$), siendo $Z_{1-\alpha} = 1,96$.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a); Co = cormo; St = seudotallo; TV = Tallo verdadero; Pc = pecíolo; Nv = nervadura; L = limbo; R = raquis; Pn = pámpana.

Tabla 24. Contenido de K por órgano o parte del órgano de la planta de banano cv. 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado. Muestreos realizados en la cosecha y en cada ciclo productivo.

Tratamiento	Ciclo	Co	St	TV	Pc	Nv	L	R	Pn	Fruto
		K (g por órgano)								
Control	PM	9,9±0,2	1,9±0,2	13,9±0,4	34,3±0,6	4,0±0,2	12,9±0,4	38,1±0,3	2,3±0,2	23,9±0,4
	V-1	10,3±0,2	2,2±0,2	14,2±0,5	34,5±0,5	4,3±0,4	13,0±0,5	38,2±0,4	2,2±0,2	24,0±0,6
	V-2	9,8±0,3	1,8±0,2	13,7±0,4	34,3±0,6	4,0±0,3	12,8±0,4	37,9±0,3	2,0±0,2	23,9±0,6
100 % FOM	PM	36,0±0,9	16,1±0,9	75,9±0,7	93,5±1,2	10,5±1,0	35,5±0,6	91,8±1,3	77,0±0,9	23,9±0,6
	V-1	36,5±0,8	16,6±0,9	76,9±0,6	94,9±0,9	11,6±0,9	35,8±0,7	95,9±1,2	78,4±1,2	24,2±0,6
	V-2	36,7±0,7	16,8±0,8	77,4±0,8	95,5±0,8	11,7±0,8	35,8±0,7	95,9±1,1	78,4±1,1	24,7±0,6
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	PM	36,7±0,8	16,8±0,7	76,7±1,2	95,1±1,0	11,3±0,6	36,2±0,2	93,6±0,5	78,2±1,2	24,5±0,6
	V-1	37,4±0,7	17,5±0,9	78,0±1,4	95,9±1,2	12,5±1,1	36,7±0,6	97,8±0,7	80,4±1,3	25,3±0,7
	V-2	37,6±0,8	17,7±0,7	78,3±1,7	96,1±1,4	12,9±1,5	36,9±0,8	97,6±0,7	80,6±1,5	25,9±0,9

$Z_{1-\alpha} * S_x = \pm$ Intervalo de confianza ($1-\alpha = 0,05$), siendo $Z_{1-\alpha} = 1,96$.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a); Co = cormo; St = seudotallo; TV = Tallo verdadero; Pc = pecíolo; Nv = nervadura; L = limbo; R = raquis; Pn = pámpana.

Tabla 25. Extracciones y exportaciones de nutrimentos por el banano cv. 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado en los tres ciclos de cosecha.

Tratamiento	Ciclo	Concepto	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			(t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)		
Control	PM	Extracción	4,41±0,09	56,13±1,04	16,15±0,44	63,20±1,72
		Exportación	1,00±0,03	9,64±0,44	4,25±0,51	29,95±0,83
	V-1	Extracción	4,98±0,11	63,23±1,22	17,61±0,41	72,88±1,52
		Exportación	1,13±0,03	10,95±0,62	4,94±0,30	34,09±1,04
	V-2	Extracción	4,31±0,10	54,74±2,63	14,56±0,78	61,27±2,01
		Exportación	0,97±0,03	9,33±0,62	4,28±0,38	29,20±0,85
100 % FOM	PM	Extracción	7,66±0,22	91,05±3,42	26,54±0,56	273,70±7,43
		Exportación	3,40±0,10	31,47±2,25	8,48±0,76	109,44±2,80
	V-1	Extracción	9,02±0,15	108,03±3,41	32,64±1,51	332,22±8,90
		Exportación	4,00±0,07	38,23±0,97	10,54±0,50	133,59±3,80
	V-2	Extracción	9,33±0,20	111,45±3,16	32,12±2,65	347,14±5,05
		Exportación	4,14±0,09	39,19±0,82	10,27±0,98	139,42±2,64
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	PM	Extracción	7,64±0,29	90,27±3,17	25,99±1,67	272,95±9,51
		Exportación	3,40±0,15	31,53±0,42	8,26±0,61	109,34±4,71
	V-1	Extracción	9,02±0,14	107,24±2,71	32,64±2,12	332,67±8,60
		Exportación	4,00±0,06	37,73±0,71	10,55±0,81	133,78±3,69
	V-2	Extracción	9,36±0,22	110,78±3,49	31,21±1,70	344,79±12,84
		Exportación	4,17±0,08	38,83±1,27	9,90±0,59	138,65±2,94

Z_{1-α} * S_x = ±Intervalo de confianza (1- α = 0,05), siendo Z₁ = 1,96.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

(racimo) oscilaron alrededor del 40, 35 y 32 % del total extraído para el K_2O , N y P_2O_5 respectivamente. Se reincorporaron entre 60 y 68 % de los nutrientes extraídos como residuos al sistema, un aspecto muy importante a tener en cuenta en los esquemas de suministro de nutrientes. Guijarro (1983) utiliza esta característica para fundamentar la baja respuesta a la fertilización fosfórica que comúnmente se encuentra.

En la tabla 26 se presenta un balance parcial entre los aportes y las exportaciones en los diferentes macronutrientes primarios para los tratamientos: control, 100 % FOM, AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM y además se incorporó la estimación realizada para la recomendación obtenida experimentalmente: AVIHMA + 25 % FOM en los ciclos PM y V-1 y ascender a 50 % FOM en el ciclo V-2, derivada de los resultados en rendimiento, funcionamiento micorrízico y análisis foliar.

En el tratamiento control los balances fueron negativos para todos los elementos con valores relativamente altos para el K, en correspondencia con los niveles de extracción que hace el banano.

Es de destacar que en el tratamiento que recibió el 100 % de la FOM los balances fueron excesivamente positivos y poco equilibrados, siendo comparativamente muy altas las aplicaciones de los tres macronutrientes para el nivel de rendimiento y exportaciones obtenidos e indicando la posibilidad de disminuir dosis de FOM a partir de lograr incrementos en la eficiencia de absorción de los nutrientes del suelo y los fertilizantes.

En el tratamiento de AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM con el cual se mantienen similares rendimientos, extracciones y exportaciones a los obtenidos en el tratamiento de 100 % FOM, el balance fue positivo y más ajustado pero aún con valores altos, sobre todo para el K.

Es de señalar que aunque el balance en el P es numéricamente menor que el del K; sin

Tabla 26. Balance de N, P₂O₅ y K₂O en base a aportes y exportaciones en el agroecosistema de banano cv. 'FHIA 18' en suelo Pardo mullido carbonatado. Rendimiento acumulado de los tres ciclos.

Tratamiento	Rendimiento acumulado	Nutriente	Aporte FOM	Extracción	Exportación	Balance	AV inoculado
	(t ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)				(kg ha ⁻¹)
1. Control	46,69 b	N		174,1±2,1	29,9±1,3	-30	
		P ₂ O ₅		48,3±1,4	13,5±0,1	-14	
		K ₂ O		197,3±4,0	93,2±2,1	-93	
2. 100 % FOM	79,93 a	N	573	309,6±7,2	108,3±3,3	+465	
		P ₂ O ₅	843	91,3±3,4	29,3±1,1	+814	
		K ₂ O	2505	953,1±13,1	382,5±3,1	+2123	
3. AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	81,09 a	N	288	308,3±6,3	108,1±1,7	+180	347±4,5
		P ₂ O ₅	423	89,9±2,3	28,7±0,9	+393	69±1,0
		K ₂ O	1254	950,4±14,8	381,8±4,2	+871	313±4,0
4. AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) + 50 % FOM (V-2)	81,78 a	N	192	310,8±6,8	108,8±1,2	+84	347±4,5
		P ₂ O ₅	282	93,3±3,8	29,8±1,3	+252	69±1,0
		K ₂ O	836	958,2±29,5	385,8±8,9	+450	313±4,0
S _x =	1,01**						

*Esquema recomendado de suministro de FOM en presencia de AV inoculado para la plantación de banano y obtenido en base al tratamiento óptimo encontrado en cada ciclo. Las estimaciones de rendimiento, extracciones y exportaciones en base a los reales obtenidos en cada ciclo.

Z_{1-α} * S_x = ±Intervalo de confianza (1-α = 0,05), siendo Z₁ = 1,96.

Leyenda: AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a). Los datos del tratamiento 4 se estimaron a partir del tratamiento AVPHMA-AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM en PM y V-1 y el tratamiento AVPHMA-AVIHMA + BHMA(t) + 50 % NPK en el V-2.

embargo, la relación entre los contenidos y aportes altos, incorporados con las fuentes orgánicas, las necesidades y exportaciones relativamente bajas del elemento por el cultivo, conllevan a enriquecimientos en el suelo para varios años.

El balance parcial estimado para el tratamiento recomendado [AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)] fue positivo (Tabla 26) y resultó más equilibrado respecto a los restantes tratamientos, aunque las extracciones totales de los tres ciclos de K_2O y N fueron superiores a los aportes, no debe ser preocupante, teniendo en cuenta la práctica de incorporación de los residuos del banano al suelo. Los residuos aportados resultan de rápida descomposición y contienen entre el 60 y 65 % de los nutrimentos extraídos.

Los reciclajes asociados a la canavalia, si bien se corresponden con nutrimentos que se encuentran dentro de su sistema suelo-planta, ponen también a disposición del banano con un funcionamiento micorrízico efectivo, nutrimentos con una rápida mineralización que indudablemente participan en su nutrición y permiten suplir a la planta, mientras las altas cantidades presentes en los residuos del banano se vuelven disponibles.

El análisis de suelo en las propiedades pH, contenido de materia orgánica, fósforo disponible y K^+ intercambiable al inicio del experimento y al finalizar la cosecha del V-2 en los tratamientos con canavalia inoculada y dosis complementarias de FOM (Tabla 27) corrobora los anteriores planteamientos.

Se encontraron incrementos significativos en el fósforo disponible y en el K^+ intercambiable y aunque el tratamiento con canavalia inoculada y que recibió el 25 % FOM presentó valores inferiores al índice crítico encontrado, el tratamiento con 50 % FOM mostró valores altos e indicativos de un enriquecimiento en el sistema. Los contenidos de materia orgánica fueron ligeramente superiores y el pH se mantuvo por encima de 7.

Tabla 27. Efecto del esquema de suministro de nutrimentos en base abono verde inoculado y dosis complementarias de FOM en el estado de algunas propiedades que caracterizan la fertilidad del horizonte cultivable (0-0,20 m) del suelo, al finalizar la cosecha del V-2 y comparado con las condiciones iniciales, en el agroecosistema de banano cv. 'FHIA 18' en suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	pH		MO		P ₂ O ₅		K ⁺ intercambiable	
	H ₂ O		(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)		(cmol _c kg ⁻¹)	
	Inicial	Cosecha V-2	Inicial	Cosecha V-2	Inicial	Cosecha V-2	Inicial	Cosecha V-2
AVIHMA + BHMA(t) + 25 % FOM	7,85	7,70	21,01	24,0	31,86	75,5	0,40	0,67
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM		7,65		25,5		80,0		0,86

Leyenda: AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

Discusión

Los bananos requieren cantidades grandes de minerales para mantener una productividad alta, destacándose la gran demanda de K, aunque también requieren de N en cantidades altas (Castillo y col., 2011).

La información obtenida en la producción de biomasa y los contenidos nutricionales de los diferentes órganos de la planta se encuentra en correspondencia con la respuesta alcanzada por los diferentes tratamientos en el rendimiento, lo cual constituye una medida real de la demanda nutricional de un cultivo desde la plantación hasta su cosecha.

Según Bertsch (2003) la demanda de nutrimentos para un cultivo está dada por su producción de biomasa y las concentraciones de nutrimentos totales en los tejidos de la planta. Por otra parte, en los frutales, la extracción de nutrimentos está relacionada con la producción de frutos y el crecimiento de la parte aérea (Trocme y Gras, 1979).

Un resultado importante fue que las exportaciones realizadas por el cv. 'FHIA-18', en los tratamientos mejores, fueron solo del orden del 32 al 40 % del total extraído, con los valores mayores para el K, por tanto los residuos de cosecha del banano y el reciclaje de sus nutrimentos serán un componente importante a tener en cuenta en los esquemas de suministro de nutrimentos a aplicar y sobre todo por la relativa rápida descomposición que presentan, asociado a los bajos niveles de lignificación de los residuos y la presumible presencia de poblaciones altas de microorganismos en las plantaciones, en las que se aplica compost.

Resultó también muy favorable el reciclaje de los nutrimentos asociados a la canavia precedida e intercalada, con bajas relaciones C:N (García y col., 2001) lo cual debe conllevar a una rápida descomposición y garantizar cantidades importantes de nutrimentos disponibles al banano.

Las cantidades de nutrientes reciclados por la canavalia, que no se tuvieron en cuenta en el cálculo del balance de aportes y salidas en el agroecosistema de banano, unido con las ya referidas exportaciones bajas de N, P₂O₅ y K₂O y la incorporación de sus residuos, permitieron que a pesar de las altas extracciones de los macronutrientes, los tratamientos con abono verde inoculado requirieron solo del 25 % de la FOM, en los dos primeros ciclos (PM y V-1) para alcanzar un estado nutricional satisfactorio y producir rendimientos altos, incrementando las dosis de abonos al 50 % FOM en el tercer ciclo (V-2) y garantizar al final de los ciclos estudiados balances positivos, en relación con los aportes y las exportaciones.

En estos balances parciales no se tuvieron en cuenta los posibles aportes por FBN de la canavalia, los cuales según algunos autores pueden oscilar entre el 40 y el 90 % del N fijado (Álvarez, 2000; Resende y col., 2003; Martín y col., 2007), la interacción positiva e incrementos en número de nódulos que se origina por la aplicación conjunta de HMA y rizobios en esta leguminosa (Tamayo, 2014), lo cual debe conllevar a alcanzar resultados más positivos.

En los anteriores tópicos se estableció la importancia de la nutrición potásica en el banano para explicar la conducta diferenciada entre los tratamientos, además los resultados obtenidos en la extracción y la exportación de nutrientes fueron coincidentes.

Fue indispensable incorporar los resultados del balance parcial de aportes y salidas por elemento para de conjunto con el rendimiento, el análisis foliar y el análisis de suelo, recomendar un esquema de aplicación de dosis complementarias de FOM para el banano micorrizado en presencia de la canavalia inoculada.

Los balances parciales en base a aportes y exportaciones encontrados en banano fueron favorables y mostraron por tanto una situación diferente a las plantaciones de *Brachiaria* inoculadas con cepas eficientes de HMA (González, 2014), que si bien garantizaron durante

siete años rendimientos altos y un estado nutricional satisfactorio. No obstante se presentaron balances negativos del K que fueron compensados a expensas de una reducción de sus contenidos difícilmente disponible en el suelo.

Desde el punto de vista cuantitativo el K resultó ser el elemento más importante, siguiéndole en orden el N y el P, lo cual confirmó los resultados reportados por Guijarro, (1983); Mostafa, (2005); Tuner y col. (2007) y Castillo y col. (2011); Robinson y Galán, (2012).

Los resultados obtenidos en la extracción de K tanto a nivel de la biomasa total como del racimo, fueron comparables con los reportados en diferentes investigaciones en el ámbito nacional (Guijarro, 1983) e internacional (Castillo y col., 2011), que a su vez explican los resultados obtenidos por los diferentes tratamientos en el rendimiento en concordancia con las características edáficas del suelo estudiado y las especificidades del cultivar utilizado ('FHIA-18').

Los balances parciales positivos de aportes y exportaciones para los tratamientos con canavalia inoculada y dosis complementarias de la FOM, demostraron los beneficios de un funcionamiento micorrízico eficiente favorecidos por una capacidad de absorción mayor de las plantas micorrizadas (Medina y Azcón, 2010; Smith y Smith, 2011), que permitieron una eficiencia de aprovechamiento superior del fertilizante orgánico-mineral y por tanto una disminución de las dosis requeridas.

Los resultados del análisis de suelo al finalizar la cosecha del V-2 y comparado con las condiciones iniciales (Tabla 27), corroboraron los criterios obtenidos con el balance de aportes y exportaciones, reflejando incrementos en los contenidos de MO, fósforo disponible y K⁺ intercambiable y dejaron claro que el modelo de plantas micorrizadas eficientemente con inoculación permite un aprovechamiento mayor de los fertilizantes orgánico-minerales y no

conlleva a disminuciones en la fertilidad del suelo. No menos importante que el mantenimiento del pH 7,65 ha permitido el funcionamiento efectivo de la cepa *R. intraradices* (INCAM-11) durante los diferentes ciclos estudiados.

