

RESPUESTA DEL CULTIVO DE PIMENTÓN (CAPSICUM ANNUUM) A LA INOCULACIÓN CON GLOMUS MANIHOTIS Y ACAULOSPORA LACUNOSA EN SUELO CON NIVELES ALTO DE FOSFORO

RESPONSE CROP OF PEPPER (CAPSICUM ANNUUM) TO INOCULATION WITH GLOMUS MANIHOTIS AND ACAULOSPORA LACUNOSA IN SOIL WITH HIGH LEVELS OF PHOSPHORUS

Laura Esther Rojas-Martínez¹

Forma de citar: MARTÍNEZ-ROJAS Laura. Respuesta del cultivo de pimentón (*Capsicum Annuum*) a la inoculación con *Glomus Manihotis* y *Acaulospora Lacunosa* en suelo con niveles Alto de fósforo. *Respuestas*. 2014; 19(1):27-38.

Recibido:
Octubre 15 de 2013

Aceptado:
Febrero 1 de 2014

RESUMEN

Antecedentes: *Glomus manihotis* y *Acaulospora lacunosa* son hongos formadores de micorrizas-arbusculares; asociaciones simbióticas mutuamente benéficas entre raíces y hongos especializados. Esta formación raíz-hongo realiza diversas funciones en su asociación con las plantas. Investigaciones previas han demostrado que pueden constituir sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales. **Objetivo:** El objetivo del estudio fue evaluar los efectos de la inoculación de *Glomus manihotis* (GL) y *Acaulospora lacunosa* (ACU) en plantas de pimentón cultivadas en suelos con niveles alto de P. **Métodos:** Se utilizó el método de Phillips y Hayman para la determinación del porcentaje de infección. Otras variables fueron: altura, peso fresco total, peso seco aéreo, longitud de la raíz, peso y número de frutos, y contenido de nutrimentos en follaje. **Resultados:** Las plantas inoculadas con (GL) registraron un porcentaje de infección de 70,3 %, las inoculadas con (ACU) obtuvieron 45 % y el tratamiento inoculado (GL/ACU) 28 %. La infección tuvo un efecto positivo en la mayoría de variables agronómicas analizadas en las plantas inoculadas con (GL) y (ACU), mas no en el tratamiento mixto (GL/ACU) el cual fue muy similar al control. En cuanto al contenido de nutrimentos en follaje; no hubo diferencias significativas en los tratamientos para NPK, pero se presentaron diferencias significativas en los nutrimentos pocos móviles como Zn, Cu y Fe, favoreciendo a las plantas inoculadas con (ACU). **Conclusiones:** Estos resultados sugieren que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en condiciones de niveles de fósforo alto puede ser un coadyuvante eficiente en el desarrollo óptimo de una planta, siempre y cuando se determine el hongo específico efectivo bajo estas condiciones.

Palabras claves: hongos endófitos, simbiosis, pimentón, fósforo.

¹ M.sc Bióloga
laurarojas@unicesar.edu.co
Universidad Popular del Cesar
César – Colombia

ABSTRACT

Background: *Glomus manihotis* y *Acaulospora lacunosa* are fungi forming arbuscular mycorrhizae; mutually beneficial symbiotic associations between fungi and specialized roots. This root-fungus formation performs various functions in association with plants. Previous research has shown that they can provide biological substitutes for mineral fertilizers. **Objective:** The objective of the study was to evaluate the effects of inoculation of *Glomus manihotis* (GL) and *Acaulospora lacunosa* (ACU) in pepper plants grown in soils with high levels of P. **Methods:** The Phillips and Hayman method was used for the determination of the percentage of infection. Other variables were: height, total fresh weight, shoot dry weight, root length, weight and number of fruit, percentage of infection and foliage nutrient content. **Results:** Plants inoculated with (GL) recorded an infection rate of 70.3 %, inoculated with (ACU) had 45 % and the inoculated treatment (GL / ACU) 28%. The infection had a positive effect in the majority agronomic variables analyzed in plants inoculated with (GL) and (ACU), but not in the mixed treatment (GL / ACU) which was very similar to control. In terms of the content of nutrients in foliage, there were no significant differences in treatments NPK, but there were significant differences in the mobile few nutrients such as Zn, Cu and Fe, favoring plants inoculated with (ACU). **Conclusions:** These results suggest that inoculation with mycorrhizal fungi in conditions of high phosphorus levels may be an effective adjuvant in the optimal development of a plant, long as they determine the effective specific fungus under these conditions.

Keywords: Endophytic fungi, symbiosis, pepper, phosphorus.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los numerosos factores que determinan el desarrollo óptimo de los cultivos, la nutrición es uno de los más importantes. De manera general, las hortalizas son exigentes ya que requieren suelos fértiles y ricos en materia orgánica y demandan una gran cantidad de nutrientes, además la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos hortícolas es común, obligando al agricultor a la utilización masiva de pesticidas. El uso de dichos insumos químicos incrementan los costos de producción solo sostenible por la alta rentabilidad de los mismos e implica no solo un costo y requerimiento energético elevados, sino que su aporte indiscriminado pudiera provocar problemas de salinización y contaminación del manto freático

produciendo alteraciones en los ecosistemas que deterioran la microfauna del suelo sobre todo la población microbiana en la rizosfera. El desarrollo vegetal puede incrementarse con la utilización de elementos biológicos que actúan de forma coordinada en la interfase suelo-raíz, entre estos y como factores imprescindibles se encuentran los hongos formadores de micorrizas -arbusculares [1] [2]

En el marco de una agricultura sostenible, la utilización de hongos formadores de micorrizas-arbusculares (MA) debe ser considerada en el diseño de cualquier sistema de producción agrícola, pues además de ser estos microsimbiontes, componentes inseparables de los agroecosistemas, realizan diversas funciones en su asociación con las plantas, pues pueden constituir sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales. [3]

Es de conocimiento general que concentraciones de P mayores que 10 mg de P extraíble por kilogramo afecta la funcionalidad de los endófitos y, por consiguiente, el beneficio que aporta al hospedero es menor [4]. Sin embargo, algunos hongos pueden tolerar mayores concentraciones de P y contribuir en el crecimiento de sus hospederos [5] [6].

