

INFLUENCIA DE LOS HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA), ABONOS ORGÁNICOS Y SACAROSA EN EL CULTIVO DEL FRÍJOL (*PHASEOLUS VULGARIS* L).

INFLUENCE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI (HMA), ORGANIC FERTILIZERS AND SUCROSE IN THE CULTIVATION OF BEANS (*PHASEOLUS VULGARIS* L).

NELSON JUAN MARTÍN ALONSO¹, ÁNGEL BERNARDO LLERENA HIDALGO², JOSÉ LUIS ACOSTA MESA³

1 Universidad Agraria de La Habana, Cuba. nelsonm@unah.edu.cu

2 Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. angel.llerena@cu.ucsg.edu.ec

3 Universidad Agraria de La Habana, Cuba. josea@unah.edu.cu

RESUMEN

En esta investigación que se desarrolló en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, con una capacidad de intercambio catiónico de 12 cmol (+).kg⁻¹, se sembró frijol negro, (*Phaseolus vulgaris* L) variedad BAT 305. El suelo se preparó con un arado de disco y una rastra de pincho, la distancia de siembra fue de 70 cm de camellón y 4 cm. de narigón. Se valoró el efecto del estiércol vacuno y la sacarosa cuando se combinan con los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) para la nutrición de esta leguminosa. Se detectó que los HMA cuando se combinan con el estiércol vacuno o sacarosa, mejoran los parámetros fisiológicos del frijol como son la altura y desarrollo de la raíz, se comprobó además que el efecto benéfico de los HMA se produce a partir de los 20 días de sembrado el frijol, ya que con antelación a ese tiempo la planta no reconoce al HMA. Al hacer una valoración del contenido de nutrientes existente en el área foliar, se encontró que el tratamiento de HMA con estiércol vacuno o sacarosa, propiciaron una mayor absorción de nitrógeno y de fósforo, estando estos elementos en el rango óptimo, no así el potasio, que fue afectado su asimilación, por la relación Ca+2/ Mg+2 existente en el suelo, lo que incidió, en que los rendimientos, más altos fueran de 1,06 y 1,12 kg.ha⁻¹.

PALABRAS CLAVE: Hongos Micorrízicos Arbusculares, Análisis Foliar, Estiércol Vacuno, Frijol Negro, Parámetros Fisiológicos.

ABSTRACT

In this research, which was developed in a leached Ferralitic Red soil, with a cation exchange capacity of 12 cmol (+). Kg⁻¹, black beans (*Phaseolus vulgaris* L) variety BAT 305 were planted. The soil was prepared with a plow of disk and a skewer harrow, the distance of sowing was 70 cm of ridge and 4 cm. of Narigon. The effect of cow dung and sucrose was evaluated when combined with the Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) for the nutrition of this legume. It was detected that the AMF, when combined with cow manure or sucrose, improve the physiological parameters of the bean, such as the height and development of the root, it was also proved that the beneficial effect of the AMF occurs after 20 days. bean planting, since before that time the plant does not recognize the AMF. When making an assessment of the content of nutrients in the foliar area, it was found that the treatment of AMF with cow dung or sucrose, led to greater absorption of nitrogen and phosphorus, these elements being in the optimum range, but not potassium, which was affected by its assimilation, by the Ca + 2 / Mg + 2 ratio existing in the soil, which affected, in that the yields, more high were 1.06 and 1.12 kg.ha⁻¹.

KEYWORDS: Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Foliar Analysis, Cow Manure, Black Bean, Physiological Parameters.

DOI: <http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v19i2.233>

RECIBIDO: 13/11/2017

ACEPTADO: 28/8/2018

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las más importantes leguminosas que poseen semillas comestibles. Su producción ha alcanzado en la actualidad un carácter universal ocupando un lugar importante en cuanto a superficie cultivada y consumo, extendiéndose su producción a los cinco continentes; donde constituye un complemento indispensable principalmente en Centro y Sur América, el Lejano Oriente y África y en los últimos años es uno de los principales cultivos generador de ingresos en las fincas de estos países (CABI, 2006).