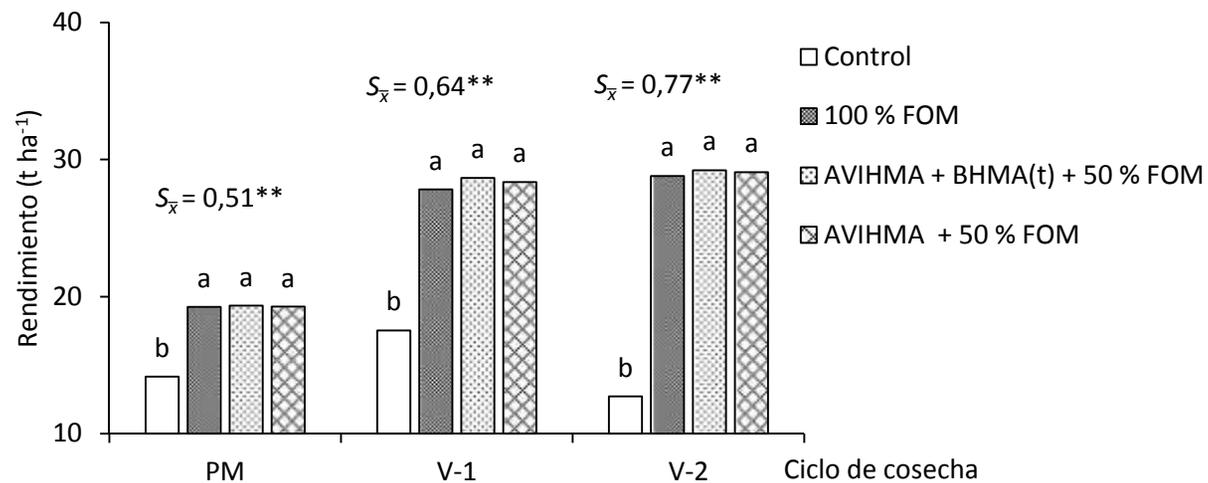
La integración de indicadores como: rendimiento, funcionamiento micorrízico, análisis foliar y de suelo, extracciones y balances en base a aportes y exportaciones, evidencian la importancia de realizarlos y valorarlos de conjunto cuando se persigue la definición de esquemas de suministro de nutrimentos para alcanzar un estado nutricional adecuado y rendimientos altos, en plantaciones de banano, con un funcionamiento micorrízico efectivo, disminuyendo las dosis de fertilizantes y garantizando la sostenibilidad del sistema.

4.3. Experimento 3. Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante a campo del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada

- **Rendimiento**

De forma similar a como se manifestó en el experimento 2, se obtuvo en el rendimiento del banano y en cada uno de los tres ciclos estudiados y en el acumulado (Figura 13) un efecto positivo y significativo a la aplicación del 100 % FOM y del manejo integrado de HMA, canavalia y el 50 % de la FOM, con beneficios similares entre ambos, lo que indicó reproducibilidad de los resultados encontrados (Figura 8) y comprueba la factibilidad de disminuir cantidades de fertilizante orgánico-mineral a partir del uso de la canavalia inoculada.

Es importante destacar que los dos tratamientos con abono verde inoculado y 50 % de la FOM presentaron rendimientos altos y similares. No se encontraron efectos en el rendimiento por la reinoculación del banano con la cepa de *R. intraradices* en el trasplante a campo.



Letras diferentes en cada barra expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Figura 13. Efecto del manejo de la inoculación con la cepa de *R. intraradices*, en presencia de abono verde y dosis de FOM, en el rendimiento del banano cv. 'FHIA-18' en cada ciclo productivo. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

- **Funcionamiento fúngico**

Los tratamientos inoculados presentaron porcentajes de colonización micorrízica y contenidos de esporas altos y significativos (Tabla 28), con valores similares entre sí y con una alta reproducibilidad de los efectos obtenidos por los tratamientos en el experimento 2. Los valores para ambos indicadores fueron superiores a los obtenidos en los tratamientos que no recibieron inoculantes micorrízicos.

En el trasplante, no se encontraron diferencias por la inoculación micorrízica en el porcentaje de colonización del banano entre los dos tratamientos con abono verde inoculado en presencia del 50 % FOM, mostrando una alta correspondencia con los resultados obtenidos por los dos tratamientos en el rendimiento (Figura 13).

Los contenidos de esporas presentaron un efecto similar, con incrementos altos por la inoculación en presencia de canavalia. Los valores altos de esporas en los tratamientos AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM y su relación con los ciclos productivos fueron similares a los encontrados en los tratamientos en el experimento 2. De forma similar no se encontraron diferencias por la inoculación del banano durante el trasplante en el contenido de esporas, entre los tratamientos con canavalia inoculada y que recibieron el 50 % de la FOM.

- **Concentraciones foliares de N, P, K**

Las concentraciones foliares de N, P y K (Tabla 29) reflejaron el efecto diferenciado de los tratamientos y su correspondencia con los resultados en rendimientos y variables fúngicas evaluadas.

Se obtuvo una alta asociación entre los valores de K foliar en la III^{ra} hoja y el rendimiento relativo ($R^2 = 0,89$), de forma similar a lo encontrado para el nutrimento en el experimento 2. Los resultados anteriores indicaron que no fue necesaria la reinoculación en el trasplante para

Tabla 28. Efecto de la reinoculación micorrízica en el trasplante a campo, en la colonización y el número de esporas en 0-0,20 m de profundidad. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	PM	V-1	V-2	PM	V-1	V-2
	Colonización			Número de esporas		
	(%)			(esporas 50 g ⁻¹ de suelo)		
Control	9,0 c	8,5 c	9,0 c	44,0 b	40,0 b	30,0 b
100 % FOM	15,3 b	15,0 b	12,8 b	71,0 b	48,0 b	39,0 b
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	60,3 a	61,3 a	58,5 a	820,0 a	1531,0 a	1421,0 a
AVIHMA + 50 % FOM	60,3 a	61,3 a	58,5 a	749,0 a	1540,0 a	1341,0 a
$S_x =$	0,3**	0,3**	0,4**	24,1**	35,8**	31,7**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

Tabla 29. Efecto de la reinoculación micorrízica con *R. intraradices* en trasplante a campo, el abono verde y dosis de compost y ceniza en cada ciclo productivo en la concentración foliar de N, P y K (g kg^{-1}), evaluado en la lámina media de la III^{ra} hoja en floración del banano cv. 'FHIA-18'. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	PM			V-1			V-2		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(g kg^{-1})								
Control	32,50 a	2,00	26,38 b	30,13 a	1,90	24,88 b	28,25 a	2,10	23,75 b
100 % FOM	27,25 b	2,05	34,00 a	25,38 b	1,95	36,63 a	23,13 b	2,00	37,38 a
AVIHMA + BHMA(t) + 50 % FOM	27,88 b	2,05	34,00 a	25,63 b	2,00	35,38 a	23,38 b	2,05	37,38 a
AVIHMA + 50 % FOM	27,85 b	2,08	34,13 a	25,63 b	2,05	36,25 a	24,00 b	1,90	36,75 a
$S_x =$	0,55**	0,07 NS	0,57**	0,33**	0,07 NS	0,51**	0,38**	0,06 NS	0,38**

Letras diferentes en cada columna expresan diferencias significativas ($p < 0,01$) de acuerdo con Prueba de Tukey.

Leyenda: Ciclos productivos = (PM) Planta Madre; (V-1) Vástago-1 y (V-2) Vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

garantizar un funcionamiento micorrízico efectivo del banano y obtener los beneficios ya referidos de la micorrización, en el aprovechamiento de las fuentes orgánico-minerales y el rendimiento del cultivo.

Discusión

Los resultados encontrados corroboraron la información obtenida en el experimento 2 en cada una de las variables analizadas, dejando claro la alta reproducibilidad del manejo conjunto de canavalia inoculada precedente e intercalada y dosis de compost y ceniza. La integración en su empleo permitió disminuir las cantidades de FOM en comparación con los tratamientos que no utilizan la canavalia inoculada.

Los valores altos de los porcentajes de colonización micorrízica (60 %) obtenidos de los tratamientos, han sido considerados propios de una micorrización efectiva en canavalia y maíz (Martín y col., 2012) y otros cultivos (Ruiz, 2001; González, 2014; Tamayo, 2014) que en unión de los valores altos de esporas obtenidos evidenciaron la efectividad de la cepa de *R. intraradices* para el banano, en estas condiciones edáficas.

Es de destacar que el esquema de suministro de nutrimentos basado en los abonos verdes inoculados y dosis medias de FOM fue adecuado para alcanzar un funcionamiento micorrízico efectivo.

La similitud entre los resultados de las variables evaluadas, en los tratamientos con canavalia inoculada y dosis del 50 % de la FOM pero que difirieron en la aplicación o no del inoculante micorrízico durante el trasplante a campo, establecieron que no resulta necesario realizar la inoculación en esta etapa del cultivo.

Lo anterior debe estar relacionado entre otros aspectos por la alta reproducción de esporas realizada por la canavalia inoculada y utilizada como cultivo precedente, con la cual se

encontraron hasta 500 esporas 50 g^{-1} de suelo, en el momento del trasplante del banano y que garantizó un potencial alto de inóculo que permitió una micorrización eficiente del banano.

Con independencia de que no se realizó una identificación de las esporas reproducidas en la canavalia inoculada, presumiblemente deben corresponder a la cepa inoculada y en cualquiera de los casos, fue una consecuencia de la inoculación de la canavalia con una cepa eficiente por tipo de suelo, en este caso de *R. intraradices* (INCAM-11).

En los resultados obtenidos debió incidir positivamente el efecto de mantenimiento de la micorrización efectiva entre los diferentes ciclos del cultivo, lo cual fue demostrado con anterioridad (Acápite 4.2.2.) y en alguna medida también puede contribuir el hecho de que las plantas fueron inoculadas en la aclimatación.

El hecho de no inocular en el trasplante el banano conllevó a ahorros de 28 kg ha^{-1} de inoculante, que representan el 47 % en relación con el esquema de inoculación utilizado en el experimento 2, en el cual se realizaron inoculaciones en la fase de aclimatación, en la siembra de la canavalia y en el trasplante del banano al campo.

4.4. Factibilidad económica de los resultados obtenidos en la producción de banano

Los resultados de los experimentos desarrollados en condiciones de campo evidenciaron la posibilidad de obtener rendimientos elevados, con disminuciones significativas de la fertilización orgánico-mineral, manteniendo un estado nutricional satisfactorio y balances equilibrados y positivos, en base a los aportes y las exportaciones, a través del uso de los abonos verdes inoculados con cepas eficientes de HMA y los incrementos en eficiencia de utilización de las fuentes de fertilización orgánico-mineral aplicadas.

Los tratamientos con FOM sustituyeron totalmente la fertilización mineral y presentaron mejores indicadores económicos, dados por ganancias y relaciones beneficio:costo superiores (Tabla 30),

Tabla 30. Evaluación económica de los resultados obtenidos durante los tres ciclos productivos. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Ciclos	Tratamiento	Producción		Ganancia	B:C	C:P
		Valor	Costos			
		(MCUP ha ⁻¹)				
Planta madre	100 % NPK	25,5	9,7	15,8	2,63	0,38
	100 % FOM	25,5	9,2	16,2	2,76	0,36
	75 % FOM + BHMA(t)	25,5	9,0	16,5	2,84	0,35
	AVIHMA + 50 % FOM	25,5	9,3	16,1	2,73	0,37
	AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)	25,5	8,9	16,5	2,85	0,35
Vástago-1	100 % NPK	36,6	8,7	27,9	4,20	0,24
	100 % FOM	36,6	8,2	28,4	4,49	0,22
	75 % FOM +BHMA(t)	36,6	7,9	28,7	4,64	0,22
	AVIHMA + 50 % FOM	36,6	7,0	29,5	5,19	0,19
	AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)	36,6	6,7	29,9	5,48	0,18
Vástago-2	100 % NPK	37,2	8,8	28,5	4,25	0,24
	100 % FOM	37,2	8,3	29,0	4,50	0,22
	75 % FOM + BHMA(t)	37,2	7,9	29,3	4,71	0,21
	AVIHMA + 50 % FOM	37,2	7,1	30,2	5,26	0,19
	AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)	37,2	7,1	30,2	5,26	0,19
Acumulado	100 % NPK	99,3	27,2	72,1	3,66	0,27
	100 % FOM	99,3	25,7	73,6	3,87	0,26
	75 % FOM + BHMA(t)	99,3	24,8	74,5	4,01	0,25
	AVIHMA + 50 % FOM	99,3	23,5	75,8	4,23	0,24
	AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)	99,3	22,7	76,6	4,38	0,23

El desglose de estos indicadores aparece en el anexo 4. Valor de la producción se consideró como el valor promedio de los cinco tratamientos evaluados. **Leyenda:** B:C = relación beneficio:costo; C:P = costo por peso; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; BHMA(t) = banano inoculado en trasplante; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo, de N y de K₂O respectivamente y 38 g por plantón de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a); FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 g por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a).

además ahorraron totalmente los costos en divisas por la importación de los fertilizantes minerales, lo cual no fue evaluado en el análisis económico realizado en que se consideró una tasa de cambio USD:CUP de 1 a 1.

En todos los casos las ganancias y relaciones B:C se incrementaron desde el ciclo de PM a los seguidores, dado por los incrementos significativos en rendimientos obtenidos en los vástagos y las cantidades similares de fertilizantes minerales u orgánico-minerales que se aplicaron en cada ciclo.

De forma general los diferentes tratamientos a base de la FOM e inoculación de cepas eficientes de HMA presentaron siempre indicadores económicos satisfactorios, con disminuciones en las cantidades de abono orgánico-minerales a aplicar, que si bien no necesitan ser importados; sin embargo en el país no existe disponibilidad para utilizarse masivamente en la producción de banano.

El esquema de fertilización orgánico-mineral recomendado con presencia de la canavalia inoculada, la dosis de 25 % de la FOM en los dos primeros ciclos de producción (PM y V-1) y un incremento del 50 % en el tercero (V-2), presentó una factibilidad económica superior, asociado con los rendimientos altos y estables, las cantidades menores de fertilizantes orgánico-minerales a utilizar y por tanto una disminución significativa en los costos de producción. Las relaciones B:C estimadas con este esquema además de ser las mayores, fueron muy favorables y del orden de 4:1.

El análisis económico (Tabla 30) no tuvo en cuenta la escasa disponibilidad de las fuentes orgánico-minerales en el país. Hecho que impide en la actualidad una aplicación masiva de la fertilización orgánico-mineral recomendada, en la producción de banano.

Por tanto los ahorros en la aplicación de los abonos orgánico-minerales por área presentan además un efecto económico adicional, asociado con la superficie mayor de banano que se podrá beneficiar con el esquema de suministro de nutrimentos recomendado, si se aplicaran las mismas cantidades totales de fuentes orgánico-minerales, utilizadas en el banano.

En la tabla 31 se muestra el análisis económico asociado con el incremento de las áreas beneficiadas con el nuevo esquema de suministro de nutrientes recomendado y con la cantidad de FOM que se recomienda actualmente para 1,0 ha (MINAG, 2011a), se puedan beneficiar 3,0 ha y comparado entonces con el rendimiento y otros indicadores obtenidos en una ha que recibe el 100 % FOM y otras dos que no reciben ningún fertilizante. Los estimados de incremento en rendimiento y ganancias por este concepto son del orden del 48 y 54 % respectivamente.

Los resultados económicos y productivos en el presente estudio indicaron desde el punto de vista científico, técnico y económico la factibilidad de la integración de los inoculantes micorrízicos, el abono verde y la aplicación de cantidades menores de la FOM como una nueva propuesta, capaz de elevar la eficiencia de la fertilización, disminuir los costos de producción, y que pueden incrementar en un 300 % las áreas plantadas con banano que recibirán fertilizantes orgánico-minerales y que obtendrán rendimientos altos.

4.5. Consideraciones generales

Los resultados de la investigación indicaron la factibilidad y beneficios del modelo de producción basado en plantas de banano micorrizadas eficientemente, a partir de la inoculación con cepas eficientes de HMA. En el modelo se alcanzó un funcionamiento micorrízico efectivo desde la etapa de aclimatación de las plantas y durante los tres ciclos evaluados en la plantación de banano cv. 'FHIA-18'. Se demostró en estas condiciones edáficas, que las cepas introducidas fueron más efectivas que los HMA residentes para lograr una micorrización eficiente y sus beneficios.

La aplicación de la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) presentó los resultados mejores, originando plantas con crecimiento, biomasa, estado nutricional, indicadores del funcionamiento micorrízico y supervivencia mayores, con efectos significativamente superiores al del resto de las cepas de HMA estudiadas y corroborando los criterios de cepa eficiente de HMA para los cultivos dependientes de las

Tabla 31. Valoración económica basada en el incremento de áreas beneficiadas por la introducción de abonos verdes, HMA y bajas dosis de abono orgánico-mineral y destinando al banano, la misma cantidad de fuentes orgánico-minerales. Suelo Pardo mullido carbonatado.