Existen estudios precedentes que afirman que las plantas de pimentón micorrizadas son menos susceptibles al ataque de patógenos, esto fue demostrado por Salami [7]. Por otra parte, Demir [8], verificó el efecto positivo de la asociación simbiótica de los hongos endófitos MA en varios parámetros de crecimiento y fisiológico de las plantas de pimentón.

Es decir pese a que en la actualidad hay cepas de MA evaluadas en diversos estudios en plantas de Pimentón, la efectividad de la inoculación dependerá del balance de factores ecofisiológicos en el sistema planta-suelo, lo cual significa que un mismo inóculo puede desencadenar efectos muy variados sobre un cultivo, dependiendo del tipo de manejo agronómico que se realice. Por lo tanto, no se puede generalizar el efecto de un tipo de micorrizas sobre todas las plantas ni sobre todos los ecosistemas [9].

Read [10] hace un planteamiento biogeográfico según el cual cada tipo de micorriza, tendría un juego particular de atributos y funciones adaptados a un ecosistema y ambiente edáfico particular.

El objetivo principal de este estudio es evaluar el efecto de inoculación de hongos MA *Glomus manihotis* y *Acaulospora lacunosa* en plantas de pimentón *Capsicum annuum* en suelo con niveles alto de fosforo. Se utilizará una variedad de pimentón de uso común por los

agricultores de la zona y además se empleará como sustrato, el suelo de la misma zona de cultivo de la región para así facilitar una opción potencial de mejorar las condiciones edáficas de las plantaciones y proporcionar muchos beneficios a las plantas especialmente en la obtención del agua y los nutrientes que mejoren la productividad del cultivo y proporcione mayor tolerancia a patógenos que actualmente afectan a estos cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la UTF (Unidad Técnica Fitosanitaria) de la facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia- Maracaibo al noroeste de Venezuela, con una Longitud 78° 31' O y Latitud 10° 38' N en la zona del centro de la ciudad. El clima es semiárido; su temperatura se mantiene continuamente alta, con un promedio de 32°C en el año y una humedad relativa promedio de 75%.

El suelo utilizado como sustrato fue extraído de suelos de granjas productores del cultivo de pimentón en la región, se tomaron submuestras para ser analizada físico-químicamente (tabla 1). Posteriormente se hizo una mezcla en relación 2:1, que consistía en 2 partes de suelo por una parte de material vegetal (Cascarilla de arroz) y esterilizado en autoclave a 121°C Y 15 libras/pulgadas durante una hora. Una vez enfriado el sustrato se aplicaron 20 gramos de cada inóculo por kilo de sustrato

Obtención del inóculo:

El inóculo corresponde a una mezcla de esporas de los hongos MA *Glomus manihotis* y *Acaulospora lacunosa*, raíces infectadas en suelo de cultivo hidropónico

Tabla 1. Análisis químico del suelo empleado en el ensayo.

pH	Ce 10 ³ . 1:2 dS m ⁻¹	% Carbono Orgánico	P Extraíble ppm Bray	Elementos intercambiables cmol Kg ⁻¹ del suelo				
				K	Mg	Ca	Na	KCl
6.96	0.72	2.29	829.66	0.72	6.65	16.60	0.75	0

Elaborado por: laboratorio de Suelos De la facultad de Agronomía. LUZ

contenido en sacos de 25 kilogramos de los hongos micorrízicos: *Glomus manihotis* y *Acaulospora lacunosa* proporcionado por el Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

Se trabajó con semillas certificadas de *Capsicum annuum* variedad California wonder con un periodo vegetativo de 90 días, determinándose la calidad del material realizando una prueba de germinación. Una vez verificada la calidad microbiológica y tasa de germinación de las semillas se procedió a preparar los semilleros en miniumbráculos y mantenidos por un periodo de 30 días después de la siembra por un periodo de 30 días. Se definieron 25 plantas por tratamiento:

1. Plantas inoculada con *Glomus manihotis*
2. Plantas inoculada con *Acaulospora lacunosa*
3. Plantas inoculada con una mezcla de *G. manihotis* y *A. lacunosa*.
4. Plantas sin inoculación (control)

Una vez completados el periodo de de 30 días, se procede al transplante de las plántulas en materas de 2 kilos. Paralelo al transplante se hizo una prueba de efectividad de colonización por el hongo a partir del método de tinción de raíces. Una vez confirmada que las plántulas estaban colonizadas por el respectivo hongo. Se procedió al transplante, dejando 20 plantas definitivas por cada tratamiento hasta completar el ciclo vegetativo de 90 días.