Es una leguminosa anual, intensamente cultivada desde los trópicos hasta las zonas templadas y ocupa más del 80 % de la superficie sembrada anualmente (15 millones de hectáreas). Las leguminosas de granos contienen 2,5 veces más proteínas que los cereales, y en esto reside fundamentalmente su prioridad nutritiva. De ahí que el frijol constituye un adecuado complemento alimentario y por esa razón es un alimento básico para los países de América Latina. En Cuba se siembran alrededor de 100 000 ha anuales para el consumo de la población, con un rendimiento medio de 1.1 t.ha⁻¹ (O.N.E.I., 2014) lo que resulta un bajo rendimiento.

Las propiedades nutritivas que esta planta posee y en especial su semilla, están relacionadas con su alto contenido proteico y en menor medida a su aporte de carbohidratos, vitaminas y minerales (Ulloa, Rosas-Ulloa, Ulloa-Rangel, 2011).

Aunque se cultiva en todo el país, se considera que la zona oriental es la mayor productora específicamente la zona de Velasco en la actual provincia de Holguín, considerada por mucho tiempo el granero de Cuba (MINAG, 2000). El consumo anual normado para la distribución de la población es de 6,3 kg, sin tener en cuenta el consumo de los comedores institucionales (Faure *et al.*, 2013). Sin embargo, la producción no satisface las necesidades de consumo. Esto se debe al efecto negativo que proporcionan diferentes factores, dentro de los cuales cobran mucha importancia los bióticos y abióticos, así como numerosos problemas de orden económico (Rodríguez *et al.*, 2009).

Durante la última década, la producción de frijol en Cuba estuvo a cargo, en su gran mayoría, del sector agrícola no estatal, constituido fundamentalmente por fincas y pequeñas parcelas, con condiciones muy diversas y baja disponibilidad de insumos agroquímicos y energéticos (Rodríguez *et al.*, 2009).

El uso de los Hongos Micorrízicos con el uso de abonos orgánicos o sacarosa, pueden facilitar la toma de elementos del suelo como es el fósforo que se hace poco disponibles en los suelos Ferralíticos, facilita además la toma del nitrógeno del suelo y el proveniente de los abonos orgánicos, así como mejorar la eficiencia de la rizosfera de la planta; todos estos aspectos pueden influir en una nutrición más efectiva de la planta y aumentar los rendimientos del cultivo.

El uso de los abonos orgánicos y/o la sacarosa pueden producir un efecto estimulante en la acción de los HMA, dado el contenido de nutrientes que estos poseen y por tanto se favorece el intercambio entre la planta y el simbionte.

PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo incrementar los rendimientos en el cultivo del frijol en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados?

HIPÓTESIS

Si se aplican abonos orgánicos y/o sacarosa a los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) se facilita la nutrición de la planta y el rendimiento puede aumentar en los suelos Ferralítico Rojo Lixiviado.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del estiércol vacuno, la sacarosa y los HMA en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en los suelos Ferralítico Rojo Lixiviado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la influencia de los HMA, el abono orgánico y la sacarosa, en el estado nutricional de la planta y en el rendimiento del cultivo.
2. Determinar el efecto económico de las variables propuestas.

NOVEDAD CIENTÍFICA

Determinar el efecto de la interrelación del estiércol vacuno, la sacarosa y los HMA en el cultivo del frijol cultivado en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.

APORTE PRÁCTICO

Establecer una orientación técnica para aumentar el rendimiento del cultivo del frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS CONDICIONES EXPERIMENTALES

El trabajo experimental se realizó en la provincia Mayabeque, Municipio de San José de las Lajas, Finca Zacarías, Avenida de los Mártires, km 2.5.

El área estudiada cuenta con una superficie de aproximadamente 0,02 ha, se sitúa a los 23° 35' 50" de latitud norte y 82° 38' 45" de longitud oeste a 130 m s.n.m.

CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los datos climáticos fueron tomados en la Estación Meteorológica de Tapaste; en la **Tabla 1** se puede apreciar el comportamiento de la temperatura, las precipitaciones, velocidad del viento y humedad relativa durante el desarrollo del experimento.