Cantidad de abono orgánico-mineral	Tratamiento	Área	Producción	Diferencia	Valor	Costos	Ganancia	Diferencia
		(ha)	(t)		(MCUP)			
28 y 14 t ha ⁻¹ de compost y ceniza	1 ha 100 % FOM + 2 ha control sin fertilizantes	3,0	166,0		202,1	54,2	148,0	
	3 ha AVIHMA + 25 % FOM (PM y V-1) y 50 % FOM (V-2)	3,0	244,0	79,0	297,0	68,1	228,9	80,9

Leyenda: AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; FOM = fertilización orgánico-mineral; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza en cada ciclo respectivamente (MINAG, 2011a); Densidad de 1 388 plantas ha⁻¹; PM = Planta madre; V-1 = Vástago-1; V-2 = Vástago-2.

micorrización y cultivados en suelo Pardo mullido carbonatado (Ruiz, 2001), ampliando con el banano los cultivos que responden al criterio de baja especificidad cepa eficiente de HMA por cultivo.

Asimismo la efectividad de la cepa eficiente de HMA fue dependiente del suministro de nutrimentos, ejemplificándose tanto en la etapa de aclimatación como en la etapa de plantación y coincidente con los criterios más generales de efectividad y suministro de nutrimentos (Rivera y col., 2007).

En la etapa de aclimatación fueron necesarias relaciones de S:AO de 1:1. Proporciones con cantidades inferiores de AO limitaron el funcionamiento y con el 100 % de AO inhibieron la simbiosis micorrízica arbuscular. No se encontraron diferencias entre la utilización de compost o humus de lombriz como tipos de abonos orgánicos. Las cantidades relativamente altas de AO para un funcionamiento micorrízico óptimo (relación de S:AO de 1:1) en comparación con los obtenidos en la producción de posturas de cafeto, parece estar dado por el ritmo de crecimiento y la demanda de nutrimentos de las plantas de banano.

La efectividad superior de la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) en comparación con el resto de las cepas evaluadas, en cualquiera de las relaciones S:AO estudiadas, parece deberse a que en todas las relaciones S:AO utilizadas, los pH obtenidos se mantienen por encima de 7 y coincidente con los criterios nuevamente obtenidos de la mayor efectividad de la inoculación con *R. intraradices* (INCAM-11) en condiciones de suelo con pH > 7 (Rivera y col., 2015).

La inoculación de canavalia con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) incrementó significativamente la producción de biomasa, los contenidos nutricionales de los macroelementos primarios, los porcentajes de colonización micorrízica y de esporas de HMA, las cantidades de nutrimentos que se reciclan al utilizarse como abono verde y que son localizados para la nutrición de cultivos posteriores, extendiendo al suelo Pardo mullido carbonatado los resultados que se habían alcanzado anteriormente en suelos Ferralíticos Rojos, Pardos Sialíticos y Gley Nodular Ferruginosos

(Martín, 2009; Tamayo, 2014; Martín y col., 2015).

El banano en suelo Pardo mullido carbonatado necesitó de las aplicaciones de fertilizantes para obtener rendimientos altos, bien fuera en forma mineral, como orgánico-mineral. En este suelo, el banano respondió favorablemente a la inoculación con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) en el trasplante y se obtuvieron rendimientos y porcentajes de colonización micorrízica altos, un estado nutricional satisfactorio, con disminuciones en el 25 % de las cantidades de FOM a aplicar recomendadas.

La integración de la canavalia como AV precedente e intercalado y la inoculación con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11), tanto del banano como de la canavalia, presentó un significativo efecto que se tradujo en plantaciones de banano con funcionamiento micorrízico óptimo, estado nutricional satisfactorio y rendimientos altos, con la característica de que las cantidades complementarias de FOM disminuyeron hasta un 75 % de las dosis recomendadas en los ciclos de PM y V-1, y que se incrementaron hasta un 50 % en el ciclo del V-2, asociado con la nutrición potásica, aunque siempre con cantidades significativamente inferiores a las dosis recomendadas (MINAG, 2011).

Los resultados comprobaron que si bien la utilización de canavalia como precedente elevó los contenidos de propágulos micorrízicos residentes, este incremento no garantizó un funcionamiento micorrízico óptimo en el banano que se trasplantó a continuación y por tanto la sola utilización de la canavalia como abono verde precedente requerirá de la inoculación micorrízica para obtener plantaciones de bananos micorrizadas eficientemente. Los incrementos en propágulos micorrízicos al cortar la canavalia inoculada precedente fueron 12 veces superiores en relación a las cantidades de esporas residentes, lo cual, en unión de inocular el banano en el trasplante a campo y mantener la canavalia inoculada intercalada, permitió contenidos altos de esporas de HMA en la rizosfera del banano, que se mantuvieron en los ciclos de V-1 y V-2, ya sin inocular nuevamente.

El hecho de que el banano mantenga un funcionamiento micorrízico efectivo a lo largo de los ciclos

del cultivo solo inoculando la PM en el momento del trasplante, también fue obtenido en el tratamiento que recibió el 75 % de la dosis recomendada de fuentes orgánico-minerales y sin utilización de la canavalia, garantizando porcentajes de colonización superiores, un estado nutricional satisfactorio y rendimientos altos en los tres ciclos evaluados, siendo por tanto un fenómeno asociado con la fisiología y el manejo del cultivo, coexistiendo la planta madre, con un funcionamiento micorrízico óptimo, con el vástago en formación y así sucesivamente y este debe ser el mecanismo que mantiene el funcionamiento micorrízico en el agroecosistema.

Con posterioridad, se demostró que en plantaciones de banano con precedente de canavalia inoculada con HMA, la aplicación micorrízica en el trasplante no fue necesaria y solo será necesario inocular en dos momentos: en la fase de aclimatación para obtener los beneficios en esta etapa y en la siembra de la canavalia utilizada como precedente al establecimiento de la plantación de banano en campo. Estas aplicaciones garantizaron los propágulos suficientes para que, basado en la baja especificidad cepa eficiente de HMA por cultivo, y en las propias características de manejo de la plantación, se mantenga un funcionamiento micorrízico efectivo hasta el ciclo de cosecha V-2. Este manejo del inoculante permitió ahorrar 28 kg ha⁻¹ de inoculante a aplicar, en comparación a cuando además se realizó la inoculación en el trasplante del banano.

La utilización del análisis foliar y de suelo fueron muy ilustrativos, corroborando la importancia de la nutrición potásica, explicando en alta medida los rendimientos del banano en estas condiciones edáficas y la suficiencia de los tratamientos para restituirlo en los diferentes ciclos. El estado nutricional asociado a los valores foliares de K demostró que los esquemas de suministro de nutrientes basados en FOM, abonos verdes e inoculación de cepas eficientes de HMA garantizaron tanto funcionamiento micorrízicos óptimo, como estado nutricional potásico satisfactorio y rendimientos altos.

Asimismo de alto valor técnico y práctico serán los criterios de índice crítico de K⁺ intercambiable

encontrados al finalizar la cosecha, los cuales permiten evaluar la suficiencia de un esquema de suministro de nutrimentos, lo cual como enfoque de trabajo va más allá de estas condiciones edáficas.

La información de extracción y exportación de los macronutrientes estableció que un porcentaje alto de los nutrimentos extraídos regresó con los residuos al agroecosistema y por tanto el esquema recomendado con abonos verdes e inoculación con la cepa eficiente de HMA y 25 % de la FOM en PM y V-1 y que asciende a 50 % de la FOM en el V-2, permitió balances positivos de los diferentes elementos y estableció que las disminuciones recomendadas en las cantidades de FOM al sistema no serán realmente una preocupación.

El análisis económico reflejó los beneficios de esta tecnología de producción basada en el uso de abonos verdes, cepas eficientes de HMA y cantidades bajas complementarias de FOM. Posibilitó alcanzar indicadores económicos más favorables, en cuanto a la relación beneficio:costo además de la sustitución del 100 % NPK. Otra importancia práctica del resultado es que al reducir las dosis complementarias de FOM, permitirá extender de forma importante las áreas de banano que pueden ser aseguradas con estas fuentes que resultan deficitarias en país. Así con las cantidades de FOM actualmente recomendadas para 1,0 ha (MINAG 2011a), se pueden favorecer 3,0 ha y por tanto triplicar el área beneficiada e incrementar los rendimientos.

De forma similar ocurre con la reducción del inoculante, ya que solo fue necesario aplicar el 47 % de las dosis que comúnmente se recomiendan para inocular con cepas eficientes de HMA las plantaciones de banano.

Los resultados demostraron la factibilidad de integrar el manejo de los inoculantes micorrízicos arbusculares, abonos verdes y dosis complementarias de fertilizantes orgánico-minerales para plantaciones de banano como base de una tecnología sostenible de producción con un estado nutricional adecuado y rendimientos altos.

***V. CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES***

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. La inoculación micorrízica de *R. intraradices* (INCAM-11) beneficia significativamente la aclimatación de las plantas de banano obtenidas *in vitro* en sustratos conformados con suelo Pardo mullido carbonatado. La efectividad depende de la relación suelo:abono orgánico y las cantidades asociadas de abonos orgánicos son menores en 50 % que las que actualmente se recomiendan.
2. La inoculación con cepas eficientes de HMA de canavalia incrementa el crecimiento y contenidos de N, P y K de estas plantas, así como la producción de esporas micorrízicas en la rizosfera, lo que mejora su calidad como abono verde e incorpora a este ser una vía eficaz para la introducción de estas cepas en el agroecosistema.
3. El manejo integrado de cepas eficientes de HMA y de canavalia como abono verde, con bajas cantidades complementarias de abonamiento orgánico-mineral (FOM) en las plantaciones de banano, garantiza a través de un funcionamiento micorrízico óptimo, un estado nutricional satisfactorio, rendimientos altos e índices económicos superiores a cuando las plantas reciben las dosis óptimas de FOM, prescindiendo de la fertilización mineral.
4. La inoculación con cepas eficientes de HMA del banano, en ausencia de canavalia, garantiza rendimientos altos, estado nutricional satisfactorio y funcionamiento micorrízico óptimo, aunque solo disminuye las dosis de abonamiento orgánico-mineral del cultivo en un 25 % de la FOM.
5. El manejo de la inoculación de HMA, mediante aplicaciones en la aclimatación de las plantas de banano obtenidas *in vitro* y en la siembra de canavalia, garantiza un funcionamiento micorrízico efectivo, en el agroecosistema bananero y sus beneficios durante los tres ciclos estudiados, no siendo necesario inocular el banano en el trasplante.
6. Los análisis foliares y de suelo se integran satisfactoriamente en el manejo de los esquemas de

suministro de nutrientes, vía abonamiento orgánico-mineral y abonos verdes inoculados, de las plantaciones de banano micorrizadas y resultó el K el elemento potencialmente limitante en estos esquemas en suelo Pardo mullido carbonatado.

5.2. Recomendaciones

1. Para la aclimatación de las plantas de banano obtenidas *in vitro*, inocular con la cepa de *R. intraradices* (INCAM-11) en las relaciones 1:1 de S:AO, conformadas por suelo Pardo mullido carbonatado y compost o humus de lombriz como fuentes de abono orgánico.
2. En plantaciones de banano a establecer en suelo Pardo mullido carbonatado utilizar la canavalia inoculada con la cepa de *R. intraradices*, tanto precedente como intercalada. Aplicar el 25 % de la FOM en los ciclos de PM y V-1 respectivamente e incrementar hasta 50 % en el ciclo de V-2, utilizando el criterio de contenidos de K intercambiable $> 0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ al finalizar cosecha para comprobar la suficiencia del esquema de fertilización orgánico-mineral empleado.
3. Estudiar en otras condiciones edáficas el uso de canavalia inoculada con cepas eficientes de HMA, como vía para disminuir las dosis de abonos orgánicos en plantaciones de banano y garantizar un estado nutricional adecuado y rendimientos altos.
4. Estudiar el uso de canavalia inoculada con cepas eficientes de HMA, como vía para disminuir las dosis de fertilizantes minerales en plantaciones de banano y garantizar un estado nutricional adecuado y rendimientos altos.
5. Realizar estudios más específicos de la utilización de la canavalia inoculada, los abonos orgánicos y la ceniza en el funcionamiento micorrízico en las plantaciones de banano y la significación de los valores altos de esporas en el suelo.
6. Utilizar los resultados de esta investigación como material de consulta para estudiantes, productores y especialistas en los estudios de pre y posgrado de Agronomía y ciencias afines.

***VI. REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS***

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adriano, María de L.; Jarquín, R.; Hernández, C.; Salvador, M.; Figueroa, Y. y Monreal, Clara Teresa. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 2, no. 3, p. 01-13. ISSN 2007-0934.
2. Aguirre, M. F.; Irizar, G. M. B.; Durán, P. A.; Grajeda, C. A.; Peña, M. A.; Loredó, O. C. y Gutiérrez, B. A. 2009. *Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México*. Chiapa, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. 80 p. ISBN 000-00-0000-0000.
3. Aiyelaagbe, O. y Jolaoso, M. 1995. Productividad de la asociación plátano-soya en el suroeste de Nigeria. *Musarama*, vol. 8, no. 1, p. 5-10. ISSN 1011-0054.
4. Akiyama, K.; Matsuzaki, K. y Hayashi, H. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, no. 435, p. 824-827. ISSN 0028-0836. DOI: 10.1038/nature03608.
5. Alegre, J. C.; Arévalo, A. y Fasabi, R. 2003. Efecto del Fósforo sobre el establecimiento de *Centrosema macrocarpum* dentro de una plantación de pijuayo *Bactris gasipaes* en un Ultisol de trópico húmedo. *Ecología Aplicada*, vol. 2, no. 1, p. 93-97. ISSN 1993-9507.
6. Álvarez, J. M. 2011. *Compendio de las Musáceas*. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". 271 p. ISBN 978-959-7111-57-3.
7. Álvarez, Mayté. 2000. Los abonos verdes: una alternativa para la producción sostenible de maíz en las condiciones de los suelos Ferralíticos Rojos de la Habana. [Tesis de Maestría, en línea] La Habana: Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). 69 p. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en:

- www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
8. Allen, J. y Shachar-Hill, Y. 2009. Sulphur transfert through arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiology*, vol. 149, no. 1, p. 549-560. ISSN 0032-0889.
 9. Arias, H. 1984. Respuesta del banano (*Musa AAA*) subgrupo Cavendish 'Gran Enano' a dosis crecientes de sulfato de potasio, en un suelo Oxic Dystrypets de Río Jiménez, Provincia de Limón. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 89 p.
 10. Armario, A. D.; Torres, G. S.; Espinosa, C. E.; Díaz, M. B.; Machado, de A. J.; Portieles, R. J. M.; Triana, M. O.; Rodríguez, A.; Espinosa, C. A. y Mollineda, T. A. 2012. Efecto de la fertilización mineral y su combinación con humus de lombriz en el contenido de potasio en suelo y planta, en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto del banano 'FHIA-18'. *Cuadernos de Fitopatología. Revista de Fitopatología y Entomología*, año no. 29 no. 111, p. 24-31. ISSN 0213-4128.
 11. Arzola, N.; A. Menéndez, M.; García, E. y Cabrera, A. 1998. Bases para el empleo de fertilizantes y enmiendas. En: *Elementos básicos sobre suelo y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar*. p. 37-132.
 12. Azcón-Aguilar, C. y Barea, J. M. 1992. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganism. En: Allen, M. F. (ed.). *Mycorrhizal Functioning an Integrative Plant-Fungal Process*. Chapman and Hall, New York, p. 163-198. ISBN 0-412-01891-8.
 13. Baar, J. 2008. From production to application of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural systems: requirements and needs. En: Varma, A. (ed.). *Mycorrhiza: State of the Art., Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology Eco-Physiology, Structure and Systematics*. Three edition. Berlin. Springer-Verlag. p. 361-373. DOI: 10.1007/978-3-540-78826-3_18.

14. Bajwa, R.; Aslam, N. y Javaid. A. 2002. Comparison of three green manures for growth and V.A. mycorrhizal colonization in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Biological Sciences*, vol. 2, issue 8, p. 512-517. ISSN 1449-2288.
15. Bananuka, J. y Rubalhayo, P. 1994. Cultivo casero de bananos en Uganda. *InfoMusa*, vol. 3, no. 2, p. 8-12. ISSN 1729-0996.
16. Barbazán, M. 1998. Análisis de las plantas y síntomas visuales de deficiencias de nutrientes. Facultad de Agronomía. Universidad de la República de Uruguay. [En línea] [Consultado: septiembre de 2016]. Disponibles en: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/AnPlantas.pdf>.
17. Barea, J. M.; Azcón, R. y Azcón-Aguilar, C. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie van Leeuwenhoek*, vol. 81, p. 343-351. ISSN 1572-9699.
18. Barrer, Silvia. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Ciencias Agropecuarias*, vol. 7, no. 1, p. 123-132. ISSN 2250-8872.
19. Barrios, E.; Mahuku, G.; Navia, J.; Cortés, L.; Asakawa, N.; Jara, C. y Quintero, J. 2006. Green manure impact on nematodes, arbuscular mycorrhizal and pathogenic fungi in Tropical Soils planted to common beans. En: *World Congress of Soil Science (XVIII: 2006, July 9-15: Philadelphia)*. Memories. Pennsylvania, USA, p. 167-190.
20. Bertsch, Floria. 1986. Manual para interpretar la Fertilidad de los Suelos. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 81 p. [En línea] [Consultado: septiembre de 2014]. Disponibles en: www.google.com.cu/?gws_rd=cr,ssl&ei=T2DyV73YO4uyeJDWtfgL#q=Berts.
21. Bertsch, Floria. 2003. *Absorción de Nutrimientos por los Cultivos*. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p. ISBN 9968-9422-0-0.