Variables de estudio:

Determinación del porcentaje de infección micorrizal. (PIM):

Para la confirmación de la colonización de las raíces por hongos micorrizicos, se utilizó el método de tinción de raíces Phillips y Hayman, citado por Chacón [11]. El porcentaje de colonización micorrizica (%MA) se calculó según el método de McGonigle [12], examinándose 100 intersecciones para cada muestra de raíz asignando cada intersección en una categoría.

Variables agronómicas.

Las plantas fueron medidas para toma de altura en centímetros. Para la determinación de biomasa las plantas de Pimentón fueron pesadas recién cosechadas en balanza electrónica. La determinación del Peso Fresco Total (PFT) se realizó ubicando la planta completa en el pesaje, determinando su masa en gramos. Posteriormente se dividió cada una de las plantas adultas en partes aérea y sistema radical. El peso fresco Aéreo (PFA) se determinó pesando solo la parte aérea. Posteriormente se llevó a cabo la misma operación con la raíz. Cada una de las partes codificadas por número de planta y tratamiento se colocó en una bolsa de papel y se ubicó en una estufa a una temperatura de 70 °C por un periodo de 24 a 48 horas hasta obtener un peso constante. Una vez determinado el peso, el material fue pulverizado para la determinación del porcentaje de Nitrógeno por el método de Kjeldahl y Potasio y Fósforo por el método de espectrofotometría atómica en el laboratorio de Suelos, Aguas para Riego y Tejidos vegetales CORPOICA, Codazzi – Cesar. Colombia

Tratamiento de los datos:

Se utilizó un diseño experimental totalmente al azar, la unidad experimental estuvo representada por cada una de las materas con la planta de pimentón en cada uno de los tratamientos. Se realizaron análisis de varianzas y prueba de medias Dunett para las variables de altura (ALT), peso Fresco Total (PST), Peso Seco Aéreo (PSA), longitud de la raíz (LR)), Peso y Número de frutos con 15 repeticiones y prueba de Tukey para el porcentaje de infección, contenido de nutrimentos en Follaje, con tres repeticiones. El nivel de significación fue de 95% y el análisis estadístico digital fue corrido en el programa SPSS 12.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza realizado a la variable de porcentaje de infección (Tabla 2) se

discriminó en porcentaje de presencia de hifas y vesículas en todos los tratamientos. En hifas se encontró diferencias significativas entre las medias para cada tratamiento y de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey los valores del tratamiento inoculado con *G. manihotis* fue el que arrojó mejores resultados con un porcentaje promedio de 70.3%.

Tabla 2. Infección por hifas de hongos MA en plantas de pimentón (*Capsicum annuum*)

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	85	28,333*	5,333
ACU	211	70,333*	30,333
GL	135	45*	84

Tabla 2. ANOVA demuestra diferencias significativas en las medias de los porcentajes de infección por hifas de los tratamientos donde $P \leq 0,05$. En la prueba de Tukey todos los tratamientos son diferentes entre si (*)

Esto tiene relación con lo que afirma Dalpe y Montreal en el 2003, al incluir el pimentón en la tabla de dependencia micorrizal relativa en campo (RFMD) con un valor de 66%, esto quiere decir que las plantas de pimentón son susceptibles a la colonización de hongos endófitos para llevar a cabo un buen desarrollo y productividad.

Estrada y Davies [13], reportaron una correlación directa entre el rápido ajuste fisiológico de las plántulas de pimentón micropropagadas y un aumento de la colonización por hongos MA lo que contribuyó a recuperar rápidamente a las plántulas durante la aclimatación y obtener un mayor crecimiento posterior a la aclimatación.

El grado de colonización diferente en cada tratamiento está influenciado por la especificidad del hongo a la planta. Teóricamente cualquier hongo MA puede infectar a cualquier planta susceptible, no obstante las distintas especies incluso cultivares de la misma especie muestran un grado diferente de "susceptibilidad" a la colonización por un hongo dado [14]. En este trabajo el hongo *G. manihotis* exhibió un poder de colonización muy por encima de los

otros tratamientos, lo cual fue demostrado por la metodología de intersección de McGonigle

Las vesículas son estructuras de reservas de los hongos MA con contenido lipídico, su aparición es posterior a los arbusculos y hace parte de los fenómenos de reconocimientos por el hongo [15]. De ahí la importancia de su cuantificación y análisis en la investigación.

En el análisis de varianza realizado a los porcentajes de vesículas (Tabla 3). Se observó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes, la prueba de comparación de medias de Tukey concluyó que las diferencias de porcentajes del tratamiento inoculado con *G. Manihotis* posee diferencias significativas respecto de los otros tratamientos mientras que los tratamientos con *A. lacunosa* y mixto no son significativamente diferentes. Ver tabla 3.

Además se estableció un coeficiente de correlación de Pearson entre los porcentajes de infección por hifas y vesículas, encontrándose una correlación positiva; es decir que la proporción de hifas es directamente proporcional al porcentaje de vesículas en cada tratamiento.

La correlación positiva entre los porcentajes de infección por hifas y vesículas está dada por el hecho de que las hifas del hongo sufren diferenciación según el tipo de tejido colonizado y por ende a mayor presencia de hifas habrá mayor diferenciación en vesículas.

Tabla 3. Porcentaje de infección por vesículas de hongos MA en plantas de Pimentón.