TABLA 1. COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS, PRECIPITACIONES, VELOCIDAD DEL VIENTO Y HUMEDAD RELATIVA, DURANTE EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO (AÑO 2016-2017)

AÑO 2016				
MES (%)	TEMPERATURAS MEDIAS (°C)	PRECIPITACIONES (MM)	VIENTO VELOC. MAX. KM/H	HUMEDAD RELATIVA
Sept.	26,1	177,7	32,5	86
Oct.	24,9	74,0	29,0	84
Nov.	22,9	6,9	33,8	80
Dic.	20,9	12,1	34,1	78
AÑO 2017				
MES (%)	TEMPERATURAS MEDIAS (°C)	PRECIPITACIONES (MM)	VIENTO VELOC. MAX. KM/H	HUMEDAD RELATIVA
Ene.	19,7	24,2	35,6	79
Feb.	20,5	21,7	32,5	76
Mar.	22,4	22,4	32,3	79
Abr.	22,7	21,8	24,2	75
May.	25,3	53,2	15,9	77

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y CLASIFICACIÓN GENÉTICA DEL SUELO

Se abrió un perfil del suelo donde se caracterizó morfológicamente. Se clasificó genéticamente de acuerdo a la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba MINAGRI (1999) y se realizaron los siguientes análisis:

- Materia Orgánica. Método de Walkley y Black (Jackson, 1970)
- Cálculo: % Carbono = % Materia Orgánica / 1,724
- Potencial de Hidrógeno (pH). Método potenciométrico con una relación de 1:2 de suelo y agua (Schofield, 1955).
- Potasio y Fósforo (método de Oniani).
- Determinación de Cationes Intercambiables (método de Maslova modificado por Peech)

Todos los métodos analíticos expuestos anteriormente fueron realizados según el Manual de Técnicas Analíticas para análisis de suelo, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (Panneque, 2002).

TRATAMIENTOS. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para evaluar el efecto de los HMA, el estiércol vacuno y la sacarosa se utilizó un diseño de Bloques al Azar, con 5 tratamientos y 5 réplicas, siendo los tratamientos y su distribución los siguientes:

- T - 1 = Testigo
- T - 2 = HMA
- T - 3 = HMA + Estiércol vacuno
- T - 4 = HMA + Sacarosa
- T - 5 = Sacarosa

DISEÑO EXPERIMENTAL

T-3	T-1	T-4	T-5	T-2
T-5	T-2	T-1	T-3	T-4
T-2	T-3	T-4	T-1	T-5
T-1	T-5	T-2	T-3	T-4
T-4	T-3	T-5	T-1	T-2

El cultivo se estableció desde el 12 de noviembre de 2016 hasta 3 de febrero 2017.

CARACTERIZACIÓN DEL ABONO ORGÁNICO Y SACAROSA

El área de cada parcela es de 35 m², el contenido de estiércol vacuno aplicado en el fondo del surco fue a razón de 14 t.ha⁻¹. Al abono orgánico se le realizaron los siguientes análisis: % de humedad, densidad de volumen, % de materia orgánica, pH, presencia de carbonatos libres, contenido de bases intercambiables, nitrógeno, fósforo y potasio asimilable. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez".

Se utilizó sacarosa para comprobar el efecto benéfico que esta pueda tener sobre los HMA, la dosis aplicada fue de 1 kg.ha⁻¹

MUESTREO FOLIAR. ANÁLISIS A REALIZAR

Para realizar el análisis foliar se tomaron los 3 primeros pares de hojas de la parte superior a la media, a los 40 días de sembrado el cultivo, en la fase de pre floración, con vistas a determinar el estado nutricional de la planta, la variedad utilizada para el experimento fue: BAT 304 que tiene un ciclo de madurez de la cosecha de 75 días.

Las muestras se secaron en la estufa a 70° C. Posteriormente se pasaron por un molino foliar. A continuación se realizó una digestión con ácido sulfúrico y selenio. A partir de aquí se determinó nitrógeno y fósforo por el fotocolorímetro y potasio por el fotómetro de llama (Panneque, 2002). Los análisis se desarrollaron

en el Laboratorio de Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

PREPARACIÓN DEL SUELO. DISTANCIA DE SIEMBRA

La tierra se aró con un tractor Ferguson 35, se roturó en dos ocasiones y en ambos momentos se pasó la rastra de pincho. El surcado del frijol se hace de acuerdo al ancho del tractor, por lo que la siembra se realizó a 70 cm de camellón y de 4 a 6 cm de narigón, la siembra se efectuó manualmente. El surcado se hizo a 10 cm de profundidad, los surcos se balizan para que queden rectos, y con el pie se cubre la semilla con 3 a 4 cm de suelo.