22. Borges, A. L.; Silva, L. da. y Alves, E. J. 1997. Coberturas vegetais do solo. Efeito sobre suas propriedades químicas e o desenvolvimento vegetativo da bananeira primeiro ciclo. *Pesquisa em andamento*, vol. 43, p. 1-3. ISSN 1517-638x.
23. Borie, F.; Rubio, R.; Morales, A.; Curaqueo, G. y Cornejo, P. 2010. Arbuscular mycorrhizae in agricultural and forest ecosystems in Chile. *Journal of Soil science and plant nutrition*, vol. 10, no. 3, p. 185-206. ISSN 0718-9596. DOI: 10.4067/S0718-95162010000100001.
24. Bourgoing, R. 1990. Choice of cover crop and planting method for hybrid coconut growing on smallholdings. *Oléagineux*, vol. 45, no. 1, p. 23-30. ISSN 1258-8210.
25. Brechelt, A. 2004. Manejo Ecológico del suelo. Publicación especial de la Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina (RAAL). Fundación Agricultura y Medio Ambiente. República Dominicana. p. 1-28. ISBN 9972-9126-6-3.
26. Calderón, A. 2004. Estudios de sustratos y micorrizas arbusculares en la adaptación de vitroplantas de banano (*Musa spp*). 70 p. [Tesis de Maestría, en línea]. La Habana: Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Instituto Nacional de Ciencias Agrícola. (INCA). [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Suelos/cultcobh2014.pdf.
27. Camargo-Ricalde, Sara Lucía, Montañó, N. M.; De la Rosa-Mera, Claudia Janette y Montañó Arias, Susana Adriana. 2012. Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, vol. 13, no. 7. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf. ISSN 1067-60710.
28. Carvajal, J. F. 1984. Cafeto, cultivo y fertilización. Instituto de la Potasa y el Fósforo, Berna, Suiza. 254 p.
29. Castillo, A. M.; Hernández, J. A.; García, A.; Pineda, J.; Valdés, L. A. y Águila, T. 2011.

- Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa* spp.). *Phyton*, vol. 80, no. 1, p. 65-72. ISSN 1851-5657.
30. Castillo, J. B.; Caamal, J. A.; Jiménez, O. J.; Bautista, Z. F.; Amaya, C. M. y Rodríguez, C. R. 2010. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 21, no. 1, p. 39-50 ISSN 1021-7444.
31. Castro, A.; Henríquez, C. y Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, vol. 33, no. 1, p. 31-43. ISSN 2215-2202.
32. Cerrato, M. E.; Leblanc, H. A. y Kameko, C. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno del Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical*, vol. 3, no. 2, p. 183-197. ISSN 1659-2751.
33. Ciacci, María B. 2014. Influencia de las coberturas vegetales sobre el comportamiento del duraznero y sobre los atributos del suelo. 72 p. [Tesis de Maestría, en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Litoral (UNL), Facultad de Ciencias Agrarias. (FCA). [Consultado: abril de 2015]. Disponible en: www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Suelos/cultcobh2014.pdf.
34. CIDICCO. 2008. Especies utilizadas como Abono verde o Cultivo de Cobertura. [En línea]. [Consultado: abril de 2012]. Disponible en: www.cidicco.hn/especies/canavalia.html.
35. Cintra, F. L. D. y Borges, A. L. 1988. Use of a legume and a mulch in banana production systems. *Fruits*, vol.43, no. 4, p. 211-217. ISSN 0248-1294.
36. Código Internacional de Nomenclatura Botánica. Wikipedia. 2012. [En línea]. [Consultado: abril de 2013]. Disponible en: es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digoInternacionaldeNomenclaturaBot%C3%A1nica.
37. Colling, G. 1958. *Fertilizantes comerciales sus fuentes y uso*. Madrid. Salvat Editores, S. A.

710 p.

38. Córdova, S.; Estrada, M.; García, S.; López, J. D.; Núñez, J. A.; Cabriales, J. J.; Espinoza, L. C. y Navarro, R. 2011. Biological nitrogen fixation by three *fabaceas* (*Leguminosae*) in acid soil of Tabasco, Mexico. *AIA Journal*, vol. 15, no. 1, p. 31-50. ISSN 0001-1452.
39. Creamer, N. G. y Baldwin, K. R. 2004. Summer cover crops 2/99-HIL-37. North Carolina A and T State University: North Carolina Cooperative Extension Service. [En línea]. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-37.html.
40. Crespo, F. G.; Ramírez, J. F.; González, P. J. y Hernández, I. 2014. Coinoculación de cepas de rizobios y del hongo micorrízico arbuscular en *Stylosanthes guianensis* vc. CIAT-184. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, tomo 48. no. 3, p. 297-300. ISSN 2079-3472.
41. Crews, T. E. y Peoples, M. B. 2004. Legume *versus* fertilizer sources of nitrogen: ecological trade-offs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 102, p. 279-297. ISSN 0167-8809.
42. Cruz, H. Y.; García, R. M.; Hernández, M. J. M. y León, G.Y. 2012. Influencia de las micorrizas arbusculares en combinación con diferentes dosis de fertilizante mineral en algunas características morfológicas de las plántulas de tabaco. *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 3, pp. 23-26. ISSN 0258-5936.
43. Cuellar, I. A. 2003. *Caña de azúcar Paradigma de Sostenibilidad*. Editorial Publinica, 175 p.
44. Chalk, P. M.; de Souza, J. R. F.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R. y Boddey, R. M. 2006. The role of arbuscular mycorrhiza in legume symbiotic performance. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 38, Issue 9, p. 2944-2951. ISSN 0038-0717.
45. Champion, J. 1966. Nutrition et fertilization du bananier. *Bull. Doc. Sup.*, vol. 44, p. 21-22.
46. Champion, J.; Dugain, F.; Maignier, R. y Dommergues, Y. 1958. Les sols de bananeraies et

- leur amélioration en Guinée. *Fruits*. vol. 13, no. 9, p. 415-462. ISSN 0248-1294.
47. Cherr, C. M.; Scholberg, J. S. y Sorley, M. 2006. Green manures as nitrogen source for sweet corn in a warm-temperate environment. *Agronomy Journal*, vol. 98, p. 1173-1180. ISSN 1435-0645.
48. Danso, S.; Palmason, F. y Hardarson, G. 1993. Is nitrogen transferred between field crops? Examining the question through a sweet-blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) oats (*Avena sativa*) intercrop. *Soil Biology Biochemistry*, vol. 25, issue 8, p. 1135–1137. ISSN 0038-0717. DOI: 10.1016/0038-0717(93)90163-6.
49. Declerck, S.; Plenchette, C. y Strullu, D. G. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata* AAA group) cultivar. *Plant and Soil*, vol. 176, p 183-187. ISSN 0032-0781.
50. Declerck, S.; Risede, J. M.; Rufikiri, G. y Delvaux, B. 2002. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on severity of root rot of bananas caused by *Cylindrocladium spathiphylli*. *Australasian Plant Pathology*, vol. 51, p. 109-115. ISSN 0815-3191.
51. Domingo, M. 1990. El análisis foliar como método de diagnóstico de la nutrición mineral. *SUTRAI*, no. 21, 4^o trimestre, p. 57-60. [En línea]. [Consultado: septiembre de 2016]. Disponibles en:
https://www.google.com/cu/?gws_rd=cr,ssl&ei=T2DyV73YO4uyeJDWtfgL#q=Domingo%2C+M.
52. EMBRAPA. Agrobiología. 2007. Base de datos. Leguminosas. [En línea]. [Consultado: abril de 2012]. Disponible en:
intrnet2.cnpab.embrapa.br/leguminos/detahebusca.asp?codid=12&tema=resumo.
53. Entry, J.; Rygielwicz, P.; Watrud, L. y Donnelly, P. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of Arbuscular mycorrhiza. *Advances in Environmental*

- Research*, no. 7, p. 123-138. ISSN 2234-1730.
54. Epstein, E. y Bloom, A. J. 2005. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Second edition. Massachusetts, USA: Sinauer Associates, Inc. Sunderland. 400 p. ISBN 978-0878931729.
55. Espín, E.; Medina, M. E.; Jadán, M. y Proaño, K. 2010. Utilización de hongos micorrízico-arbusculares en plántulas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) cultivadas *in vitro*: Efectos durante la fase de aclimatación. *Revista Ciencia*, vol. 13, no. 1, p. 87-91. ISSN 1390-1117.
56. Espíndola, J. A.; de Almeida, D. L. y Guerra, J. G. M. 2004. Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. *Boletim de Pesquisa y Desenvolvimento*, no. 174, 24 p. ISSN 1676-1340.
57. Espíndola, J. A.; de Almeida, D. L.; Guerra, J. G. M.; da Silva, E. R. y de Souza, F. A. 1998. Influencia da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, vol. 33, no. 3, p. 339-347. ISSN 01 00-2041.
58. Espíndola, J. A.; Guerra, J. G. M.; de Almeida, D. L. 1997. Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica. Embrapa. Agrobiología. Documentos 42, 20 p.
59. Espíndola, J. A.; Guerra, J. G. M.; De-Polli, H.; De Almeida, D. L. y Abboud, A. C. de S. 2005. Adubação verde com leguminosas. Embrapa. Informação Tecnológica. Brasília. Documento 42. 20 p.
60. Etiégni L. y Campbell, A. G. 1991. Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresource Technology*, vol. 37, p. 173-178. ISSN 0960-8524.
61. FAOSTAT. Anuario Estadístico de la FAO. 2016. [En línea]. [Consultado: septiembre de 2016]. Disponible en: faostat.fao.org/.
62. Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; Martínez, M. A.; de la Noval, Blanca y Rivera, R.

2000. Producto inoculante micorrizógeno. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Patente No. 22641.
63. Fernández, Kalyanne, Fernández, F.; Rivera, R. y Olalde, V. 2010. Micorrización *in vitro* e *ex vitro* de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* var. Alfa). *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 2, pp. 21-31. ISSN 0258-5936.
64. Fernández, Kalyanne. 2013. Establecimiento de un sistema eficiente de micorrización *in vitro* de plántulas de *Solanum tuberosum* L. y *Medicago truncatula* Gaertn. 117 p. [Tesis de Doctorado]. Universidad de La Habana, Facultad de Biología. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba.
65. Fernández, F. 1999. Efecto del manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas del cafeto (*C. arábica* L.) 100 p. [Tesis de Doctorado, en línea] Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
66. Filho, J. S.; Cardoso, A. N.; Carmona, R. y de Carvalho, A. M. 2004. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. vol. 39, no. 4, p. 327-334. ISSN 01 00-2041.
67. Florentín, M. A.; Peñalva, M.; Calegari, A. y Derpsch, R. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades. San Lorenzo, Paraguay: Proyecto “Conservación de suelos”. *MAG-GTZ*. 84 p. ISSN 1016-0469. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: books.google.com.cu/books?id=vKp4Cd4QK.
68. Fontaine, S.; Delvaux, J. E.; Dufey, E. y Herbillon, A. J. 1989. Potassium exchange behavior in Caribbean volcanic ash soils under banana cultivation *Plant and Soil*, no. 120, p. 283-290.

ISSN 0032-0781.

69. Fundora, O.; Arzola, N. y Machado, J. 1983. Agroquímica. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, p. 323.
70. Funes, F. 2000. Integración ganadería-agricultura con las bases agroecológicas. Plantas y Animales en armonía con la naturaleza y el hombre. Ciudad de La Habana: Consejo de Iglesias de Cuba. Departamento de coordinación y asesorías de Proyectos (DECAP). p. 5-21.
71. Gama, R. A. C.; Gama, R. E. F. y Brito, E. C. 2007. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense-R. J. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p. 1421-1428. ISSN 0100-0683.
72. Garbaye, J. 1991. Biological interactions in the mycorrhizosphere. *Experientia*, vol. 47, issue 4, p. 370-375. ISSN 1420-9071.
73. Garbaye, J. 1994. Helper bacteria-a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, vol. 128, p. 197-210. ISSN 0028-646x.
74. García, Margarita. 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de la Habana. 102 p. [Tesis de Doctorado, en línea] Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: <http://www.inca.edu.cu/redmicorizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf>.
75. García, Margarita, Treto, Eolia y Álvarez, Mayté. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, vol. 22, no. 4, p. 11-16. ISSN 0258-5936.
76. García, Margarita, Treto, Eolia y Álvarez, Mayté. 2002. Época de siembra más adecuada para

- especies promisorias de abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos tropicales*, vol. 23, no. 1, p. 5-14. ISSN 0258-5936.
77. García, Milagros. 2014. Sistema de manejo con *Canavalia ensiformes* (L) D. C. y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para el cultivo del tabaco negro al sol. 62 p. [Tesis de Maestría, en línea]. La Habana: Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Instituto Nacional de Ciencias Agrícola. (INCA). [Consultado: abril de 2016]. Disponible en: www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/Suelos/cultcobh2014.pdf.
78. García, R.; Guijarro, R. y Díaz, B. 1979. Modificaciones del estado nutricional del banano por efecto del potasio en suelos rojos de Cuba. Relaciones con el rendimiento y control de la fertilidad. *Cultivos Tropicales*, vol. 1, no. 1, p. 9-22. ISSN 0258-5936.
79. García, R.; Guijarro, R. y Milian, O. 1998. Empleo de fuentes alternativas de fertilizantes para la producción de banano y plátano en Cuba. Editores Rosales, F. E.; Tripon, S. C. y Cerna, J. *Producción de banano orgánico y/o, ambientalmente amigable*. Memorias del taller internacional realizado en la EARTH, (1998, noviembre 6-9: Guácimo, Costa Rica). INIBAP. 265 p.
80. George, E. 2000. Nutrient Uptake. Editores Kapulnik, Y.; Douds, Jr. y David, D. *Arbuscular Mycorrhiza: Physiology and Function*. p. 53-67. ISBN 978-0-7923-6444-3. DOI: 10.1007/978-94-017-0776-3.
81. Gerdemann, J. W.; Nicholson, T. H. 1963. Spore of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 46, no. 2, p. 235-244. ISSN 0007-1536. DOI: 10.1016/S0007-1536(63)80079-0.
82. Gianinazzi, S. y Vosatka, M. 2004. Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. *Canadian Journal of Botany*, vol. 82, no 8, p. 1264-1271.

ISSN 1480-3305.

83. Giovanetti, M. y Mosse, B. 1980. An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots. *New Phytologist*, vol. 84, no. 3, p. 489-500. ISSN 1469-8137. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.
84. Girija, V. K. y Nair, S. K. 1988. Incidence of VAM in banana varieties. *African Journal of Microbiology Research*, vol. 28, no. 3-4, p. 294-295. ISSN 1996-0808.
85. Gómez, Diana, Sánchez, J. D.; Velásquez; J. E.; Gamboa; J. A. y Bedoya, Carmen. 2011. Influencia del balance con micronutrientes (B-Zn) en la productividad del banano y la severidad de *Mycosphaerella fijiensis*. *Ingenierías y Amazonia*, vol. 4, no. 2, p. 88-102. ISSN 1692-7389.
86. González, P. J.; Ramírez, P. J. F.; Morgan, R. O.; Rivera, E. R. y Plana, Ll. R. 2015. Contribución de la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. *Cultivos Tropicales*, vol. 36, no. 1, p. 135-142. ISSN 0258-5936.
87. González, P. J. 2014. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular, vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género *Brachiaria*. 100 p. [Tesis de Doctorado, en línea]. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
88. González, P. J.; Arzola, J.; Morgan, O.; Rivera, R. y Ramírez, J. F. 2011. Efecto de la inoculación de la cepa de hongo micorrízico arbuscular *Glomus hoi-like* en la respuesta de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II (CIAT 36087) a la fertilización orgánica y nitrogenada. *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 4, p. 05-12. ISSN 0258-5936.