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	5	1,666	2,333
ACU	32	10,666	16,333
GL	238	79,333*	394,33

Tabla 3. ANOVA Arrojó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes donde $P \leq 0,05$. La prueba de Tukey concluyó que el tratamiento inoculado con *G. Manihotis* posee diferencias significativas respecto de los otros tratamientos

La ausencia de arbusculos en los tratamientos

es justificable si se tiene en cuenta que la vida media de un Arbúsculo es de 4-10 días, poco después empieza su proceso degenerativo [15]

Evaluación de la producción de biomasa a partir del Peso Fresco Total (PFT) y Peso Seco Aéreo de las plantas de Pimentón:

En estudios precedentes en plantas de Pimentón[16] determinaron que la simbiosis MA – Pimentón puede alterar las relaciones de agua y las respuestas a la sequía en la planta. Estos cambios inducidos por la colonización de MA se han interpretado como la mejora de la resistencia a la sequía, ya que la simbiosis MA a menudo afecta el tamaño de las plantas y las plantas grandes presentan sistemas de raíces grandes haciendo que estas puedan tener acceso a más extensiones de suelo, reserva de agua y nutrientes reflejándose en el crecimiento.

Los análisis de varianza realizados a la variable de Peso Fresco Total de las plantas de Pimentón de este estudio (Tabla 4), mostraron diferencias significativas en las medias de los diferentes tratamientos y a través de la prueba de comparación de medias de Dunett se concretó el hecho de que los valores verdaderamente significativos los presentaba el tratamiento de *Gmanihotis* respecto al tratamiento control, seguido por el tratamiento con *A. lacunosa*, mientras el tratamiento mixto y control tuvieron valores estadísticamente similares.

En el parámetro de rendimiento de Peso Seco Aereo (PSA) el análisis de varianza mostró valores significativamente diferentes pero la prueba de Dunett resaltó como valor estadísticamente diferente, la media del tratamiento *G. manihotis*, mientras que los valores de los tratamientos restantes comparados con el control fueron considerados estadísticamente no significativos, esto es evidente en la tabla 4.

Estas variables de biomasa están relacionadas directamente con el crecimiento de las plantas y son un reflejo del desarrollo vegetal de las mismas. Encontrándose que las planta

de Pimentón inoculadas con las cepas de hongos MA de este estudio, presentan efectos satisfactorios a través de sus valores, hecho argumentado por Raddattz [17] y Roman [18], al reportar producción de hormonas estimulantes por parte de hongos endófitos MA para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Tabla 4. Biomasa (PFT) de plantas Pimentón.

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	476,28	31,752	41,1738029
ACU	561,19	37,412*	114,595064
GL	848,26	56,550*	156,138807
CNT	383,5	25,5666	206,384181

Tabla 4. ANOVA Arrojó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes donde $P \leq 0,05$. La prueba de Dunett concluyó que el tratamiento inoculado con *G. Manihotis* y *A. lacunosa* poseen diferencias significativas respecto de los otros tratamientos

Tabla 5. Biomasa (PSA) de las plantas de Pimentón

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	43,55	2,9033	1,363
ACU	48,311	3,2207	0,864
GL	59,27	3,9513*	1,313
CNT	36,38	2,4253	1,146

Tabla 5. La prueba de ANOVA indicó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes, donde $P \leq 0,05$. La prueba de Dunett concluyó que el tratamiento inoculado con *G. Manihotis* posee diferencias significativas respecto de los otros tratamientos

Las plantas de pimentón micorrizadas con *G. manihotis* presentaron los más altos porcentajes de infección y el más alto porcentaje de biomasa comparada con los otros tratamientos, permitiendo inferir que dicho hongo cumple con las cualidades de alta capacidad de infectividad (alto porcentaje de infección por hifas y vesículas) y efectividad en el desarrollo de las plantas de Pimentón.

Longitud y peso seco de la raíz

Las micorrizas aumentan en las raíces la toma de nutrientes minerales y agua del

suelo debido a que poseen micelio externo que explora gran volumen de suelo que no está micorrizado [20]. En este proceso se acepta que el papel clave de las micorrizas radica en que las hifas del hongo extienden el campo de absorción de la raíz más allá de la zona normal de agotamiento radicular (en 1-5 mm), y permiten a la raíz incrementar su superficie de absorción y explorar un volumen de suelo mayor del que lo hacen las raíces no micorrizadas.

Miyasaka [21] presenta parámetros como la longitud, el diámetro, el área de superficie y la densidad de vellosidades de la raíz, importantes para aumentar los nutrientes tomados por la planta.

Al analizar estadísticamente los valores de longitud de la raíz de las plantas de Pimentón, en la Tabla 6 se observa que estos no son significativamente diferentes. Pero hay que tener en cuenta que las medidas realizadas longitudinalmente no reflejan la realidad observada en los tratamientos, puesto que los diámetros y pesos secos de la raíces de algunos tratamientos fueron bastante relevantes, remitirse a la Tabla 7. Encontrándose que en la prueba de comparación de medias según Dunett del peso seco de las raíces; el tratamiento *G. manihotis* significativamente diferente al control y al resto de tratamientos (Tabla 6).

Tabla 6. Longitud de la raíz de plantas de Pimentón:

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	289	19,2666	30,6380
ACU	331	22,0666	25,6380
GL	324	21,6	12,97142
CNT	316	21,0666	39,4952

Tabla 6. ANOVA indicó que las medias de los tratamientos no son significativamente diferentes, donde $P \geq 0,05$.

Tabla 7. Peso Seco de la Raíz de Plantas de Pimentón.