- Tamaño de cada parcela
 - Ancho= 3,50 m
 - Largo = 10,0 m
- Superficie de la Parcela = 35 m²
- Número de surcos en cada Parcela: 5
- Agrupamiento de Suelo: Ferralítico Rojo Lixiviado
- HMA: Especie *Glomus cubense*/ INCAM 4, procedente del cepario de micorrizas del INCA, con una concentración mínima de 20 esporas por gramo de inoculantes.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó un análisis de varianza doble, aplicando el programa STATGRAPHICS PLUS 5.1. En los casos que existieron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se utilizó como criterio discriminante la prueba de rangos múltiples de Duncan ($p \leq 0.05$).

EVALUACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica de los resultados de los experimentos se realizó sobre la base de los tratamientos recomendados en los experimentos y se evaluaron los siguientes indicadores (Trujillo, Cuesta, Díaz, Pérez, 2007).

- Valor de la producción (valor total de la producción en \$. ha⁻¹): rendimiento del cultivo multiplicado por el precio de venta de una tonelada de producto.
- Costos de producción por hectárea (costo total en \$. ha⁻¹): sumatoria de los gastos incurridos por la aplicación de los biofertilizantes empleados más el costo de preparación del suelo, cultivo y costo de la mano de obra.
- Beneficio económico (\$. ha⁻¹): diferencia entre el valor de la producción y los costos de producción.

- Relación B/C: cociente obtenido de dividir el beneficio económico entre el costo de producción.

Valores de la relación B/C mayores a 1 indican el aporte de ganancia y un valor de 2 la obtención de un beneficio del 100 %. Valores de 3 o superiores corresponden a ganancias muy notables.

Los gastos de mano de obra se distribuyeron en función del tiempo utilizado en la atención que se le dio a cada tratamiento tomando como base la tarifa horaria (\$.hora⁻¹), teniendo en cuenta la cantidad de personas y tiempo utilizado.

En la **Tabla 2** se muestra el precio del estiércol vacuno así como del biofertilizante utilizado. Se valora además el costo de la preparación de suelos, la mano de obra y el precio del frijol acopiado.

TABLA 2. VALORACIÓN DE LOS DIFERENTES INSUMOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

1. Precios de venta de biofertilizantes		
EcoMic® (HMA)	\$. kg ⁻¹ (CUP) 2.50	Ficha de Costo EcoMic® (INCA 2005)
2. Costo de las labores fitotécnicas \$. ha ⁻¹ (CUP)		
Preparación de suelo (tractor)	46,36 (CUP)	Listado Oficial de Precios
Surcar	19,32	de Precios
Aporque	9,66	MINAGRI (1999)
Recolección	48,29	
Total	\$123,63	
4. Precios de la semilla		
	18 \$. kg ⁻¹	MINAGRI (2012)
5. Tarifa horaria de la mano de obra		
	\$. Hora ⁻¹ (CUP) 2.4147	Resolución 3 – 2005 MTSS (2005)
6. Precio del estiércol vacuno		
	\$ 42,90 (CUP). ha ⁻¹	MINAGRI (2012)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto del cultivo frijol cuando se utiliza estiércol vacuno combinado con HMA, en las propiedades de los suelos se midió desde diferentes puntos de vista como son: comportamiento de la fertilidad del suelo, variación de las propiedades químicas, comportamiento fisiológico de la planta de acuerdo a (Mandal *et al.*, 2003).

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL PERFIL DEL SUELO

- **HORIZONTE Ap.** Profundidad 0 - 20 cm color 5YR 4/6 (pardo rojizo), textura arcillosa, estructura granular gruesa, no reacciona al ácido clorhídrico, no se observan perdigones, consistencia friable.
- **HORIZONTE Bt.** Profundidad 21-70 cm color 2,5 YR 3/6 (rojo), textura muy

arcillosa, estructura en bloques, no reacciona al ácido clorhídrico al 10 %, no se observan perdigones, consistencia dura.

