



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 10. N° 29
Junio 2017
www.eumed.net/rev/delos/29

APLICACIÓN DE MICORRIZAS: ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA LA DISMINUCIÓN O SUSTITUCIÓN DE FERTILIZANTES QUÍMICOS EN EL CULTIVO DEL MANÍ

Ing. Gladia González Ramírez¹
MSc. Carlos Pupo Fera²
gladiagr@ult.edu.cu
Cuba

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1 Introducción.....	3
2. Fertilizantes sintéticos en el maní. Efectos negativos de su uso.....	4
3. Los biofertilizantes. Las micorrizas como alternativa para la biofertilización del maní.	6
3. Conclusiones.....	10
4. Referencias bibliográficas	10

¹ Ing. Gladia González Ramírez. Ingeniero Agrónomo. Asistente Técnico para la Docencia (ATD) de Microbiología. Estudiante de Maestría de Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Las Tunas, Cuba.

² Ing. Carlos Pupo Fera. Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Agrícolas. Profesor Auxiliar de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Las Tunas, Cuba.

RESUMEN

La mayoría de los cultivos de interés económico, tanto en el mundo como en Cuba, se cultivan, en el afán de obtener cada vez mayores producciones, con la aplicación indiscriminada de plaguicidas y fertilizantes de síntesis químico que contaminan al medio ambiente. El cultivo del maní (*Arachys hypogaeae* L), no queda exenta de esta situación. Por ello el uso de micorrizas podría contribuir al incremento de los rendimientos y a la disminución o sustitución de fertilizantes químicos, menos económicos y que dañan el medioambiente contaminando los suelos, el agua y los alimentos con los consecuentes problemas a la salud humana. Este artículo considera algunos elementos a tener en cuenta del por qué utilizar cepas de hongos micorrizógenos arbusculares en la fertilización del cultivo del maní en Cuba así como los principales beneficios que trae su aplicación. Se describe además algunos de los impactos negativos que trae el uso indiscriminado de fertilizantes químicos al medio ambiente y al hombre.

Palabras claves: maní, biofertilización, micorrizas, alternativa sostenible.

ABSTRACT

Most of the crops of economic interest, both in the world and in Cuba, are cultivated, in an effort to obtain ever greater production, with the indiscriminate application of pesticides and fertilizers of chemical synthesis that contaminate the environment. The cultivation of the peanut (*Arachys hypogaeae* L), is not exempt of this situation. Therefore, the use of mycorrhiza could contribute to the increase of yields and to the reduction or substitution of chemical fertilizers, less economic and that damage the environment contaminating the soil, water and food with the consequent problems to human health. This article considers some elements to take into account to use strains of mycorrhizal fungi arbusculares in the fertilization of the peanut culture in Cuba as well as the main benefits that its application brings. It also describes some of the negative impacts of the indiscriminate use of chemical fertilizers on the environment and man.

Key words: peanut, biofertilization, mycorrhizae, sustainable alternative.

1 INTRODUCCIÓN.

Durante mucho tiempo, los avances científicos, tecnológicos y la introducción de innovaciones permitieron que la productividad agrícola aumentara a velocidades cada vez mayores, pero en muchas ocasiones, justo es reconocerlo, tales avances tuvieron consecuencias indeseables como la sobreexplotación de agua y suelo, la ampliación desordenada de la frontera agrícola o la pérdida de la biodiversidad. Un ejemplo muy claro de lo anterior lo constituyó la llamada “Revolución Verde”, que junto con sus innegables logros en materia de productividad, también tuvo algunos efectos negativos, como la contaminación derivada del uso de grandes cantidades de agroquímicos (IICA, 2015).

Cuba no quedó ajena a esta situación. Los resultados productivos de la “Revolución Verde” en el país sólo lograron mantenerse durante los primeros años. A mediados de los 80, muchos cultivos ya habían llegado a su rendimiento máximo. Lo que sucedió después fue la nivelación e incluso el descenso de la productividad en algunos de ellos. Pero la agricultura convencional dejó otras secuelas, no menos negativas, en los agroecosistemas. Los índices de afectación muestran respecto a la superficie agrícola total, que el 43.3% de los suelos presentaban erosión, 23.9% compactación; 14.1% elevados grados de salinidad, 24.8% acidez y el 44.8% baja fertilidad. Todo ello en conjunto conllevaba a que 76.8% de los suelos de la isla estuviesen categorizados como poco o muy poco productivos (Rosset *et al.*, 2011).