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	38,84	2,58933333	1,62784952
ACU	38,75	2,58333333	1,1232381
GL	98,47	6,56466667*	15,6976695
CNT	25,53	1,702	1,27737429

Tabla 7. ANOVA Arrojó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes, siendo $P \leq 0,05$. La prueba de Dunett concluyó que el tratamiento inoculado con *G. Manihotis* posee diferencias significativas respecto de los otros tratamientos

Evaluación de la altura de las plantas de Pimentón (*Capsicum annum*):

Bolan [5] y Fitter[19], consideran que el beneficio de las micorrizas se traduce en mayor crecimiento y desarrollo de las plantas en beneficio de la adaptación y eficiencia de éstas al facilitar una mayor absorción de nutrientes minerales del suelo (nutrición).

EL Análisis de varianza a las medias de los valores de altura es significativamente diferente entre los tratamientos evaluados, ver Tabla 8. La prueba de comparación de medias Dunett especifica que el tratamiento *G. manihotis* supera significativamente al control y a los otros tratamientos. Siendo el segundo mejor en altura el tratamiento de *A. lacunosa*.

Tabla 8. Promedio de altura de las plantas de pimentón:

Tratamientos	Suma	Promedio	Varianza
GL/ACU	438	29,2	59,7428571
ACU	542	36,1333333*	7,6952381
GL	570	38*	34,1428571
CNT	403	26,8666667	57,2666667

Tabla 8. ANOVA indicó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes, siendo $P \leq 0,05$. La prueba de Dunett concluyó que los tratamientos con los (*) poseen diferencias significativas respecto de los otros tratamientos

Estos resultados son comparables con los de Rodríguez et al [20] y Ramírez et al [21], cuyos trabajos con diferentes niveles fertilización de fósforo, arrojaron efectos positivos en la actividad de la micorriza y en el crecimiento de las plantas, encontrando respuesta positivas de la Leucaena a la inoculación micorrizal, aún con niveles altos de fósforo en la solución del suelo.

Gómez y Sánchez [22], reportaron que las plantas de pimentón inoculadas con *G.*

manihotis y *G. occultum* en suelos tratados con diferentes herbicidas; tuvieron un mejor desarrollo vegetativo y mayor producción de frutos que los tratamientos con MA nativos o suelos sin herbicidas. Haciendo énfasis en que los tratamientos donde se inoculó con una mezcla de *G. manihotis* y *G. occultum* no se obtuvo una buena respuesta comparado con las plantas inoculadas con una sola cepa de hongo MA, además el inoculo *G. manihotis* fue el de mejor efecto sobre el cultivo de pimentón bajo las condiciones mencionadas anteriormente.

Esto confirma los resultados en este estudio donde se obtuvo una mejor respuesta de la plantas de Pimentón con el inoculo *G. manihotis* y *A. lacunosa* como inóculos individuales mientras la mezcla de cepas presentó valores deficientes, ver Tabla 8. Lo que sugiere que al interactuar *G. manihotis* y *A. lacunosa* redujeron su eficiencia de asimilación en una aparente competencia.

El hecho de que los inóculos MA mezcla no reflejaron en la planta inoculadas efectos positivos de crecimiento permite predecir que los hongos micorrízicos compiten entre sí constantemente por espacio de crecimiento en la rizósfera de la planta. De la misma forma en que los hongos micorrízicos pueden ser antagonísticos con ciertos patógenos, existe también antagonismo con otros hongos micorrízicos. En cultivos puros de Ectomicorrizas, algunas especies del género *Rhizopogon* producen químicos que inhiben a hongos como *Cenococcum geophilum*, *Hebeloma crustuliniforme*, *Laccaria laccata*, *Pisolithus tinctorius* y *Thelephora terrestris* [23].

Sin embargo a nivel general, en los hongos endófitos micorrízicos es difícil comprobar antagonismo entre cepas diferentes, por la dificultad o imposibilidad hasta ahora de cultivar in Vitro cepas de hongos MA sin la presencia de una planta hospedera, tal vez la biología molecular podría ser una herramienta efectiva para aclarar tal aspecto.

Evaluación De La Producción De Frutos:

Citando a Waterer y Coltman [24] señalan que

las inoculaciones con hongos MA promueven la floración y fructificación de las plantas de pimentón, al mejorar la absorción de P; también los hongos MA pueden influenciar la floración alterando el balance hormonal del hospedero e incrementan la producción de materia seca total y el rendimiento de los frutos.

A los 75 días de siembra se cosechó los primeros frutos de las plantas de pimentón en todos los tratamientos. Pero en el tratamiento control había pocas flores que no progresaron en fruto maduro (caían muy pequeños).

En esta variable aun con sus deficiencias, el tratamiento inoculado con *G. manihotis* obtuvo mejores resultados que los otro tratamientos. Lamentablemente el ataque de insectos a la planta deprimió el desarrollo de la fructificación y caída temprano de estos.

Figura 1. Efectos de los Inóculos en el Peso Seco y Número de Frutos de Pimentón.