89. González, P. J.; Plana, R.; Rivera, R.; Fernández, F. y Arzola, J. 2008. Efecto de la inoculación de la cepa de hongo micorrícico arbuscular en pastos del género *Brachiaria*, cultivados en suelo Pardo Mullido. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 42, no. 1, p. 101-106. ISSN 2079-3472.
90. Göransson, P.; Olsson, P. A.; Postma, J. y Falkengren-Grerup, U. 2008. Colonization by arbuscular mycorrhizal and fine endophytic fungi in four woodland grasses-variation in relation to pH and aluminium. *Soil Biology Biochemistry*, vol. 40, p. 2260-2265. ISSN 0038-0717. DOI: org/10.1016/j.soilbio.2008.05.002.
91. Govindarajulu, M.; Pfeffer, P. E.; Jin, J. R.; Abubaker, J.; Douds, D. D.; Allen, J. W.; Bücking, H.; Lammers, P. J. y Shachar-Hill, Y. 2005. Nitrogen transfer in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Nature*, vol. 435, p. 819-823. ISSN 0028-0836.
92. Guerra, J. G. y López de A. D. 2008. Adubação verde com leguminosas para o cultivo de hortaliças. [CD-Rom]. En: Congreso Científico (XVI: 2008, noviembre 24-28: La Habana). Memorias. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978- 959-16-0953-3.
93. Guerra, J. M.; Ndiaye, A.; de Assis, R. L. y Espíndola, J. A. 2007. Cultivos de cobertura como indicadores de procesos ecológicos. *LEISA Revista de Agroecología*, vol. 22, no. 4, p. 20-22. ISSN 1729-7419.
94. Guijarro, R. 1983. Investigaciones con relación al régimen nutrimental y fertilización del plátano en las condiciones de los suelos Ferralíticos rojos 107 p. [Tesis de Doctorado]. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba.
95. Gutiérrez, R.; Pérez, G.; Benega, R. y Gómez, Lourdes. 2002. Coberturas vivas de leguminosas en el plátano (*Musa sp.*) 'FHIA-03'. *Cultivos Tropicales*, vol. 23, no. 3, p. 11-17.

ISSN 0258-5936.

96. Hamel, Chantal y Strullu, D. G. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi in field crop production: Potential and new direction. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 86, no. 4, p. 941-950. ISSN 0008-4220.
97. Harris, V. C.; Martín, Elisa, Valenzuela, S. M. y Castellanos, E. A. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 32, no. 4, p. 265-271. ISSN 0187-7380.
98. Hernández, A.; Pérez, J.; M.; Bosch, D. y Castro, N. 2015. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p. ISBN 978-959-7023-77-7.
99. Hernández, M. 1985. Respuesta del banano clon Gran Enano a la fertilización potásica en un suelo Tupic Dystropets de Cariari, Cantón Pococí. 85 p. [Tesis de Ingeniero] Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.
100. Herrera, R.; Ferrer, R. L.; Furrázola, E.; Orozco, M. O. 1995. *Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales*. (ed. Monasterio, M.). Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Diversidad Biológica. Subprograma XII, Mérida, México.
101. Herrera, R.; Ferrer, R. L.; Ruiz, L.; Fernández, F.; Medina, N.; Furrázola, E.; Orozco, M. O.; Cueto, J. R.; García, M. J.; Expósito, L.; Pouyú, E.; Ojeda, L.; Valdez, A. R.; Rivera, R. y Sánchez, C. 1994. Perspectivas para la generalización del uso de las micorrizas VA en la agricultura cubana. (Resúmenes V REBRAM). Florianópolis, S. C., Brasil: Universidad Federal Santa Catalina. 37 p.
102. Herrera, R.; Hamel, Chantal; Fernández, F., Ferrer, R. y Furrázola, E. 2010. Soil-strain compatibility: the key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants? *Mycorrhiza*,

- no.21, p. 183-193. ISSN 0940-6360.
- 103.Hodge, Angela, Campbell, C. y Fitter, A. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, vol. 413, p. 297-299. ISSN 0028-0836.
- 104.Hodge, Angela y Fitter, A. 2010 Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. vol. 107, p.13754-13759. ISSN 1091-6490.
- 105.Hodge, Angela y Storer, Kate. 2015. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and Soil*, vol. 386, p. 1-19. ISSN 0032-07. DOI: 10.1007/s11104-014-2162-1.
- 106.Hoffmann, R. B.; Oliveira, F. de.; Souza, A. de.; Gheyi, H. R. y Souza, Júnior, R. de. 2010. Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 32, p. 268-275. ISSN 1806-9967.
- 107.Hogh-Jensen, H. 2006. The nitrogen transfer between plants: an important but difficult flux to quantify. *Plant and Soil*, no. 282, p. 1-5. ISSN 0032-07.
- 108.Hogh-Jensen, H. y Schjoerring, J. K. 2000. Belowground nitrogen transfer between different grassland species: direct quantification by ^{15}N leaf feeding compared with indirect dilution of soil ^{15}N . *Plant and Soil*, vol. 227, p. 171-183. ISSN 0032-07.
- 109.Horan, D. P. y Chilvers, G. A. 1990. Chemotropism the key to ectomycorrhizal formation? *New Phytologist*, vol. 116, p. 297-301. ISSN 0028-646x.
- 110.Hoyt, G. D. 1987. Legumes as a green manure in conservation tillage. En: Powers J. F. (ed.) *The role of legumes in conservation tillage systems*. Soil Conservation Society of America,

- Ankeny, Iowa, USA, p. 96-98.
111. IBM SPSS Statistical, version 15.0. [Windows]. Editorial IBM Corporation, U. S. [En línea] [Consultado: abril de 2012]. Disponibles en: www.ibm.com.
112. INSMET. Instituto de Meteorología. 2010. Hojas de asentamiento de las variables meteorológicas diarias. Estación meteorológica No. 326, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba.
113. INPOFOS. Instituto de la Potasa y el Fósforo. 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador. 55 p. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponibles en: [https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/A8A8B5A10828C6280525710F005BDC44/\\$file/Inf-Agro+60.pdf](https://ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/A8A8B5A10828C6280525710F005BDC44/$file/Inf-Agro+60.pdf).
114. Inzunza, J. C. 2005. Clasificación de los climas de Köppen. *Ciencia...Ahora*, no. 15, año 8, marzo-abril.
115. Jaizme-Vega M. C. y Rodríguez, A. S. 2004. Uso de micorrizas en banano: logros y perspectivas. En: *Reunión Internacional ACORBAT (XVI: 2004)*. Publicación Especial, p. 143-160.
116. Jaizme-Vega, M. C.; Delamo, M.; Tenoury, P. y Rodríguez-Romero, A. S. 2002. Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de dos cultivares de platanera micropropagadas. *InfoMusa*, vol. 11, no. 1, p. 25-28. ISSN 1729-0996.
117. Jaizme-Vega, M. C.; Galán, V. y Cabrera, J. 1991. Preliminary results of VAM effects of banana under field conditions. *Fruits*, vol. 46, no. 1, p. 19-22. ISSN 0248-1294.
118. Jaizme-Vega, M. C.; Sosa, H. B. y Hernández, J. M. 1998. Interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and the soil pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* on the first stages of 'Grande Naine' banana. *Acta Horticulturae*, vol. 490, p. 285-295. ISSN 2406-6168. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponibles en: www.ishs.org/acta-horticulturae.

119. Jaizme-Vega, M. C.; Tenoury, P.; Pinochet, J. y Jaumot, M. 1997. Interactions between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and the mycorrhizal association *Glomus mosseae* and 'Grande Naine' banana. *Plant and Soil*, vol. 196, p. 27-35. ISSN 0032-07.
120. Janos, D. P. 2007. Plant responsiveness to mycorrhiza differs from dependence upon mycorrhiza. *Mycorrhiza*, vol. 17, p. 75-91. ISSN 0940-6360.
121. Jansa, J.; Mozafar, A.; Kuhn, G.; Anken, T.; Ruh, R.; Sanders, I. R. y Frossard, E. 2003. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. *Journal of Applied Ecology*, no. 13, p.1164-1176. ISSN 0021-8901. DOI: 10.1890/1051-0761(2003)13[1164:statcs]2.0.co.
122. Javot, H.; Pumplin, N. y Harrison, M. J. 2007. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis transport properties and regulatory roles. *Plant Cell and Environment*, vol. 30, p. 310-322. ISSN 0140-7791.
123. Johnson, N.; Tilman, D. y Wedin, D. 1992. Plant and soil controls on mycorrhizal fungal communities. *Ecology*, vol. 73, no. 6, p. 2034-2042. ISSN 0012-9658.
124. Kabir, Z. y Koide, R. T. 2000. The effect of dandelion as a cover crop on mycorrhizal inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 78, p. 167-174. ISSN 0167-8809.
125. Kapoor, R.; Sharma, D. y Bhatnagar, A. K. 2008. Arbuscular mycorrhiza in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae*, vol. 116, no. 3, p. 227-239. ISSN 0304-4238. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponibles en: www.researchgate.net/.../215859768_Arbuscular_m.
126. Karandashov, V. y Bucher, M. 2005. Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhiza. *Trends in Plant Science*, vol. 1, p. 1360-1385. ISSN 1360-1385.

127. Karasawa, T.; Kasaham, Y. y Takebe, M. 2002. Differences in growth responses of maize to preceding cropping caused by fluctuation in the population of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 34, no. 6, p. 851- 857. ISSN 0038-0717.
128. Kernaghan, G. 2005. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? *Pedobiologia*, vol. 49, p. 511-520. ISSN 0031-4056.
129. Kumar, N. y Krishnamoorthy, V. 2002. Nuevo factor para determinar el área foliar en los bananos. *InfoMusa*, vol. 11, no. 2, p. 42-43. ISSN 1729-0996.
130. Kumar, U.; Singh, G.; Víctor, U. S. y Sharma, K. L. 2003. Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice-wheat cropping system. *European Journal of Agronomy*, vol. 19, no. 2, p. 225-237. ISSN 1161-0301.
131. Labrador, Juana y Altieri, M. 1994. Manejo y diseño de sistemas agrícolas sustentables. Madrid: Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación. *Hojas Divulgadoras*, no. 6-7. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponibles en: www.magrama.gob.es/ministerio/pags/.../hojas/hd_1994_06-07.pdf.
132. Lacoëuilhe, J. y Godefroy, J. 1971. Un cas de carence en phosphore en Bananeraie. *Fruits*, no. 26, p. 659-662.
133. Lahav, E. 1978. The value of the K/Ca+Mg ratio for determination of the nutritional status of the banana sucker. *Fruits*, vol. 33, no. 1, p. 3-6. ISSN 0248-1294.
134. Lahav, E. 1995. Banana nutrition. En: Gowen, S. R. (ed.) *Banana and Plantains*. Chapman and Hall, London, p. 258-316.
135. Lahav, E. y Turner, D. W. 1992. *Fertilización del banano para rendimientos altos*. Quito: Instituto de la Potasa y el Fósforo. 71 p.

- 136.Lahav, E. y Turner, D. W. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Segunda edición. Boletín no. 7. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito, Ecuador, 71 p.
- 137.Lambrecht, Isabel; Vanlauwe, B.; Maertens, M. 2015. Integrated soil fertility management: from concept to practice in Eastern DR Congo. *International Journal of Agricultural Sustainability*, vol. 14, no. 1, p. 100-118. DOI: org/10.1080/14735903.2015.1026047. ISSN 1473-5903.
- 138.Leigh, J.; Hodge, Angela y Fitter, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungican transfer substantial amount sof nitrogen to their hos plant from organic material. *New Phytologist*, vol. 181, p. 199-207. ISSN 0028-646x.
- 139.López, A. 1999. Interpretación de los análisis químicos de suelos y foliares en el cultivo del banano (Musa AAA, Cv. 'Valery') en Costa Rica. Análisis de un caso y factores involucrados. En: *Resúmenes del XI ACORBAT*. XI Congreso Nacional Agronómico. III^{er} Congreso Nacional de Suelos, San José, Costa Rica, p. 137-146. [En línea] [Consultado: abril de 2016]. Disponibles en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_137.pdf.
- 140.López, A. y Espinosa, J. 1995. *Manual de nutrición y fertilización del banano. Una visión práctica del manejo de la fertilización*. Quito: Instituto de la Potasa y el Fosforo. 81 p. ISSN 1666-7115. [En línea] [Consultado: abril de 2016]. Disponibles en: [www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/.../\\$file/Publicaciones+de+Inpofos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/.../$file/Publicaciones+de+Inpofos.pdf).
- 141.Macedo, R.; Zotarelli, L.; Urquiaga, S.; Boddey, R. y Alves, B. 2003. Efeito do manejo sobre a FBN na cultura da soja availada a través da técnica de ureidos. *Boletim de Pesquisa y Desenvolvimento*, no. 31, p. 26. ISSN 1413-1455. [En línea] [Consultado: abril de 2016]. Disponibles en: www.infoteca.cnptia.embrapa.br/.../doc/.../Bol31.pdf.
- 142.Marrero, Y.; Simó, J.; Ruiz, L.; Rivera, R. y Plana, R. 2008. Influencia del laboreo sobre el

- manejo de la simbiosis micorrízica efectiva en una secuencia de cultivos sobre un suelo Pardo con carbonatos. *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 2, p. 11-15. ISSN 0258-5936.
143. Martín, Gloria, Rivera, R. y Pérez, A. 2013. Efecto de canavalia, inoculación micorrízica y dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 4, p. 60-67. ISSN 0258-5936.
144. Martín, Gloria, Rivera, R.; Arias, Lianne y Rentería, M. 2009. Efecto de la *Canavalia ensiformis* y micorrizas arbusculares en el cultivo del maíz. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 43, no. 2, p. 191-199. ISSN 2079-3472.
145. Martín, Gloria, Arias, Lianne y Rivera, R. 2010. Selección de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 1, p. 27-31. ISSN 0258-5936.
146. Martín, Gloria, Rivera, R. y Mujica, Yonaisy. 2007. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, vol. 28, no. 4, p. 75-78. ISSN 0258-5936.
147. Martín, Gloria, Rivera, R.; Pérez, A.; Arias, Lianne. 2012. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica con *Glomus cubense* (Cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 2, p. 20-28. ISSN 0258-5936.
148. Martín, Gloria. 2009. Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, la *Canavalia ensiformis* y la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (*Zea mays*) cultivadas sobre suelos Ferralíticos Rojos de La Habana. 104 p. [Tesis de Doctorado, en línea]. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.

149. Martín, Gloria, Reyes, R. y Ramírez, J. 2015. Coinoculación de *Canavalia ensiformis* (L.) D. C. con *Rhizobium* y Hongos Micorrízicos arbusculares en dos tipos de suelo de Cuba. *Cultivos Tropicales*, vol. 36, no. 2, p. 22-29. ISSN 1819-4087.
150. Martín-Prével, P. 1980. La nutrition minérale du bananier dans le monde. Première partie. *Fruits*, no. 35, p. 503-518.
151. Mederos, V.; Ruiz, L.; García, Magaly y Martínez, V. R. 1993. Determinación de sustrato óptimo para la adaptación de vitroplantas de banano (Grupo AAA) y el uso de cepas de *Azotobacter* y micorrizas más eficientes en el cultivo. Resúmenes de BIOFERTRO'93. Ciudad de La Habana: INIVIT. 328 p.
152. Medina, A. y Azcón, R. 2010. Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhizal fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions. *Journal of Soil science and plant nutrition*, vol. 10, no. 3, p. 354-372. ISSN 0718-9516. DOI: 10.4067/S0718-95162010000100009.
153. MINAG. 1984. Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, Cuba, 136 p.
154. MINAG. 2002. Ministerio de la Agricultura. Instituto de Pastos y Forrajes. Precio oficial de las semillas de pastos y forrajes. 1 p.
155. MINAG. 2004a. Ministerio de la Agricultura. Instructivo Técnico para el Cultivo del Plátano. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). 12 p.
156. MINAG. 2004b. Ministerio de la Agricultura. Grupo de Biofábricas y Plátano. Una nueva concepción en la producción de plátano fruta y vianda en Cuba. Segunda versión, p.7-8.
157. MINAG. 2009. Ministerio de la Agricultura. Instructivo Técnico para la producción de semillas agámicas en Plátano y Banano. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales

- (INIVIT). La Habana, 15 p.
158. MINAG. 2011a Ministerio de la Agricultura. Instructivo Técnico para el Cultivo del Plátano. La Habana: Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). 12 p.
159. MINAG. 2011b. Ministerio de la Agricultura. Manual de fichas de costos tecnológicos. Cultivo de bananos y plátanos. Dirección de Contabilidad y Precios. Ciudad de La Habana. 114 p.
160. MINAG. 2012 Ministerio de la Agricultura. Instructivo Técnico para la producción de Viandas. Producción de semillas por método biotecnológico. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). Primera edición. Editorial INIVIT, La Habana, Cuba, p. 121-122. ISBN 978-959-295-006-1.
161. MINAG. 2013. Ministerio de la Agricultura. Resolución No 23/2013 del MFP y 366/13 y Carta Circular No. 4/2013 Unión Nacional de Acopio. 5 p.
162. Miransari, M.; Bahrami, H. A.; Rejali, F. y Malakouti M. J. 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil and Tillage Research*, vol. 103, p. 282-290. ISSN 0167-1987.
163. Mostafa, E. A. 2005. Response of 'Williams' banana to different rates of nitrogen and potassium fertilizers. *Journal of Applied Sciences Research*, vol. 1, p. 67-71. ISSN 1819-544X.
164. Motisi, Natacha, Tournebize, R. y Sierra, J. 2007. Evaluación del método de la abundancia natural ^{15}N en la estimación del efecto de la transferencia de nitrógeno de la leguminosa *Canavalia ensiformis* sobre la nutrición nitrogenada de la planta asociada *Musa acuminata* (plátano). *Cultivos Tropicales*, vol. 28, no. 1, p. 77-83. ISSN 0258-5936.
165. Muraoka, T.; Ambrosano, E. J.; Zapata, F.; Bortoletto, N.; Martins, A. M.; Trivelin, P. C.;

- Boaretto, A. E. y Scivittaro, W. B. 2002. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicados solos o conjuntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra*, vol. 20, no. 1, p. 17-23. ISSN 2395-8030. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponibles en: www.redalyc.org/pdf/573/57320104.pdf.
- 166.NC-10 390. 1999. Calidad del suelo. Determinación de pH. NC-ISO 10 390:99. Ciudad de La Habana. 10 p.
- 167.NC-209. 2002. Calidad del suelo. Determinación de los aniones y cationes solubles en los extractos suelo-agua y el porcentaje de saturación. NC 209:02. Ciudad de La Habana. 10 p.
- 168.NC-51. 1999. Calidad del suelo. Determinación del porcentaje de materia orgánica. NC 51:99. Ciudad de La Habana. 9 p.
- 169.NC-52. 1999. Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. NC 52:99. Ciudad de La Habana. 11 p.
- 170.Nieto, M.; Mariña, C.; Sánchez, L. y Fonseca, M. 2008. Los abonos verdes. Una alternativa en la producción de tabaco negro. [CD-Rom]. En: *Congreso Científico (XVI: 2008, noviembre 24-28: La Habana)*. Memorias. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978-959-16-0953-3.
- 171.Noval, Blanca de la; Hernández, María J. y Hernández, J. C. 1997. Utilización de las micorrizas arbusculares en la adaptación de vitroplantas de banano (*Musa* sp): Dosis y cepas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) y combinaciones de sustratos. *Cultivos Tropicales*, vol. 18, no. 3, p. 5-9. ISSN 0258-5936.
- 172.Nowakunda, K.; Rubaihayo, P. R.; Ameny, M. A. y Tushemereirwe, W. 2000. Aceptabilidad por parte de consumidores en Uganda de bananos introducidos. *InfoMusa*, vol. 9, no. 2, p. 22-25. ISSN 1729-0996.