- **HORIZONTE C.** Profundidad de 71-120 cm color 10 R 4/6 (rojo), textura arcillosa, estructura algo granular, no reacciona al ácido clorhídrico al 10 %, se detectan algunos perdigones de hierro y manganeso, no se observan raíces.

El suelo se clasifica como un Ferralítico Rojo Lixiviado, dístico. (MINAGRI, 1999)

En la **Tabla 3** se exponen las características químicas y físico-químicas del suelo, sometido a estudio. Se encontró, que posee un bajo contenido de materia orgánica, siendo esto posible, a la explotación intensiva, a que se encuentra sometido el suelo que hace que esta se mineralice. Posee un bajo intercambio catiónico 12.66 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ en el horizonte superficial, producto del tipo de arcilla y a la lixiviación a que ha sufrido, lo que le infiere al suelo una baja fertilidad (Martín y Durán 2011), también se detecta que la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ es < 2 lo que puede influir en la toma del potasio por la planta.

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO UTILIZADO EL DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

PROFUNDIDAD (CM)	MATERIA ORGÁNICA (%)	PH		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	H^+	CIC	P_2O_5
		H_2O	KCL							
0 - 20	1,46	6,26	5,01	6,78	3,80	0,42	1,16	1,14	13,30	0,72
21 - 70	0,42	6,00	5,01	8,73	4,15	0,44	1,25	1,16	15,73	0,66
71 - 120	0,03	6,03	5,02	7,25	5,55	0,60	1,10	1,14	15,64	0,50

TABLA 4. COMPOSICIÓN MECÁNICA Y DENSIDADES DEL SUELO

PROF. (CM)	DV.	DFS.	POROSIDAD TOTAL (%)	PORCENTAJE DE LAS FRACCIONES EN MM				
				ARENA GRUESA	ARENA FINA	LIMO GRUESO	LIMO FINO	ARCILLA
0 - 20	1,24	2,62	53,0	7,01	9,02	1,98	3,96	78,02
21 - 70	1,30	2,65	51,0	5,81	2,90	2,02	0,25	89,02
71 - 120	1,38	2,70	49,0	2,83	1,58	2,60	1,32	91,67

Dv. = Densidad de volumen. Dfs. = Densidad de la fase sólida

En la **Tabla 4** se presenta la composición mecánica y densidades del suelo, se encontró que de 0 - 20 cm de profundidad el contenido de arcilla es de 78,02% y de 21-70 cm es de 89,02% lo que denota una fuerte lixiviación y justifica

la formación de un horizonte Bt lo que coincide con la Soil Taxonomic (2010).

Se valoró además, que este suelo al estar sometido a araduras periódicas a la misma profundidad ha hecho que la densidad de volumen a partir del horizonte Bt alcanza valores superiores a $1,30 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, lo que se valora como compactado Martín (2011).

EVALUACIÓN DEL MICRO RELIEVE DEL SUELO PREPARADO

El microrelieve es bastante uniforme a pesar de existir una dolina a 100 m de distancia, no obstante la aradura y la siembra del frijol, se hace transversal para evitar la erosión hídrica, además existe una cerca de postes vivos y 3 surcos de **forraje para el ganado** (King grass) que evitan la erosión. Es de significar que estos suelos rojos el proceso de carsismo es intenso, lo que permite que la napa freática sea intensa y a 200 m se encuentran los pozos que abastecen de agua a la capital de la provincia Mayabeque, también es de destacar que el poner de la dolina esta ocluido y no permite que los pozos que abastecen de agua a la población se contaminen.

En la **Tabla 5** se presenta la caracterización que se le realizó al estiércol vacuno, el pH es de 6,9 lo que valora de neutro, el nutriente más abundante es el nitrógeno teniendo un 0,70 % lo que facilita el desarrollo de la planta (Paneque, 2002), el fósforo y el potasio alcanza 0,49 y 0,39 % respectivamente, elemento de suma importancia en el rendimiento del cultivo. (MINAGRI, 2000).