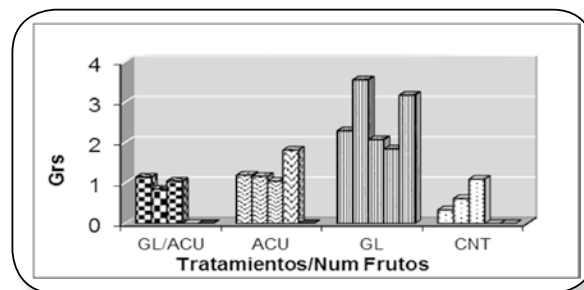


Figura 1. En peso seco ANOVA Arrojó que las medias de los tratamientos son significativamente diferentes, siendo $P \leq 0,05$. Sin embargo la prueba de Dunett concluyó que el tratamiento *Glomus* posee diferencias significativas respecto de los otros tratamientos

Evaluación del contenido de nutrientes foliar:

En el contenido de N y K foliar en el cultivo de Pimentón no hubo diferencias estadísticamente significativas según el análisis de varianza realizado, sin embargo en el contenido de P existe diferencias significativas y de acuerdo al análisis de comparación de Medias de Tukey, el tratamiento de las plantas inoculadas con *A. lacunosa* presentó diferencias significativa superiores respecto a los otros tratamientos excepto con el control, no hubo diferencias

significativas en la comparación de medias, Ver figura 2.

Figura 2. Contenido de NPK foliar en las plantas de Pimentón.

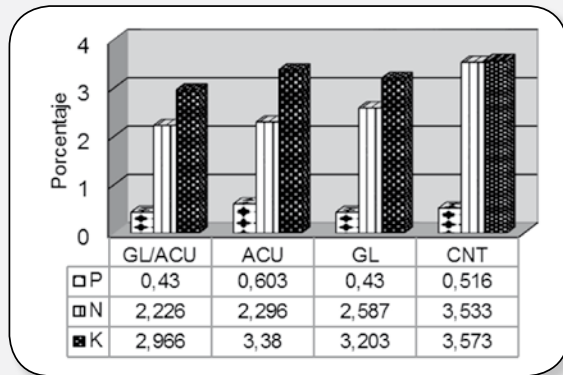


Figura 2. ANOVA Arrojó que las medias de los tratamientos en N y K no son significativamente diferentes, siendo $P \geq 0,05$. Sin embargo para El P si son significativamente diferentes $P \leq 0,05$.

El contenido de P del sustrato utilizado en la investigación permitía predecir de alguna forma que los tratamientos inoculados y no inoculados presentarían un desarrollo normal u óptimo de las plantas. Sin embargo el papel de los hongos endófitos bajo esta condición fue un reto a tener en cuenta, ya que una de las funciones claves de los hongos MA es aumentar la absorción de P cuando está en niveles bajos en el suelo, pero en este caso el P se encontraba incluso en niveles altos (829.66 ppm), aspecto que según las afirmaciones por autores como Maldonado [25]; Miyasaka [26]; Velasco et al [27], es un factor limitante de la funcionalidad de los endófitos y por consiguiente, el beneficio que aporta al hospedero. No obstante de acuerdo a las variables agronómicas analizadas en este estudio y los porcentajes de colonización. Existen razones para afirmar que las cepas utilizadas aquí presentan cierta tolerancia a las condiciones químicas del sustrato, claro está, destacándose una cepa del resto de cepas utilizada en los tratamientos. Esto coincide con los estudios de Bolan [5]; Davies y Linderman [28]. Quienes encontraron que algunos hongos pueden tolerar mayores concentraciones de P y contribuir en el crecimiento de sus hospederos.

Silvia y Schenck [29] han afirmado que después de la aplicación de superfosfato hay un incremento de la esporulación en los suelos y que esto puede hacer que el P disponible mejore la eficiencia de la simbiosis en la producción de esporas o por un incremento en la longitud de las raíces en las cuales las esporas se pueden desarrollar posteriormente.

Se ha demostrado que las plantas con micorriza arbuscular incrementan la captación de nutrimentos, especialmente aquellos que son pocos móviles como el Cu y Zn [30] [31].

Figura 3. Contenido de elementos menores Zn, Cu y Fe foliares de las plantas de Pimentón.

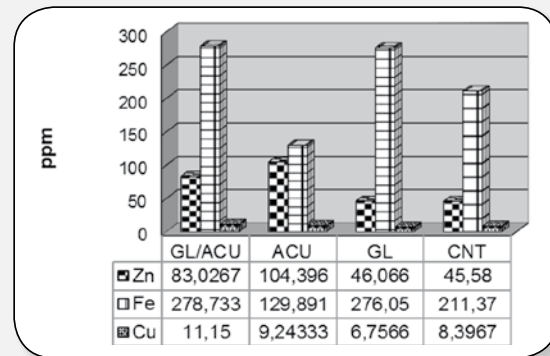


Figura 3. La aplicación de ANOVA a los elementos menores Zn, Cu y Fe de las plantas, muestran que son significativamente diferentes $P \leq 0,05$, Sin embargo en la comparación de medias por Tukey, fue el elemento Zn quien presentó valores significativamente diferentes en el tratamiento con *A. lacunosa* respecto a los otros tratamientos, excepto con el de cepa mixta GL/ACU. Respecto al Cu, según Tukey el tratamiento inoculado mixto supera a los otros tratamientos, pero es similar estadísticamente al tratamiento inoculado con *Acaulospora lacunosa*.

En síntesis, respecto a los elementos menores pocos móviles en follaje; el contenido de Zn, en el follaje del pimentón estuvo en un nivel óptimo. En este estudio se ratifica lo investigado por los anteriores autores, los contenidos de Cu y Zn de las plantas inoculadas con MA estuvieron por encima del tratamiento control sin inocular. El Zn es un factor relevante en el desarrollo de las plantas ya que este interviene en la síntesis y conservación de auxinas, hormonas vegetales involucradas en el crecimiento de las plantas. Ver figura 3.