Para suplir las necesidades nutritivas de las plantas cultivadas se utiliza generalmente fertilizantes químicos que originan daños al medio ambiente y al hombre debido a la contaminación de las aguas, el suelo y los alimentos (Moreno, 2017). El maní o cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) no queda exenta de esta situación.

El maní es una leguminosa muy valorada a nivel mundial, y está presente en la dieta de gran parte de la población; para muchos pueblos constituye la principal fuente de aceite comestible de alta calidad (Mazzani *et al.*, 2010; Zapata *et al.* 2012). Según Panhwar (2005), el maní es uno de los cultivos de mayor importancia productiva y económica entre las oleaginosas de las regiones tropicales y subtropicales, no solo por su aceite, sino por su contenido de proteínas y carbohidratos. Todas sus partes tienen beneficios en la alimentación, las semillas son una fuente primaria de proteína y aceite para el consumo humano, mientras que, los tallos, hojas y las cáscaras son empleadas en la alimentación animal siendo una fuente de ingresos suplementaria durante la estación seca (Naab *et al.*, 2009).

Actualmente, es cultivado en 115 países de regiones tropicales, subtropicales y templadas, especialmente en África, Asia, Norte y Suramérica. En el 2014 fueron cosechadas 25 670 293 ha en el ámbito mundial, para una producción de 42 316 355 t y un rendimiento promedio estimado en 1,648 t.ha⁻¹. En el año 2014 la FAO estimó que en Cuba se sembraron cerca de 5400 ha con una producción de 5700 t y rendimientos cercanos a los 1,05 t.ha⁻¹ (Faostat, 2014) por debajo de los informados a nivel mundial.

El cultivo de maní por ser una leguminosa, realiza simbiosis con microorganismos en el suelo, que contribuyen a la fijación de nitrógeno a la planta. Según Rouanet *et al.* (2005), el maní fija por este concepto $109 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de nitrógeno al año. Sin embargo, es necesario mencionar que es un cultivo muy extractor de nutrientes en el suelo, sobre todo de calcio, fósforo, potasio y azufre, por tal motivo contribuye a su degradación. La cantidad media de nutrientes que extrae la planta para producir dos toneladas de granos por ha^{-1} , es de 150 kg de N, entre 15 y 18 kg de P_2O_5 y 70 kg de K_2O .

Por todo lo anteriormente expresado el uso de las micorrizas constituye una alternativa económica y ecológicamente sustentable para la agricultura en el mejoramiento del cultivo del maní, para reducir los insumos externos, mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos, así como garantizar mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes minerales (León *et al.*, 2016). Estos han pasado a ser, junto a los bioplaguicidas, insumos agrícolas claves en la producción agrícola sustentable (Pathak y Kumar, 2016).

2. FERTILIZANTES SINTÉTICOS EN EL MANÍ. EFECTOS NEGATIVOS DE SU USO.

En Cuba tradicionalmente el cultivo del maní se fertiliza según las indicaciones del Ministerio de la Agricultura (Minag, 2015) con la aplicación de 140 kg/ha de nitrógeno en suelo arcillosos y 160 kg/ha en suelos arenosos. Cuando los contenidos de fósforo y potasio en el suelo estén por encima de 25 mg/100 g de suelo, se debe aplicar en siempre 30 kg/ha de P_2O_5 y K_2O . Por otra parte, en suelos arenosos y en aquellos cuyos contenidos de estos elementos estén por debajo de 15 mg/100g de suelo, se debe aplicar 50 kg/ha de P_2O_5 y K_2O . Este cultivo también es fertilizado con derivados de cal pues el Ca es esencial para la formación de sus vainas.