- 173.NRAG 564. 1982. Análisis vegetal. Análisis foliar. Métodos de ensayo. NRAG 564:82. Ciudad de La Habana: MINAG. 13 p.
- 174.NRAG. 2012. Biotecnología y viandas. Propagación in vitro del plátano. Especificaciones. Departamento de Calidad. NRAG-266. Ciudad de La Habana: MINAG. 8 p.
- 175.Oehl, F.; Laczko, E. y Bogenrieder, A. 2010. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 42, p. 724-738. ISSN 0038-0717.
- 176.ONEI. 2015. Oficina Nacional de Estadística e Información. Anuario Estadístico de Cuba 2014. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. Edición 2015 [En línea]. [Consultado: octubre de 2015]. Disponible en: www.onei.cupdf.
- 177.Orellana, H.; Solórzano, H.; Bonilla, A.; Salazar, G.; Falconí-Borja, C. y Velasteguí, R. 2008. El cultivo de banano. *Vademécum Agrícola*, 24 p.
- 178.Paneque, V. M. y Calaña, J. M. 2001. *Abonos Orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación*. 39 p. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/folleto_suelos.pdf.
- 179.Pellegrino, Elisa; Bedini, S.; Bonari, E y Giovannetti, M. 2011. Field inoculation effectiveness of native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi in a Mediterranean agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 43, p. 367-376. ISSN 0038-0717.
- 180.Peña, T. Elizabert, Carrión, R. M.; Martínez, F.; Rodríguez, N. A. y Concepción, C. N. 2002. *Manual para la producción de abonos en la Agricultura Urbana*. Ciudad de La Habana. PNUD-INIFAT, 102 p.
- 181.Pequeño, J. 1966. Agroquímica. Tomo I. Editorial Universitaria. La Habana.
- 182.Pérez, C. A.; Botero, L. C.; y Cepero, G. M. 2012. Diversidad de micorrizas arbusculares en

- pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa* (L) A. Campos de fincas ganaderas del municipio de Corozal-Sucre. *Revista. MVZ Córdoba*, vol. 17, no. 2, p. 3024-3032. ISSN 0122-0268.
183. Pérez, C. A.; Rojas, S. Johanna y Montes, V. D. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *Revista Colombiana Ciencia Animal*, vol. 3, no. 2, p. 366-385. ISSN 2027-4297.
184. Pérez, E. 2010. Hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para la bioprotección de patógenos en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). 100 p. [Tesis de Doctorado]. Universidad de La Habana, Facultad de Biología. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba.
185. Perín, A.; Santos, R. S.; Urquiaga, S.; Guerra, J. M. y Cecon, P. R. 2004. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, vol. 39, no. 1, p. 35-40. ISSN 01 00-2041.
186. Phillips, J. M. y Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 55, no. 1, p. 158-161. ISSN 0007-1536. DOI: 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
187. Prager, M.; Sanclemente, E.; Sánchez de P., M.; Gallego, J. y Sánchez, D. A. 2012. Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*, vol. 7, no. 1, p. 53-62. ISSN 1989-4686.
188. Radjacommare, R.; Venkatesan, S. y Samiyappan, R. 2010. Biological control of phytopathogenic fungi of vanilla through lytic action of *Trichoderma* sp and *Pseudomonas*

- fluorescens*. *Phytopathology and Plant Protection*, vol. 43, no. 1, p. 1-17. ISSN 1477-2906.
189. Ragothama, K. G. 1999. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, no. 50, p. 665-693. ISSN 1040-2519.
190. Ramírez, María M. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica*. [En línea] [Consultado: junio de 2015]. Disponible en: www.corpoica.org.co/sitioweb/archivos/revista/4micorrizasenmaiz_pp3140revcorpo_v5n1.pdf. ISSN 0122-8706.
191. Ramos, L.; Reyna, G. Y.; Lescaille, A. J.; Arozarena, D. N. J.; Ramírez, P. M. y Martín, A. G. M. 2013. Hongos micorrízicos arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: Una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana. *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 1, p. 5-10. ISSN 0258-5936.
192. Resende, A. S.; Xavier, R. P.; Quesada, D. M.; Urquiaga, S.; Alves, B. R. y Boddey, R. M. 2003. Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. *Biology Fertility Soils*, vol. 37, p. 215–220. ISSN 1432-0789.
193. Reyes, A. C.; Ara, M.; Ramos, O. y Clavo, Z. 2004. Fertilización con fósforo y control de malezas para el establecimiento de *Brachiaria brizantha* a escala comercial. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 15, no. 2, p. 92-99. ISSN 1609-9117. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponibles en: <http://www.sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/veterinaria/veterinaria.htm>.
194. Riera, N. 2003. Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo Ferralítico Rojo. 100 p. [Tesis de

- Doctorado, en línea]. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. [Consultado: abril de 2015]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
195. Rishirumuhirwa, T. 1997. Papel de los bananos en el funcionamiento de las fincas en los altiplanos de África Oriental: Aplicación al caso de la región de Kirimiro de Burundi. *InfoMusa*, vol. 6, no. 1, p. 12-18. ISSN 1729-0996.
196. Rivera, R.; Fernández, S. Kalyanne, Ruiz, M. L.; González, C. P. J. y Martín, A. Gloria. 2014. Beneficios y factibilidad del modelo planta micorrizada eficientemente como elemento constitutivo de la producción agrícola. En: *Congreso Científico (XIX: 2014, noviembre 6-9: Mayabeque)*. [CD-Rom] Memorias. Mayabeque: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978-959-7023-73-9.
197. Rivera, R. y Fernández, F. 2006. Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. *Biological approaches to sustainable soil systems*. Editorial Norman Uphoff. CRC Press. Taylor y Francis Group, Florida, USA, p. 479- 489. ISBN 978-1-57444-583-1.
198. Rivera, R. y Fernández, Kalyanne. 2003. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: Editores Rivera, R. y Fernández, K., *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe*. 1.^a ed., Editorial INCA, La Habana, Cuba, 177 p. ISBN 959-7023-24-5.
199. Rivera, R.; Calderón, A.; Nápoles, María C. y Ruiz, L. 2012b. La validación a escala productiva del biofertilizante EcoMic® y su aplicación conjunta con rizobios en el cultivo del frijol, en el centro y occidente del país. INCA. Mayabeque. 19 p. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/extensiones/2010-

- 2012Frijol.pdf.
- 200.Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, Kalyanne, Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. 2007. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystem. En: Editores Hamel, C. y Plenchette, C. *Mycorrhizae in Crop Production*. Editorial Haworth Press, Binghamton, N. Y., p. 151-196. ISBN 978-1-56022-306-1. DOI: 10.13140/RG.2.1.1771.2162.
- 201.Rivera, R.; González, P. J.; Hernández, A.; Martín, Gloria, Ruiz, L.; Fernández, Kalyanne, Simó, J.; García, Milagro, Pérez, A.; Riera, M.; Bustamante, C.; Joao, J. P. y Ruiz, M. 2015. La importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad y la recomendación de cepas eficientes de HMA para la inoculación de los cultivos. En: *VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*. (2 al 5 de junio de 2015). [CD-Rom] Memorias. La Habana, Cuba. ISBN 978-959-296-039-8.
- 202.Rivera, R.; Ruiz, L.; González, P. J.; Martín, Gloria, Pérez, E.; Rodríguez, Yakelin, Hernández, A. y Plana, R. 2013. El manejo de los inoculantes micorrízicos y su integración con los sistemas de suministro de nutrientes. Avances y retos. En: *II Simposio Internacional de Raíces, Rizomas, Tubérculos, Plátanos, Bananos y Papaya* (2013, octubre 22-25: Villa Clara). [CD-Rom] Memorias. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). ISBN 978-959-295-008-5.
- 203.Rivera, R.; Ruíz, L.; Riera, M.; Simó, J.; Fundora, L. R.; Calderón, A.; Martín, J. V.; Marrero, Y. y Joao, J. P. 2012a. La efectividad del biofertilizante EcoMic® en el cultivo de la yuca. Resultados de las campañas de extensiones con productores. *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 1, p. 5-10. ISSN 0258-5936.
- 204.Rivera, R.; Sánchez, C.; Caballero, D.; Cupull, D.; González, C. y Urquiaga, S. 2010. Abonos

- verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelos Fersialíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 2, p. 75-81. ISSN 0258-5936.
205. Robinson, J. C. 1996. *Bananas and Plantains*. Cambridge, Gran Bretaña: CAB International, University Press, 238 p.
206. Robinson, J. C. y Galán, S. V. 2012. *Plátanos y Bananas*. Mundiprensa, España. 321 p. ISBN 978-848-476-542-4.
207. Rodríguez, G. M. 1980. Estudios preliminares sobre la nutrición con potasio de los bananales en América Central. *Fruits*, vol. 35, no. 5, p. 283-294. ISSN 0248-1294.
208. Rodríguez, M. 1990. El análisis foliar como método de diagnóstico de la nutrición mineral. *SUTRAI*, no. 21, 4^o trimestre, p. 54-57. [En línea] [Consultado: abril de 2016]. Disponible en: http://www.fraisoro.net/FraisoroAtariaDoku/21_54_57.pdf.
209. Rodríguez, Yakelyn, Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, Kalyanne y Rivera, R. 2011. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Micotaxon*, vol. 118, no.1, p. 337-347. ISSN 2154-8889.
210. Romero, O. J. 1998. Fertilizantes orgánicos y su aplicación en el cultivo de banano. Editores Rosales, F. E.; Tripon, S. C. y Cerna, J. *Producción de banano orgánico y/o, ambientalmente amigable*. Memorias del taller internacional realizado en la EARTH, (1998, noviembre 6-9: Guácimo, Costa Rica). INIBAP. 265 p.
211. Ruiz, J. M.; Porcel, R.; Bázquez, G.; Azcón, R. y Aroca, R. 2012. *Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant drought tolerance. State of the art*. Editor Aroca, R. *Plant Responses to Drought Stress: From Morphological to Molecular Features*. Heidelberg, Germany. Springer-Verlag, p. 335-362. ISBN 978-3-642-32652-3.
212. Ruiz, L. 2001. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en raíces y tubérculos en dos tipos

- de suelos. 101 p. [Tesis de Doctorado, en línea]. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
213. Ruiz, L.; Simó, J.; Rodríguez, S. y Rivera, R. 2012. *Las micorrizas en cultivos tropicales. Una contribución a la sostenibilidad agroalimentaria*. Editorial Académica Española, 239 p. ISBN 978-3-8484-5382-5.
214. Ruiz, M. 2015. Comportamiento del arroz (*Oryza sativa* L.) inoculado con hongos micorrízico arbusculares y expuesto a diferentes condiciones hídricas en el suelo. 100 p. [Tesis de Doctorado, en línea]. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. [Consultado: junio de 2016]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
215. Ruiz, L.; Simó, J. y Rivera, R. 2010. Nuevo método para la inoculación micorrízica del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 3, p. 15-20. ISSN 0258-5936.
216. Salamanca, W. F.; Bonilla, C. R. y Sánchez, M. S. 2004. Evaluación de seis abonos verdes en un Vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, no. 53, p. 3-4. ISSN 0120-2812.
217. Saldanha, de O. A. E.; de Sá, J. R. de.; Medeiros, J. F. de.; Nogueira, N. W. y Silva, K. J. P. 2010. Interação da adubação organo-mineral no estado nutricional das plantas. (Mossoró-RN-Brasil). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 5, no. 3, p. 53-58. [En línea] [Consultado: 12 de junio de 2015]. Disponible en: gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/download/305/305. ISSN 1981-8203.
218. Salisbury, S. y Christensen, N. 2001. Uso de resinas de intercambio para medir el efecto de

- las rotaciones en la disponibilidad de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, no. 42, p. 1-3.
219. Sánchez, C. 2001. Uso y manejo de los hongos micorrizógenos arbusculares y los abonos verdes en la producción de posturas de caféto (*C. arabica* L.) en algunos suelos del macizo Guamuaya. 102 p. [Tesis de Doctorado, en línea]. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
220. Sánchez, C.; Caballero, D.; Cupull, R.; González, C.; Urquiaga, S. y Rivera, R. 2009. Los abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* L. sobre suelos Cambisoles gléyicos. *Cultivos Tropicales*, vol. 30, no. 1, p. 25-30. ISSN 0258-5936.
221. Sánchez, C.; Rivera, R.; González, C.; Cupull, R.; Herrera, R. y Varela, M. 2000. Efecto de la inoculación de HMA sobre la producción de posturas de cafetos en tres tipos de suelos del macizo montañoso de Guamuaya. *Cultivos Tropicales*, vol. 21, no. 3, p. 5-13. ISSN 0258-5936.
222. Sánchez, C.; Rivera, R.; Caballero, D.; Cupull, R.; González, C. y Urquiaga, S. 2011. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de caféto sobre suelos Ferralíticos Rojos lixiviados. *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 3, p. 11-17. ISSN 0258-5936.
223. Sangakkara, U. R. y Nissanka, S. P. 2003. Nitrogen uptake and yields of rainfed maize (*Zea mays* L.) as affected by time and method of crop stover application in the humid tropics. *Maydica*, vol. 48, no. 3, p. 191-196. ISSN 2279-8013.
224. Santos, J. C.; Nallanchakravarthula, S; Alström, S. y Finlay, R. D. 2011. Soil, But Not Cultivar, Shapes the Structure of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Assemblages Associated with Strawberry. *Microbial. Ecology*, vol. 62, p. 25–35. ISSN 1432-184X.
225. Schüller, A. y Walker, C. 2011. Evolution of the 'Plant-Symbiotic' Fungal *Phyllum*,

- Glomeromycota. Evolution of fungi and fungal-like organisms. Chapter 7. The Mycota XIV.* Pöggeler, S. y Wöstemeyer, J. (Eds.) © Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 163-185. ISBN 78-3-642-19973-8.
226. Siddiqui, Z. A. y Akhtar, M. S. 2008. Synergistic effects of antagonistic fungi and a plant growth promoting rhizobacterium, an arbuscular mycorrhizal fungus, or composted cow manure on populations of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Biocontrol Science Technology*, vol. 18, no. 3, p. 279-290. ISSN 1360-0478.
227. Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Germany: GTZ. 371 p. ISBN 3880854629. ISSN 9783880854628.
228. Sieverding, E., Alves da Silva, G., Berndt, R. y Oehl, F. 2014. *Rhizoglomus*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon*, vol. 129, no. 2, p. 373 -386. ISSN 2154-8889.
229. Simmonds, N. 1973. *Los plátanos*. Barcelona: Editorial Blume; La Habana: Instituto del Libro. 539 p.
230. Siqueira, J. O.; Franco, A. A. 1988. Biotecnología do solo. Fundamentos e Perspectivas. Brasilia: MEC. Ministerio de Educação, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE. 236 p.
231. Smith, S. E. y Read, D. J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. London, UK Academic Press. 787 p. ISBN 9780080559346.
232. Smith, S. E. y Smith, F. A. 2011. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. *Annual Review Plant Biology*, no. 62, p. 227-250. ISBN 1543-5008/11/0602-0227. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042110.
233. Someshwar, A.V. 1996. Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal Environem Quality*, vol. 25, p. 962-972. ISSN 1537-2537.
234. Soto, M. 2008. *Bananos: técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización*.