En estudios como el de Douds y Reider [32]. Establecieron que la Inoculación con hongos MA es una opción para las plantas de pimentón en suelos con alta presencia de P, donde ellos obtuvieron un buen rendimiento en los frutos con el inóculo mezcla de hongos MA, mientras que el inóculo solo con *G. intraradices* presentó depresión en el crecimiento. Concluyendo que la inoculación en parcelas abonada o con enmiendas minerales puede ser factible siempre y cuando se lleve a cabo una adecuada selección de inóculo.

CONCLUSIONES

Las plantas de Pimentón inoculadas tuvieron efectos positivos en la mayoría de las variables agronómicas de crecimiento y desarrollo analizadas; acumulación de biomasa, tanto en la parte aérea como radical y altura. Los mayores beneficios de la micorrización en estas variables se lograron con la inoculación de plántulas con *G. manihotis* seguido por el tratamiento inoculado con *A. Lacunosa*.

Este comportamiento vegetal puede ser explicado por los niveles de colonización del hongo en las raíces de la planta donde se encontró correlación directa con los tratamientos que presentaron valores altos en desarrollo vegetal y también en infección micorrizal, aun teniendo en cuenta el nivel de P del suelo utilizado en este estudio donde el P extraíble se encontraba en niveles elevados, debido a las continuas fertilizaciones y aplicaciones de pesticidas por parte de los productores de este cultivo de donde se sustrajo las muestras de suelo utilizado en este estudio.

Respecto a la absorción de elementos esenciales como fósforo, potasio, zinc, cobre, nitrógeno y hierro en el follaje del cultivo de pimentón, no se encontró diferencias significativas estadística entre los tratamientos en los nutrimentos N y K, sin embargo en el contenido de fosforo las plantas de pimentón inoculadas con *Acaulospora lacunosa* superaron a los otros inóculos excepto al control, pero en los nutrimentos menores y pocos móviles como Zn, Cu y Fe si hubo diferencias significativas entre las plantas

inoculadas y no inoculadas, sobresaliendo el contenido de Cu y Zn de las inoculadas sobre las no inoculadas, mientras que en contenido de Fe las plantas inoculadas fueron similares estadísticamente a las plantas no inoculadas.

Otros de los efectos benéficos indirectos de la inoculación de hongos MA en las plantas de pimentón de este estudio fue su tolerancia al ataque de insectos (mosca blanca), puesto que en el momento de la fructificación, las únicas plantas que lograron desarrollar frutos después del ataque de estos insectos fueron las plantas inoculadas con las cepas de hongos MA.

Las anteriores premisas permiten considerar la cepa de hongo endófito *G. manihotis* como promisorio en programas de biofertilización en plantaciones de pimentón como componente importante de suelos que han sido sometido a fertilizaciones y plaguicidas constantes.

Cabe retomar entonces lo afirmado por Guerrero [33], que un inóculo de hongos MA no es un fertilizante, en términos estrictos, sino un mediador biológico de la nutrición vegetal capaz de aprovechar más eficientemente el fósforo del suelo y que los efectos de su aplicación van más allá de la nutrición por fósforo, e incluyen beneficios relacionados con la nutrición por otros elementos, así como tolerancia a patógenos y un mejor balance hídrico de la planta. Otro factor ventajoso de la presencia de las micorrizas estaría dado por su excelente interacción con microorganismos rizosféricos benéficos, como los solubilizadores de Fosfatos, fijadores de N, productores de rizóforos entre otros[26].

Por lo tanto la inoculación con hongos MA aun en condiciones de niveles de fósforo alto pueden ser un coadyuvante eficiente en el desarrollo óptimo de una planta, siempre y cuando se determine el hongo específico que sea efectivo bajo estas condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Barea J M, Azcon – Aguilar C, Ocampo J A y Azcon R. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas