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL ESTIÉRCOL VACUNO

% DE HUMEDAD (MUESTRA HÚMEDA)	% DE HUMEDAD (MUESTRA SECA)	DV	M.O.	PH	N	P	K	NA
65,4	20,2	0,8	49,8	6,9	0,70	0,49	0,30	0,10

VALORACIÓN DE LOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DE LA PLANTA

En la **Tabla 6** se presenta el desarrollo fisiológico del frijol a los 20 días de sembrado, se encontró que la altura de la planta fue mayor en el tratamiento T-3 (HMA + Estiércol) y T - 4 (HMA + Sacarosa) no presentando diferencias significativas entre ellos, mientras que el largo de la raíz y el número de nódulos fue superior en el tratamiento T - 3 esto es posible que se deba a que el estiércol mejora las propiedades física, físico-químicas y químicas del suelo facilitando el desarrollo de la raíz y la formación de nódulos lo que concuerda con los criterios de Canellas (2002). También es de significar que los HMA

se asocian a las raíces y mejoran la absorción de nutrientes y agua, pero esto no se hace efectivo hasta que la planta no reconozca al hongo y establezca una simbiosis con el mismo, se considera que esto ocurre a partir de los 20 días, de hacerse la inoculación (Rivera, 2003).

TABLA 6. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL FRÍJOL A LOS 20 DÍAS DE SEMBRADO

TRATAMIENTO	ALTURA (CM)	NO. DE HOJAS	LARGO DE LA RAÍZ (CM)	NO. NÓDULOS
T-1	10,2 b	4	7,6 b	5,6 c
T-2	9,6 b	4	4,6 d	13,6 b
T-3	12,2 a	4	9,6 a	14,8 a
T-4	12,0 a	4	6,8 cb	13,4 b
T-5	9,6 b	4	5,8 dc	14,2 ab
ESx	0,28*	NS	0,41*	0,36*

* Medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos según Prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En la **Tabla 7** se muestra el comportamiento fisiológico del frijol a los 40 días de sembrado, en este período de tiempo la etapa parasítica ya ha transcurrido. Según Cuevas (1998), Hernández (2000), Pulido (2002) y Terry (2004) la simbiosis HMA-planta, atraviesa por una etapa parasítica, en la cual no hay intercambio de metabolitos hacia la planta faltando el drenaje de carbono hacia el hongo, esta etapa dura aproximadamente de 20 a 28 días (Vega, Pulido y Peralta, 2000) indican que las especies de HMA durante su establecimiento lo primero que se produce es una respuesta defensiva de la planta y a partir de las cuatro semanas, fluye el intercambio entre la planta y el HMA, contribuyendo a un mayor desarrollo de esta.

En la tabla 7 se encontró que la altura de la planta y el largo de la raíz fue superior en los tratamientos T-3 y T-4 no presentando diferencias significativas entre ellos. Evidenciándose con esto el efecto benéfico del mutualismo entre la planta y el hongo, teniendo en ello influencia de la aplicación de estiércol y sacarosa sobre la actividad del hongo.

TABLA 7. COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO DEL FRÍJOL A LOS 40 DÍAS DE SEMBRADO

TRATAMIENTO	ALTURA (CM)	NO. DE HOJAS	LARGO DE LA RAÍZ (CM)	NO. NÓDULOS
T-1	25.6 c	7.4	12.8 d	19.8 b
T-2	29.4 b	7.6	15.0 c	22.4 a
T-3	32.0 a	7.6	18.6 b a	22.2 a
T-4	30.8 a	7.8	20.2 a	20.0 b
T-5	29.2 b	7.4	16.8 c b	21.2 b a
ESx	0,44*	NS	0,70*	0,64*

* Medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos según Prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En la **Tabla 8** se expone el rendimiento y el peso de 100 semillas del cultivo del frijol, se encontró que los mayores rendimientos se obtuvieron en los tratamientos T-3 y T-4, con 1,06 y 1,12 t.ha⁻¹ respectivamente no presentándose diferencias significativas entre ellos y sí con el resto de los tratamientos, lo que demuestra que el abono orgánico (estiércol vacuno) y la sacarosa le brindan al hongo niveles energéticos, mejorando su actividad.