- [CD-Rom] 4 ed. San José (C. R.). Litografía e Imprenta LIL. ISBN 9977-47-154-1.
- 235.Spanoletti, N. F.; Fernández, di P.; A.; Tobar, G. N. E. y Chiocchio, V. M. 2013. Las micorrizas arbusculares y *Rhizobium*: una simbiosis dual de interés. *Revista argentina de microbiología*, vol. 45, no. 2, p. 131-132. ISSN 0325-7541.
- 236.Stover, R. y Simmonds, N. 1987. Bananas. 3rd edition. Longman, London. 468 p.
- 237.Strullu, D. C., y Strullu, D. G. 2007. Mycorrhization of fossil and living plants. *Comptes Rendus Palevol*, vol.6, no. 6, p. 483-494. ISSN 1631-0683.
- 238.Sumner, M. E. 2000. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. En: *VIII Congreso Argentino de Siembra Directa*, AAPRESID. Mar del Plata, Argentina, 16-18 de agosto de 2000. [En línea] [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: <http://fertilizando.com/articulos/Sumner%20Diagnostico%20Requerimiento%20Fertilizacion.pdf>.
- 239.Swennen, R. 1990. Plantain cultivation under West African conditions. A reference manual. Ibadam, Nigeria: International institute for Tropical Agriculture; Thailand: Amarin Printing Group. LTD. 24 p.
- 240.Tamayo, Y. 2014. Coinoculación de *Rhizobium* sp y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en *Canavalia ensiformis* (L) D. C. cultivada sobre un suelo Pardo Sialítico Mullido Carbonatado. 75 p. [Tesis de Maestría, en línea] Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana. [Consultado: abril de 2015]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
- 241.Teisson, C. 1970. Conduction vers un Bananier D'Eléments minéraux absorbes par son Rejet. *Fruits*, no. 25, p. 451-454.
- 242.Terry, E. 2004. Microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativas para la

- producción ecológica de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill. Variedad 'Amalia'). 100 p. [Tesis de Doctorado, en línea] Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana. [Consultado: abril de 2014]. Disponible en: www.inca.edu.cu/redmicorrizas/docs/posgrados/resumen/2.pdf.
243. Tian, C.; Kasiborski, B.; Koul, R.; Lammers, P. J.; Bucking, H. y Shachar-Hill, Y. 2010. Regulation of the nitrogen transfer path way in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: gene characterization and the coordination of expression with nitro genfl ux. *Plant Physiology*, vol. 153, p. 1175-1187. ISSN 0032-0889.
244. Trannin, W. S.; Urquiaga, S.; Guerra, G.; Ibjibjen, J. y Cadisch, G. 2000. Interspecies competition and N transfer in a tropical grass-legume mixture. *Biology Fertility Soils*, vol. 32, p. 441-448. ISSN 1432-0789.
245. Trocme, S. y Gras, R. 1979. Suelos y Fertilización en Fruticultura. Traducción al español por F. Gil-Albert. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 388 p.
246. Turner, D. W.; Fortescue J. A. y Thomas, D. S. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). *Brazilian Journal of Plant Physiology*, vol. 19, no. 4, p. 463- 484. ISSN 1677-0420.
247. Usuga, O. C. E.; Castañeda, S. D. A. y Franco, M. A. 2008. Multiplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa AAA cv. 'Gran Enano'*) (*Musaceae*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín, vol. 61, no. 1, p. 4279-4290. ISSN 0304-2847.
248. Valdés, A.; Hernández, Adriana, Furrázola, E.; Portier, Maritza y Collazo, Esther. 1993. Influencia de varias cepas de hongo MVA sobre el crecimiento de vitroplantas de plátano a escala de laboratorio y producción. En: *BIOFERTRO'93*. Resúmenes. La Habana: Instituto

- de Ecología y Sistemática (IES). 232 p.
249. Vance, E. D. 1996. Land application of wood-fired and combination boiler ashes: an overview. *Journal Environmental Quality*, vol. 35, p. 937-944. ISSN 1537-2537.
250. Vanlauwe, B.; Bationo, A.; Chianu, J.; Giller, K. E.; Merckx, R.; Mokwunye, U.; Ohiokpehai O.; Pypers, P.; Tabo, R.; Shepherd, K.; Smaling, E.; Woomer, P. L. y Sanginga, N. 2010. Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*, vol. 39, no. 1, p. 17–24. ISSN 0030-7270.
251. Vera, N. J. A.; Infante, S. J. P.; Velasco, V. V.; Salgado, G. S.; Palma, L. D. J.; Grageda, C. O. A.; Cárdenas, N. R. y Peña, C. J. J. 2008. Influence of P fertilization on biological nitrogen fixation in herbaceous legumes grown in acid savannah soil from the Tabasco state, Mexico. *Journal of Sustainable Agricultura*, vol. 3, p. 25-42. ISSN 1540-7578.
252. Verbruggen, E.; van der Heijden, M., Rillig, M. y Kiers, E. T. 2012. Mycorrhizal fungal establishment in agricultural soils: factors determining inoculation success. *New Phytologist*. DOI: 10.1111/j.1469-8137,2012.04348.x. ISSN 0028-646x.
253. Veresoglou, D.; Chen B. y Rillig, M. C. 2012. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 46, p. 53-62. ISSN 0038-0717.
254. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, vol. 255, p. 571-586. ISSN 0032-0781.
255. Vierhelig, H. y Piché, Y. 2002. Signaling in arbuscular mycorrhiza: facts and hypotheses. En: Manthey, J.; Buslig, B. (Eds.). *Flavonoids in the living system*. Plenum Press. New York, N. Y. ISBN 0-306-47254-6.
256. Walmsley, D. y Twyford, I. 1968. The Uptake of 32 P by Robusta Banana. *Tropical*

- Agriculture*, vol., 45, no., 3, p. 223-228.
257. Waugh, D. L.; Cate J.; R. B. y Nelson, L. A. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelo y las respuestas a los fertilizantes. Proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo. North Carolina State University. Boletín Técnico 7. 106 p.
258. Wiedenhoeft, A. C. 2006. Plant Nutrition. New York, USA: Chelsea House. 144 p.
259. WRB. World reference base for soil resources. 2014. "International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps". *World Soil Reports* no. 106. FAO, Roma, 81 p. ISBN 978-92-5-108369-7. ISSN 0532-0488.
260. Yang, W. C.; Ellouze, A.; Navarro-Borrell, A.; Esmaili T., R.; Klabi, M.; Dai, Z. K., y Hamel, C. 2014. Management of the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. Sustainable Crop Production. En: Solaiman Z. M. (ed.). *Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration*. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 89-118. DOI: 10.1007/978-3-662-45370-4-7.

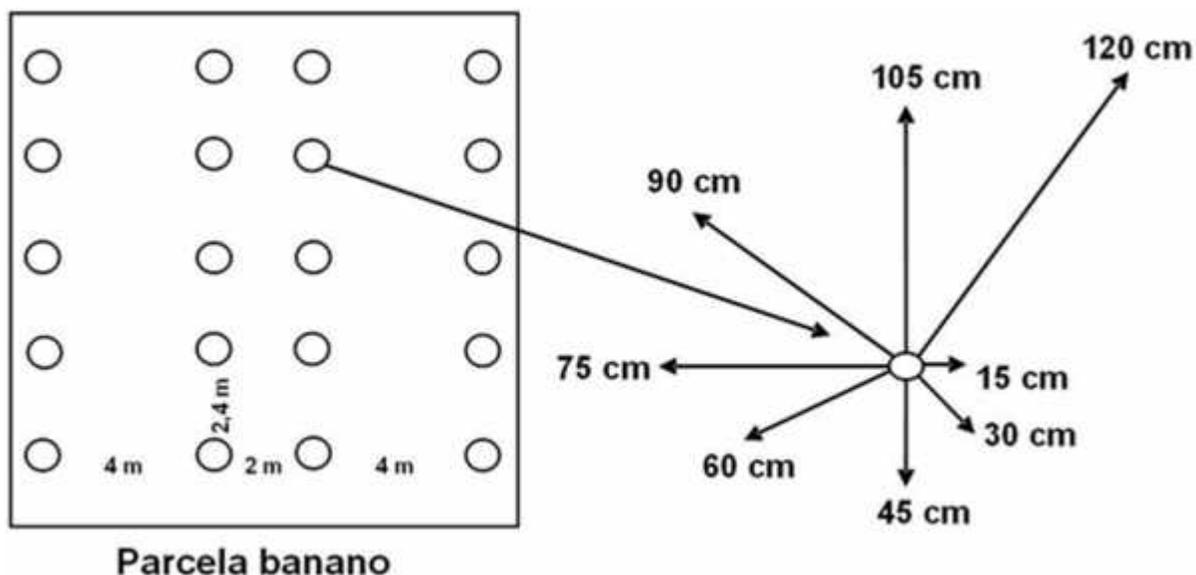
VII. ANEXOS

VII. ANEXOS

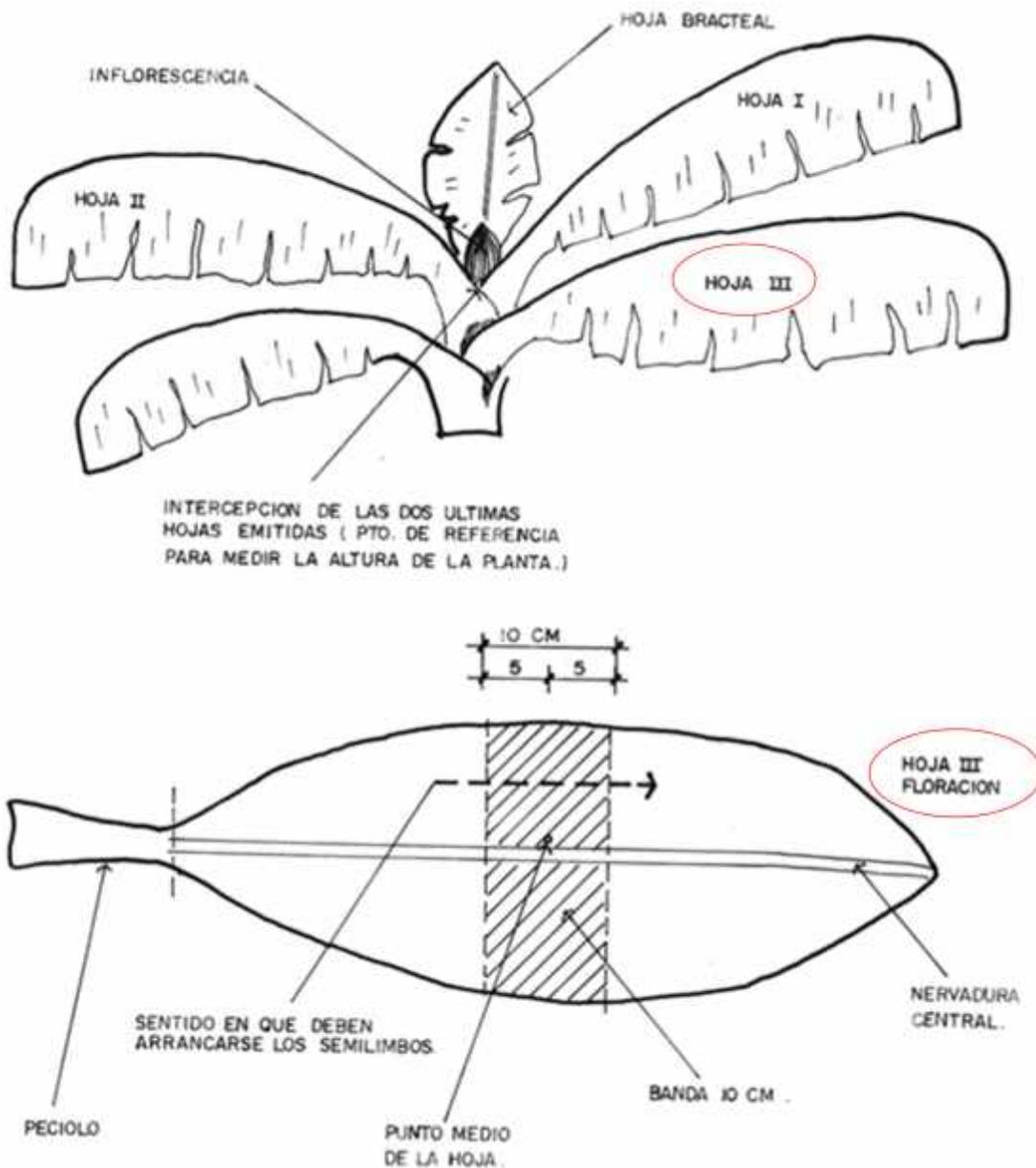
Anexo 1. Principales características del banano cv. 'FHIA-18' (MINAG, 2012).

- *Musa* spp. (AAAB)
- Hábito foliar: Normal
- Altura: 2,10-3,50 m
- Forma del racimo: Asimétrico
- Tipo de racimo: Casi cilíndrico
- Color del seudotallo: Verde con tonalidades rosadas
- Color de los frutos: Verde
- Duración primer ciclo vegetativo (plantación-floración): 180-210 días
- Duración primer ciclo productivo (floración- cosecha): 100-130 días
- Peso Neto del racimo (sin raquis): 17-35 kg
- Número de dedos por racimo: 120-170 dedos
- Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet): Medianamente resistente
- Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp *cupense* (Foc)): Resistente
- Nemátodos: Resistente a *Radopholus similis*

Anexo 2. Representación gráfica del método de toma de muestras compuestas de suelo (0-0,20 m de profundidad) para plantas de banano (Guijarro, 1983) y adaptado para muestreo de esporas de HMA. Marco de plantación del banano: 4 m x 2 m x 2,4 m.



Anexo 3. Fase del cultivo y hoja a tomar para el muestreo foliar (Guijarro, 1983).



Anexo 4. Cálculos del análisis económico por tratamiento.

Tratamiento: Control

Concepto	(CUP)			
	PM	V-1	V-2	Total
Sub total (Gastos de materia prima y materiales)	3098,9	1486,4	1486,4	6071,7
Plantas aclimatadas de banano	1526,8	0,0	0,0	1526,8
Semillas de canavalia	0,0	0,0	0,0	0,0
Compost	0,0	0,0	0,0	0,0
Ceniza	0,0	0,0	0,0	0,0
CIK	0,0	0,0	0,0	0,0
Urea	0,0	0,0	0,0	0,0
SFT	0,0	0,0	0,0	0,0
Doblete	36,8	36,8	36,8	110,4
Finale	83,7	83,7	83,7	251,2
Gesapax	33,5	33,5	33,5	100,5
Glyphosate	31,9	31,9	31,9	95,8
EcoMic	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros gastos materiales	210,0	210,0	210,0	630,0
Agua	99,8	99,8	99,8	299,3
Diesel	246,4	160,7	160,7	567,9
Energía	830,0	830,0	830,0	2489,9
Sub total (Gastos de elaboración)	2254,9	2054,3	2054,3	6363,5
Salarios	1704,8	1553,1	1553,1	4810,9
Vacaciones	155,0	141,2	141,2	437,3
Contribución a la seguridad social	232,5	211,8	211,8	656,0
Impuesto utilización de la fuerza de trabajo	69,7	63,5	63,5	196,8
Gastos indirectos de producción	55,8	50,8	50,8	157,4
Gastos generales y de administración	37,2	33,9	33,9	105,0
Gastos totales	5353,8	3540,7	3540,7	12435,2
Gastos bancarios	241,8	182,3	182,3	606,4
Seguro estatal	505,4	345,4	345,4	1196,2
Costo Total	6101,1	4068,4	4068,4	14237,8
Costo por tonelada	444,5	212,8	293,8	304,9
Margen de utilidad	80,0	38,3	52,9	54,9
Precio por tonelada	524,5	251,1	346,7	359,8
Valor por ficha de costo	7199,2	4800,7	4800,7	16800,7
Precio compra de Acopio (promedio)	1217,4	1217,4	1217,4	1217,4
Valor de la producción por venta a Acopio	16709,4	23280,5	16858,5	56848,4
Ganancia	10608,3	19212,1	12790,1	42610,5
		(t ha ⁻¹)		
Rendimiento	13,7	19,1	13,8	46,7