- vesículo-arbusculares. Cap 17. in Fijación y movilización biológica de nutrientes. Madrid. Edit: Consejo Superior de Investigaciones Científicas:II:150-171.1991
- [2] Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de cafeto (*C. arabica* L. var Catuaí) en algunos tipos de suelos. [Tesis de Grado], INCA, 1999, 128 p.
- [3] Thompson, J.: Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. In: B.A. Stewart, *Advances in Soil Sciences*. New York, Springer-Verlag, I: 1-40.1991
- [4] Sylvia, Dm.; Hammond, Lc.; Bennett, Jm.; Haas Jh., Linda Sb.. Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agron. J.* 85: 193-198. 1993
- [5] Bolan, N. S.. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134:189-207. 1991
- [6] Davies, F. T. and Linderman R. G. Short term effects of phosphorus and VA-mycorrhizal fungi on nutrition, growth and development of *Capsicum annum* L. *Scientia Horticulturae* 45:333-338. 1991
- [7] Salami A. Influence Of Mycorrhizal Inoculation On Disease Severity And Growth Of Pepper (*Capsicum Annum* Linn.). By: Olusola. *Archives of Agronomy y Soil Science.* 48:257-262. 2002 (AN 7913915)
- [8] Demir S. Influence of Arbuscular Mycorrhiza on Some Physiological Growth Parameters of Pepper. *Turkish Journal of Biology.* 2004; 28:85-90 (AN 16101054)
- Douds D D y Reider C. Inoculation With Mycorrhizal Fungi Increases Teh Yield Of Green Peppers In A High P SoiL. *Biological Agriculture and Horticulture.* v.21:91-102. 2003
- [9] Molina L M, Mahecha L Y Medina M. Importancia Del Manejo De Hongos Micorrizógenos En El Establecimiento De Árboles En Sistemas Silvopastoriles. *Rev Col Cienc Pec .*18:2-8. 2005
- [10] Read D J. Mycorrhiza en ecosystems. *Experiencia.*47:376-391. 1991
- [11] Chacón A. M. y G. Cuenca. 1998. Efecto de las micorrizas arbusculares y de la fertilización con fósforo sobre el crecimiento de la guayaba en condiciones de vivero. *Agronomía Tropical* 48(4):425-440p.
- [12] McGonigle TP, Miller JE, Evans DG, Fairchild GL, Swan JA (1990) A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 495-501
- [13] Estrada-Luna A y Davies Fred T. Jr. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annum*) plantlets during acclimatization and postacclimatization. *Of plant physiology.* 2003;160: 1073-1083
- [14] Barea JM, Azcon-Aguilar C. Production of plant growth – regulating substances by the vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*. *Rev. Applied and enviromental Microbiology.* 1982. 43: 810 – 813.
- [15] Barea, J.M, R. Azcón y C. Azcón-Aguilar. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen fixing systems. *Methods in microbiology.* Academic Press. Vol. 24: 391-346. 1991.
- [16] Davies F T, Potter J R y Linderman R G. Drought resistance of mycorrhizal pepper plants independent of leaf P concentration— response in gas exchange and water relations. *Physiol. Plant.* 87: 45–53. 1993
- [17] Raddatz, E. (2002). *Micorriza. El Abono vivo Campo y Agro.* Ed zamorano. España 15 p.
- [18] Roman Garcia, Francisco (2003). *Concentración de reguladores del desarrollo vegetal inducida por hongos endo-*

- micorrizicos en dos cultivares de chile *Capsicum annuum* L. Tesis doctorado. Universidad de Colima. Mexico. 103 pags.
- [19] Fitter, A.H. . The role and ecologic al significance of vesicular-arbuscular mycorrhizas in temperate ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 29 : 137 - 151.1990.
- [20] Rodríguez I, Crespo G, Rodríguez C, et al. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con *Leucaena leucocephala* para la ceba de toros. Revista Cubana de ciencia Agrícola 36(2):181 –185. 2002
- [21] Ramírez A, Otálvaro D, Álvarez C, et al. Efectos de microorganismos rizosféricos sobre la absorción de fosfato y el crecimiento de *Leucaena* en un andisol. Revista Suelos Ecuatoriales. Vol. 31– 2. 2001
- [22] Gomez D E y Sanchez de P. M. (1989). Respuesta del Pimentón (*Capsicum annuum*) a la inoculación con hongos MVA. Boletín técnico. Universidad Nacional Sede Palmira. Facultad de Agronomía..
- [23] Li C.Y y Castellano, M.A. *Azospirillum* isolated from within sporocarpus of mycorrhizal fungi *Hebeloma cristuliniforme*, *Laccaria laccata* and *Rhizopogon vinicolor*. Transactions of British Mycological Society, Cambridge.88:563-565. 1987
- [24] Waterer D. R, y Coltman R R. Effects of controlled release phosphorus and inoculum density on the growth and mycorrhizal infection of Pepper and leek transplants. Hortscience.23(3):620-622.1988
- [25] Maldonado JM, Ramírez GA. (1997). Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos en almácigos de café (*coffea arábica*) Variedad Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín. pp 3 – 83.
- [26] Miyasaka S, Habte M. Plant mechanisms and mycorrhizal symbiosis to increase phosphorus uptake efficiency. Journal Series, College of tropical Agriculture and Humanresources, Hawaii, Honolulu. 4468: 1101 – 1133. 2003
- [27] Velasco A, Zambrano J. Mejoramiento del Suelo por *Acacia Mangium* en un sistema silvopastoril con *Brachiaria Humidicola*. CATIE, Costa Rica, 2000, 15 p.
- [28] Davies, F.F. y R.G. Linderman (1991). Short term effects of phosphorus and VA-mycorrhizal fungi on nutrition, growth and development of *Capsicum annuum* L. CABS. Abstracts.
- [29] Sylvia, DM.; Hammond, Lc.; Bennett, Jm.; Haas Jh., Linda Sb. 1993. Field response of maize to a VAM fungus and water management. Agron. J. 85: 193-198. Chiariello N, Hickman J C y Mooney H A. Endomycorrhizal role interspecific transfer of phosphorus in community of annual plants. Science. 217: 94- 111. 1982
- [30] Smith, S. E. & D. J. Read (1997). Mycorrhizal Symbiosis. Second edition. Academic Press, San Diego.
- [31] Maldonado JM, GA Ramírez (1997). Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos en almácigos de café (*Coffea arabica*) variedad Colombia. Tesis Ingeniero Agrónomo. Medellín, Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. p. 3-83.
- [32] Douds D., and C. Reider (2003). Inoculation with mycorrhizal fungi increases the yield of Green Peppers in a High P Soil. Biological Agriculture and Horticulture 21:91-102.
- [33] Guerrero E. Micorrizas: fundamentos biológicos y estados del arte. En: Micorrizas: Recurso biológico del suelo. Bogotá: Fondo FEN Colombia; 5 – 46. 1996