Como se aprecia, la fertilización recomendada para obtener rendimientos elevados en este cultivo puede contribuir de diversas formas a la contaminación del medio ambiente, al incremento de los costos y al daño de la salud de animales y del hombre.

La contaminación de las aguas de riego por nitratos a través de la escorrentía o de la percolación ha propiciado un aumento de la contaminación difusa (Melián, 2017). Los nitratos son compuestos químicos que en ocasiones se encuentran en el agua de pozos y otras fuentes de abasto. Por lo general, los niveles elevados de nitratos en el agua se deben a su contaminación por el uso excesivo de fertilizantes, los residuos de granjas mal gestionados, o la infiltración de drenaje humano proveniente de las fosas sépticas (Castiella *et al.*, 2008).

Dada la relación entre el riego y el movimiento de los nitratos en el suelo, la eficiencia en el uso del agua de riego y del nitrógeno aplicado por fertilización adquiere gran relevancia, si se pretende realizar una producción sustentable. Las distintas características físicas de los suelos condicionan, en ellos, el movimiento del agua, lo que puede generar en algunos casos condiciones favorables para la migración de los nitratos en profundidad (Rimski *et al.*, 2002).

Además, cuando se aplican fertilizantes a base de nitrógeno se liberan hacia la atmósfera amoníaco y óxido nitroso, gases que destruyen la capa de ozono y contribuyen al incremento del efecto invernadero (Lara *et al.*, 2017). Según Garzón y Cárdenas (2013), el óxido nitroso (N_2O) es un gas con un potencial de calentamiento 298 veces mayor que el CO_2 ; es emitido por diversos sectores económicos, entre ellos la agricultura y la ganadería por el empleo de fertilizantes nitrogenados. Este uso no incrementa únicamente las emisiones de N_2O , sino que afecta todos los eslabones del ciclo del nitrógeno, siendo importante reconocer las interacciones entre sus reacciones (amonificación, nitrificación, denitrificación, etc.) para comprender los efectos sobre la lixiviación de nitratos, volatilización de amoníaco y emisiones de N_2O , tres compuestos naturales que afectan el medio ambiente.

Parte de los óxidos, además, **disueltos en el vapor de agua producen ácido nítrico que cae al suelo como lluvia ácida**. El efecto de las lluvias ácidas se puede observar en los lagos donde el pH del agua ha disminuido. Ramírez y Olmes (2016), plantean que en Canadá los nueve ríos más famosos de Nueva Escocia por su pesca de Salmón han perdido gran cantidad de peces por la acidificación mientras que en las provincias de Ontario y Quebec la precipitación ácida ha destruido más de 100 lagos, de los 48000 existente. Estos autores también describen el efecto nocivo de las lluvias ácidas sobre las edificaciones, maquinarias, la flora y la fauna.

Los nitratos que se forman a partir de fertilizantes nitrogenados son los que ambientalmente suponen un mayor riesgo ya que, al igual que el fósforo, pueden causar problemas de eutrofización (Rodríguez *et al.*, 2017). La eutrofización es el proceso de enriquecimiento de las aguas por nutrientes que estimula un incremento en la producción primaria y frecuentemente está relacionado con la presencia de proliferaciones de algas nocivas y macrófitas (Hoyos *et al.*, 2014).

La eutrofización es un proceso natural en los ecosistemas acuáticos, producido por el enriquecimiento del cuerpo de agua con nutrientes pero que en los últimos siglos se ha acentuado por el efecto antropogénico. La eutrofización reduce considerablemente los usos potenciales que tienen los recursos hídricos, puesto que induce a la mortalidad de especies animales, a la descomposición del agua y al crecimiento de microorganismos como bacterias, entre otros (Ramírez, 1998 citado por Bravo *et al.* 2016).

La eutrofización puede comenzar a partir de contenidos de fósforo tan bajos como $20 \mu g L^{-1}$, por lo que el lixiviado de fosfatos desde el suelo a los sistemas acuáticos supone, a menudo, serias consecuencias sobre los parámetros de los que depende la calidad medioambiental. En general, la contaminación fosfatada es considerada una consecuencia directa del uso de fertilizantes por la agricultura; la mayoría de los estudios publicados sobre el tema plantea el problema de una agricultura intensiva, no respetuosa del medio ambiente (Rodríguez *et al.*, 2017).