Leyenda: PM = planta madre, V-1 = vástago-1, V-2 = vástago-2

Tratamiento: 100 % NPK

Concepto	(CUP)			Total
	PM	V-1	V-2	
Sub total (Gastos de materia prima y materiales)	4407,0	2794,5	2794,5	9996,1
Plantas aclimatizadas de banano	1526,8	0,0	0,0	1526,8
Semillas de canavalia	0,0	0,0	0,0	0,0
Compost	0,0	0,0	0,0	0,0
Ceniza	0,0	0,0	0,0	0,0
CIK	754,6	754,6	754,6	2263,8
Urea	500,9	500,9	500,9	1502,6
SFT	39,2	39,2	39,2	117,6
EcoMic	0,0	0,0	0,0	0,0
Doblete	36,8	36,8	36,8	110,4
Finale	83,7	83,7	83,7	251,2
Glyphosate	31,9	31,9	31,9	95,8
Gesapax	33,5	33,5	33,5	100,5
Otros gastos materiales	210,0	210,0	210,0	630,0
Agua	99,8	99,8	99,8	299,3
Diesel	259,9	174,2	174,2	608,3
Energía	830,0	830,0	830,0	2489,9
Sub total (Gastos de elaboración)	2884,3	2683,7	2683,7	8251,6
Salarios	2180,6	2028,9	2028,9	6238,4
Vacaciones	198,2	184,4	184,4	567,1
Contribución a la seguridad social	297,3	276,7	276,7	850,7
Impuesto utilización de la fuerza de trabajo	89,2	83,0	83,0	255,2
Gastos indirectos de producción	71,4	66,4	66,4	204,2
Gastos generales y de administración	47,6	44,3	44,3	136,1
Gastos totales	7291,3	5478,2	5478,2	18247,7
Gastos bancarios	346,5	275,8	275,8	898,1
Seguro estatal	2048,2	2955,9	3000,7	8004,9
Costo Total	9686,0	8709,9	8754,7	27150,7
por tonelada	460,6	287,0	284,2	330,3
Margen de utilidad	82,9	51,7	51,1	59,5
Precio por tonelada	543,5	338,6	335,3	389,8
Valor por ficha de costo	11429,5	10279,8	10332,6	32039,9
Precio compra de Acopio (promedio)	1217,4	1217,4	1217,4	1217,4
Valor de la producción por venta a Acopio	25602,8	36949,3	37509,3	100061,4
Ganancia	15916,7	28239,4	28754,6	72910,7
		(t ha ⁻¹)		
Rendimiento	21,0	30,4	30,8	82,2

Leyenda: PM = planta madre, V-1 = vástago-1, V-2 = vástago-2; 100 % NPK = 300 y 720 g por plantón en cada ciclo de N y de K₂O respectivamente y 38 g por plantón de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM (MINAG, 2011a)

Tratamiento: 100 % FOM

Concepto	(CUP)			
	PM	V-1	V-2	Total
Sub total (Gastos de materia prima y materiales)	4656,1	3026,4	3026,4	10709,0
Plantas aclimatizadas de banano	1526,8	0,0	0,0	1526,8
Semillas de canavalia	0,0	0,0	0,0	0,0
Compost	1400,0	1400,0	1400,0	4200,0
Ceniza	140,0	140,0	140,0	420,0
CIK	0,0	0,0	0,0	0,0
Urea	0,0	0,0	0,0	0,0
SFT	0,0	0,0	0,0	0,0
EcoMic	0,0	0,0	0,0	0,0
Doblete	36,8	36,8	36,8	110,4
Finale	83,7	83,7	83,7	251,2
Glyphosate	31,9	31,9	31,9	95,8
Gesapax	33,5	33,5	33,5	100,5
Otros gastos materiales	210,0	210,0	210,0	630,0
Agua	99,8	99,8	99,8	299,3
Diesel	263,7	160,7	160,7	585,1
Energía	830,0	830,0	830,0	2489,9
Sub total (Gastos de elaboración)	2270,2	2071,9	2071,9	6413,9
Salarios	1716,3	1566,4	1566,4	4849,1
Vacaciones	156,0	142,4	142,4	440,8
Contribución a la seguridad social	234,0	213,6	213,6	661,2
Impuesto utilización de la fuerza de trabajo	70,2	64,1	64,1	198,4
Gastos indirectos de producción	56,2	51,3	51,3	158,7
Gastos generales y de administración	37,4	34,2	34,2	105,8
Gastos totales	6926,3	5098,3	5098,3	17122,9
Gastos bancarios	301,7	230,0	230,0	761,7
Seguro estatal	2002,4	2828,8	2953,8	7785,0
Costo Total	9230,5	8157,1	8282,0	25669,7
Costo por tonelada	449,0	280,8	273,1	321,1
Margen de utilidad	80,8	50,6	49,2	57,8
Precio por tonelada	529,8	331,4	322,2	378,9
Valor por ficha de costo	10892,0	9627,4	9774,8	30292,2
Precio compra de Acopio (promedio)	1217,4	1217,4	1217,4	1217,4
Valor de la producción por venta a Acopio	25030,6	35360,5	36921,9	97313,0
Ganancia	15800,1	27203,4	28639,9	71643,4
	(t ha⁻¹)			
Rendimiento	20,6	29,0	30,3	79,9

Leyenda: PM = planta madre, V-1 = vástago-1, V-2 = vástago-2; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza respectivamente, aplicado en cada ciclo (MINAG, 2011a).

Tratamiento: 75 % FOM + BHMA(t)

Concepto	(CUP)			
	PM	V-1	V-2	Total
Sub total (Gastos de materia prima y materiales)	4366,2	2631,5	2631,5	9629,3
Plantas aclimatizadas de banano	1526,8	0,0	0,0	1526,8
Semillas de canavalia	0,0	0,0	0,0	0,0
Compost	1041,0	1041,0	1041,0	3123,0
Ceniza	104,1	104,1	104,1	312,3
CIK	0,0	0,0	0,0	0,0
Urea	0,0	0,0	0,0	0,0
SFT	0,0	0,0	0,0	0,0
EcoMic	105,0	0,0	0,0	105,0
Doblete	36,8	36,8	36,8	110,4
Finale	83,7	83,7	83,7	251,2
Glyphosate	31,9	31,9	31,9	95,8
Gesapax	33,5	33,5	33,5	100,5
Otros gastos materiales	210,0	210,0	210,0	630,0
Agua	99,8	99,8	99,8	299,3
Diesel	263,7	160,7	160,7	585,1
Energía	830,0	830,0	830,0	2489,9
Sub total (Gastos de elaboración)	2270,2	2071,9	2071,9	6413,9
Salarios	1716,3	1566,4	1566,4	4849,1
Vacaciones	156,0	142,4	142,4	440,8
Contribución a la seguridad social	234,0	213,6	213,6	661,2
Impuesto utilización de la fuerza de trabajo	70,2	64,1	64,1	198,4
Gastos indirectos de producción	56,2	51,3	51,3	158,7
Gastos generales y de administración	37,4	34,2	34,2	105,8
Gastos totales	6636,4	4703,4	4703,4	16043,2
Gastos bancarios	290,7	215,1	215,1	720,9
Seguro estatal	2043,1	2974,0	2994,2	8011,2
Costo Total	8970,3	7892,4	7912,6	24775,3
Costo por tonelada	427,6	258,5	257,4	301,2
Margen de utilidad	77,0	46,5	46,3	54,2
Precio por tonelada	504,6	305,0	303,7	355,4
Valor por ficha de costo	10585,0	9315,1	9338,9	29236,9
Precio compra de Acopio (promedio)	1217,4	1217,4	1217,4	1217,4
Valor de la producción por venta a Acopio	25538,8	37174,5	37427,1	100140,5
Ganancia	16568,5	29282,1	29514,5	75365,2
	(t ha ⁻¹)			
Rendimiento	21,0	30,5	30,7	82,3

Leyenda: PM = planta madre, V-1 = vástago-1, V-2 = vástago-2; BHMA(t) = inoculación del banano en trasplante; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza respectivamente, aplicado en cada ciclo (MINAG, 2011a).

Tratamiento: AVIHMA + 50 % FOM

Concepto	(CUP)			
	PM	V-1	V-2	Total
Sub total (Gastos de materia prima y materiales)	4959,0	2068,8	2068,8	9052,3
Plantas aclimatizadas de banano	9,0	0,0	0,0	1526,8
Semillas de canavalia	1181,3	0,0	0,0	1181,3
Compost	700,0	700,0	700,0	2100,0
Ceniza	70,0	70,0	70,0	210,0
CIK	0,0	0,0	0,0	0,0
Urea	0,0	0,0	0,0	0,0
SFT	0,0	0,0	0,0	0,0
EcoMic	80,2	0,0	0,0	35,0
Doblete	0,0	0,0	0,0	0,0
Finale	0,0	0,0	0,0	0,0
Glyphosate	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesapax	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros gastos materiales	210,0	210,0	210,0	630,0
Agua	99,8	99,8	99,8	299,3
Diesel	262,0	159,0	159,0	580,1
Energía	830,0	830,0	830,0	2489,9
Sub total (Gastos de elaboración)	2084,7	1884,1	1884,1	5852,9
Salarios	1576,1	1424,4	1424,4	4424,9
Vacaciones	143,3	129,5	129,5	402,2
Contribución a la seguridad social	214,9	194,2	194,2	603,4
Impuesto utilización de la fuerza de trabajo	64,5	58,3	58,3	181,0
Gastos indirectos de producción	51,6	46,6	46,6	144,8
Gastos generales y de administración	34,4	31,1	31,1	96,5
Gastos totales	7044,6	3952,9	3952,9	14905,2
Gastos bancarios	300,0	182,2	182,2	664,3
Seguro estatal	2039,7	2914,8	2943,5	7898,0
Costo Total	9384,3	7049,9	7078,6	23467,6
Costo por tonelada	445,9	235,6	234,2	289,4
Margen de utilidad	80,3	42,4	42,2	52,1
Precio por tonelada	526,2	278,0	276,4	341,5
Valor por ficha de costo	11020,2	8320,9	8354,8	27693,8
Precio compra de Acopio (promedio)	1217,4	1217,4	1217,4	1217,4
Valor de la producción por venta a Acopio	25496,2	36434,9	36794,1	98725,3
Ganancia	16112,0	29385,1	29715,5	75257,7
	(t ha ⁻¹)			
Rendimiento	20,9	29,9	30,2	81,1

Leyenda: PM = planta madre, V-1 = vástago-1, V-2 = vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza respectivamente, aplicado en cada ciclo (MINAG, 2011a).

Tratamiento: AVIHMA + 25 % FOM (PM y V1) y 50 % FOM (V2). Recomendación.

Concepto	(CUP)			
	PM	V-1	V-2	Total
Sub total (Gastos de materia prima y materiales)	4574,9	1683,8	2068,8	8282,3
Plantas aclimatizadas de banano	1526,8	0,0	0,0	1526,8
Semillas de canavalia	1181,3	0,0	0,0	1181,3
Compost	350,0	350,0	700,0	1400,0
Ceniza	35,0	35,0	70,0	140,0
CIK	0,0	0,0	0,0	0,0
Urea	0,0	0,0	0,0	0,0
SFT	0,0	0,0	0,0	0,0
EcoMic	80,2	0,0	0,0	35,0
Doblete	0,0	0,0	0,0	0,0
Finale	0,0	0,0	0,0	0,0
Glyphosate	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesapax	0,0	0,0	0,0	0,0
Otros gastos materiales	210,0	210,0	210,0	630,0
Agua	99,8	99,8	99,8	299,3
Diesel	262,0	159,0	159,0	580,1
Energía	830,0	830,0	830,0	2489,9
Sub total (Gastos de elaboración)	2084,7	1884,1	1884,1	5852,9
Salarios	1576,1	1424,4	1424,4	4424,9
Vacaciones	143,3	129,5	129,5	402,2
Contribución a la seguridad social	214,9	194,2	194,2	603,4
Impuesto utilización de la fuerza de trabajo	64,5	58,3	58,3	181,0
Gastos indirectos de producción	51,6	46,6	46,6	144,8
Gastos generales y de administración	34,4	31,1	31,1	96,5
Gastos totales	6659,6	3567,9	3952,9	14135,2
Gastos bancarios	285,4	167,6	182,2	635,2
Seguro estatal	2032,6	2944,3	2943,3	7920,2
Costo Total	8999,3	6679,8	7078,3	22690,6
Costo por tonelada	429,7	222,7	234,2	279,0
Margen de utilidad	77,3	40,1	42,2	50,2
Precio por tonelada	507,1	262,8	276,4	329,3
Valor por ficha de costo	10619,2	7864,6	8354,5	26777,0
Precio compra de Acopio (promedio)	1217,4	1217,4	1217,4	1217,4
Valor de la producción por venta a Acopio	25496,2	36434,9	36791,0	99002,2
Ganancia	16496,9	29770,1	29712,7	76311,6
	(t ha ⁻¹)			
Rendimiento	20,9	29,9	30,2	81,3

Leyenda: PM = planta madre, V-1 = vástago-1, V-2 = vástago-2; AVIHMA = canavalia intercalada e inoculada; 100 % FOM = 20 y 10 kg por plantón de compost y ceniza respectivamente, aplicado en cada ciclo (MINAG, 2011a).

Anexo 5. ANOVA factorial (cepas x tipo de abono orgánico x relaciones S:AO x año)

Fuente	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	MS	1344,633(a)	39	34,478	1454,460	0,000
	CN	5167,129(b)	39	132,490	2119,606	0,000
	CP	114,667(c)	39	2,940	497,278	0,000
	CK	5613,632(d)	39	143,939	1963,765	0,000
	Colonización	412056,585(e)	39	10565,553	15312,396	0,000
	AF	572740,740(f)	39	14685,660	3607,004	0,000
Intersección	MS	11416,226	1	11416,226	481598,616	0,000
	CN	460152,427	1	460152,427	7361597,501	0,000
	CP	3216,970	1	3216,970	544092,102	0,000
	CK	481791,341	1	481791,341	6573083,105	0,000
	Colonización	470232,015	1	470232,015	681495,674	0,000
	AF	17830987,260	1	17830987,260	4379540,731	0,000
Cepa*Tipo AO*Relación	MS	0,235	4	0,059	2,481	0,043
	CN	4,758	4	1,190	19,031	0,000
	CP	0,795	4	0,199	33,595	0,000
	CK	1,046	4	0,261	3,566	0,007
	Colonización	28,410	4	7,103	10,293	0,000
	AF	400,710	4	100,178	24,605	0,000
Cepa*Tipo AO* Relación*Año	MS	0,005	4	0,001	0,057	0,994
	CN	0,083	4	0,021	0,332	0,856
	CP	0,001	4	0,000	0,033	0,998
	CK	0,007	4	0,002	0,024	0,999
	Colonización	1,110	4	0,278	0,402	0,807
	AF	,810	4	0,203	0,050	0,995
Error	MS	13,275	560	0,024		
	CN	35,004	560	0,063		
	CP	3,311	560	0,006		
	CK	41,047	560	0,073		
	Colonización	386,400	560	0,690		
	AF	2280,000	560	4,071		
Total	MS	12774,134	600			
	CN	465354,560	600			
	CP	3334,949	600			
	CK	487446,020	600			
	Colonización	882675,000	600			
	AF	18406008,000	600			
Total corregida	MS	1357,908	599			
	CN	5202,133	599			
	CP	117,978	599			
	CK	5654,679	599			
	Colonización	412442,985	599			
	AF	575020,740	599			

Anexo 6. Correlaciones simples entre los valores de los rendimientos relativos con las concentraciones de N, P y K foliar del cv. 'FHIA-18'.

		RR	N foliar	P foliar	K foliar
		(%)	(g kg ⁻¹)		
RR (%)	Correlación de Pearson	1	-0,581(**)	0,143	0,927(**)
	Significación (bilateral)		0,000	0,367	0,000
	N	42	42	42	42
N foliar (g kg ⁻¹)	Correlación de Pearson	-0,581(**)	1	-0,328(*)	-0,799(**)
	Significación (bilateral)	0,000		0,034	0,000
	N	42	42	42	42
P foliar (g kg ⁻¹)	Correlación de Pearson	0,143	-0,328(*)	1	0,278
	Significación (bilateral)	0,367	0,034		0,075
	N	42	42	42	42
K foliar (g kg ⁻¹)	Correlación de Pearson	0,927(**)	-0,799(**)	0,278	1
	Significación (bilateral)	0,000	0,000	0,075	
	N	42	42	42	42

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Leyenda: RR = rendimiento relativo; N = número de tratamientos.

Anexo 7. Correlaciones simples entre los valores de los rendimientos relativos con los contenidos de MO, P₂O₅ y de K⁺ intercambiable en el suelo al finalizar la cosecha del V-2.

		RR	MO	P ₂ O ₅	K	pH (H ₂ O)
		(%)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)	
RR (%)	Correlación de Pearson	1	0,28	0,22	,832(**)	-0,537(**)
	Significación (bilateral)		0,08	0,16	0,00	0,00
	N	42	42,00	42	42	42
MO (g kg ⁻¹)	Correlación de Pearson	0,28	1	-0,25	0,08	0,21
	Significación (bilateral)	0,08		0,12	0,61	0,17
	N	42	42	42	42	42
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Correlación de Pearson	0,22	-0,25	1	0,30	-0,04
	Significación (bilateral)	0,16	0,12		0,06	0,82
	N	42	42	42	42	42
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Correlación de Pearson	0,832(**)	0,08	0,30	1	-0,629(**)
	Significación (bilateral)	0,00	0,61	0,06		0,00
	N	42	42	42	42	42
pH (H ₂ O)	Correlación de Pearson	-0,537(**)	0,21	-0,04	-,629(**)	1
	Significación (bilateral)	0,00	0,17	0,82	0,00	
	N	42	42	42	42	42

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Leyenda: RR = rendimiento relativo; N = número de tratamientos.