TABLA 8. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN EL RENDIMIENTO Y EL PESO DE 100 SEMILLAS

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (T.HA ⁻¹)	PESO DE 100 SEMILLAS (G)
T-1	0,65 b c	114,30 a b
T-2	0,62 c	111,70 b
T-3	1,06 a	120,96 a
T-4	1,12 a	117,10 a b
T-5	0,81 b	115,04 a b
ESx	0,05*	2,68 *

* Medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos según Prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En la **Tabla 9** se muestra el análisis foliar del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. El contenido de nitrógeno en el tratamiento T-3 alcanzó un valor de 5,63 % difiriendo significativamente del resto de los tratamientos. Se evidencia la eficiencia de la especie *Glomus cubensis* en su papel de facilitador de nutrientes a las plantas, que finalmente propicia altos rendimientos agrícolas, al obtenerse 1,06 t.ha⁻¹.

TABLA 9. COMPORTAMIENTO DEL ANÁLISIS FOLIAR

TRATAMIENTO	NITRÓGENO	FÓSFORO	POTASIO
	%		
T-1	4,37 b	0,44 c	0,98 cd
T-2	4,64 b	0,50 b	1,16 bc
T-3	5,63 a	0,65 a	1,60 a
T-4	4,60 b	0,43 c	1,41 ab
T-5	3,59 c	0,33 d	0,81 d
ESx	0,18*	0,01*	0,10*

* Medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos según Prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

En el caso del fósforo, se encontró que en el tratamiento T-3 fue superior al resto de los tratamientos 0,65 % lo que evidenció que la combinación de estiércol vacuno y HMA, propició una mejor absorción de este elemento ya que el abono orgánico mejora la retención y la capacidad de intercambio de los nutrientes aportados al sistema radical (Azcon *et al.*, 2003).

El contenido de potasio fue superior en los tratamientos T-3 y T-4, pero la planta no fue suficientemente abastecida de acuerdo a los parámetros establecidos por Pliego-Marín,

López-Baltazar y Aragón-Robles (2013), no así en el contenido de fósforo y nitrógeno, donde la planta posee niveles adecuados. Este contenido bajo de potasio influyó en los bajos rendimientos debido posiblemente a la poca acumulación de carbohidratos y proteínas en el grano lo que concuerda con los criterios de Jacob y Uexkull (1967).

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se realizó la valoración económica donde se tuvo en cuenta, los diferentes tratamientos empleados, y su efecto en los rendimientos obtenidos. En la Tabla 10 se presenta el resultado del análisis económico realizado a la producción de frijol.

TABLA 10. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL.

TRATAMIENTO	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (\$·HA ⁻¹)	COSTOS DE PRODUCCIÓN (\$·HA ⁻¹)	BENEFICIO (\$·HA ⁻¹)	RELACIÓN B/C
T-1	11700	3810,03	7889,97	2,07084
T-2	11160	3813,03	7346,97	1,92681
T-3	19080	3855,93	15224,1	3,94822
T-4	20160	3819,03	16341	4,27883
T-5	14580	3816,03	10764	2,82072

El valor de la producción fue superior en los tratamientos con la combinación de estiércol y HMA y sacarosa más HMA. Esto se debe a que estos tratamientos fueron los que presentaron mayores rendimientos. El mayor costo de producción se presentó en el tratamiento con la aplicación de estiércol, debido al alto costo de su aplicación. El mejor beneficio se presentó en los tratamientos T-3 y T-4. Respecto a la relación B/C, en todos los casos, excepto en el T-2 se obtuvieron valores mayores de 2. Los tratamientos T-3 y T-4 presentaron valores muy elevados, lo que implica que en este caso, el empleo de estos tratamientos repercutió en ganancias muy notables.

CONCLUSIONES

1. Los hongos micorrízicos arbusculares combinados con estiércol vacuno o sacarosa, a partir de los 20 días de sembrado, mejoran el crecimiento y desarrollo de la raíz del cultivo de frijol sembrado en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.
2. El uso de HMA en el cultivo del frijol propician un mejor contenido de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en las hojas y un mejor rendimiento agrícola.

3. La mejor relación B/C se logra cuando se utiliza estiércol vacuno o sacarosa con Hongos Micorrízicos Arbusculares, lo que representa ganancias entre 15 000 y 16 000 pesos por ha.

RECOMENDACIONES

1. Valorar el uso de humus de lombriz y HMA en el cultivo del frijol sembrado en suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados
2. Introducir el uso de los HMA con estiércol vacuno o sacarosa para mejorar los rendimientos del cultivo del frijol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azcón, R.; Ambrosano, E.; Charest, C. 2003. Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. *Plant Science*. 165: 1137 – 1145.
- CABI. (2016). *Crop Protection Compendium*. Edition, CAB International, Londres, RU.
- Cuevas, F. (1998) Evaluación agronómica de la nutrición mineral con NPK la aplicación de biopreparados en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en un suelo Hidromórfico Gley nodular ferruginoso. Tesis de Maestría. INCA. La Habana.
- Canellas, L. (2002) Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*, 130:1951-195
- Faure, B.; Benítez, R. León, N.; Chaveco, O. Rodríguez, O. (2013). Guía técnica para el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Editora Agroecológica. 33p.
- Hernández, (2000). Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis de Maestría. INCA, La Habana.
- Jackson, M (1970) Análisis Químico de los Suelos, Ediciones Omega S. A., 2da.
- Jacob, A. y Uexkull H. (1967). Fertilización. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. La Habana. Edición Revolucionaria. Pag. 189 y 339
- Mandal, U.K.; Singh, G.; Victor, U.S.; Sharma, K.L. (2003). Green manuring: its effect on soil properties and crop growth under rice - wheat cropping system. *European Journal of Agronomy*. 19 (2): 225 – 237.
- Martín, A. N. y Durán, A. J. L. (2011). El suelo y su fertilidad. Editorial Félix Varela. La Habana - Cuba. ISBN: 978-959-07-1418-4.

- Martín, N.J. (2011). Comunicación Personal. Finca Zacarías, Carretera de Tapaste. San José de las Lajas. Prov. Mayabeque.
- MINAGRI. (1999). Ministerio de la Agricultura. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana. Agrinfor. 44 p.
- MINAGRI. (2000). Ministerio de la Agricultura. Guía técnica para el cultivo de frijol. Cuba apaste, Km 2 ½ San José de las Lajas, La Habana, Cuba.
- MINAGRI. (2016). Ministerio de la Agricultura. Registro oficial de variedades comerciales. Cuba.
- Ministerio del Trabajo y Seguridad Social, (2005). Resolución 224. Habana. Cuba.
- ONEI (2014) (Oficina Nacional de Estadística e Información) Edición 2015. http://www.onei.cu/aec2013/esp/20080618_tabla_cuadro.htm
- Paneque, V.M. (2002). La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico - prácticos para su recomendación. Folleto impreso. INCA. 25 p.
- Pliego-Marín, L., López-Baltazar, J. y Aragón-Robles, E. (2013). Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp.
- Pulido, L.E. (2002). Hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: alternativas para la producción de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y cebolla (*Allium cepa* L.) Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. INCA - UNICA. 117p.
- Rivera R. (2003). Resultados de las campañas de validación. En: Rivera, R. y Fernández, K. Eds. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. INCA. La Habana., 166p.
- Rodríguez, O.; Chaveco, O.; Ortiz, R.; Ponce, M.; Ríos, H.; Miranda, S.; Días, O.; Portelles, J.; Torres, R. y Cedeño, L. (2009). Evaluación del comportamiento de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a la sequía, en condiciones de riego y sin riego e incidencia de enfermedades. Temas de Ciencia y Tecnología, 13: 19 - 30.
- Schofield, R.K (1955). Trans 3 int. Congress soil Science en Wild, A.
- Soil Taxonomy, (2010). Claves para la Taxonomía de Suelos. Undécima Edición. Washington DC. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos
- Terry E. 2004. Los biofertilizantes su importancia en la agricultura. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas.
- Trujillo, C.; Cuesta, E.; Díaz, I.; Pérez, R. (2007). Libro de texto Economía Agrícola para las carreras de Agronomía e Ingeniería Agropecuaria. Universidad Agraria de la Habana. 334 p.
- Ulloa J.A., Rosas-Ulloa, P., Ulloa-Rangel, P. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L): su importancia nutricional y como fuente de fotoquímicos. Revista Fuente, Año: 3, No. 8, p. 5-9
- Vega, E., Pulido, L. y Peralta, H. (2000). Micorrizas y rizobacterias: vía alternativa para la producción de cebolla. En: Taller de biofertilización en los trópicos. Seminario Científico del INCA. Programa y resúmenes (5, 12: 2000). La Habana.