Por otra parte, las aplicaciones de fertilizantes potásicos traen consigo un efecto salinizante, producido por las impurezas de dichos abonos, fundamentalmente los cloruros. Así mismo, las aplicaciones de fertilizantes cálcicos y de otros productos utilizados para elevar el pH del suelo,

cuando se aplican de forma excesiva, contribuyen a incrementar su alcalinidad, lo que en ocasiones, dificulta el crecimiento y desarrollo de algunos cultivos ya que pueden ocasionar deficiencias en la absorción de microelementos como por ejemplo el zinc (Madrigal *et al.*, 2016).

3. LOS BIOFERTILIZANTES. LAS MICORRIZAS COMO ALTERNATIVA PARA LA BIOFERTILIZACIÓN DEL MANÍ.

La sustentabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido las tecnologías agroecológicas para la fertilización de los cultivos son un componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y aceptable para reducir la entrada de insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Martínez, 2012).

Existen diferentes tecnologías agroecológicas para la fertilización de los cultivos. Ejemplos de ellas lo constituyen el uso de abonos orgánicos, compost, humus de lombriz, estiércoles, cachaza, lodos residuales, turba, biofertilizantes (microorganismos eficientes, micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo), abonos verdes y bioestimulantes (Kearney *et al.*, 2011).

En la producción agrícola sostenible se presta especial interés al uso de microorganismos benéficos del suelo, que mediante la actividad simbiótica mejoran la nutrición de las plantas, coadyuvan a tolerar condiciones adversas y promueven el crecimiento y la producción. Por estas razones se han considerado agentes de fertilización biológica o biofertilizantes, componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Corbera y Napoles, 2010).

Los biofertilizantes son formulaciones de microorganismos beneficiosos como bacterias y hongos, que se aplican a los cultivos agrícolas o al suelo, solos o combinados, para favorecer, por su actividad biológica, el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con las plantas y el crecimiento vegetal, de forma tal que los rendimientos se mantengan o se incrementen (Lozano y Ramírez, 2016).

Así mismo, Martínez *et al.*, (2004), definen los biofertilizantes como productos a base de microorganismos benéficos, que viven normalmente en el suelo y que son incrementadas sus poblaciones por inoculación artificial. Estos son capaces de poner a disposición de las plantas, mediante su actividad biológica, una parte importante de las sustancias nutritivas que necesitan para su desarrollo, así como suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento.

Por otro lado Morales (2007), señala que los biofertilizantes son regeneradores de suelo y no contaminan ni degradan su capacidad productiva, son regeneradores de su población microbiana y tienen una función protectora del sistema radicular de la planta contra microorganismos patógenos. Según Izquierdo *et al.* (1995), citados por Novo (2002), los biofertilizantes pueden considerarse

como tecnologías “apropiables” que contribuyen al desarrollo sostenible y que proveen beneficios tangibles a los destinatarios, son ambientalmente seguras y socioeconómicas y culturalmente aceptables.

Las micorrizas desarrollan un papel fundamental en el mantenimiento de muchos ecosistemas. Debido a la función que ejercen como protectoras de los cultivos, es posible reducir los fertilizantes y los plaguicidas en las plantas que las posean. Son formadoras de micorrizas la mayor parte de leguminosas herbáceas y algunas leñosas, los cereales, los frutales, la gran mayoría de los cultivos hortícolas y muchos arbustos y herbáceas de ecosistemas forestales (Andrade *et al.*, 2009).

Las micorrizas o los Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA) como biofertilizantes, son ampliamente utilizados a nivel mundial y en Cuba en la fertilización de cultivos de importancia económica (Baldoquín *et al.*, 2015; Molinet *et al.*, 2015; Charles y Martín, 2015; João *et al.*, 2016). Particularmente en Las Tunas varias investigaciones avalan el efecto positivo de estos organismos en las producciones (Pupo *et al.*, 2016; Carbonell *et al.*, 2016).

Mendoza (2009), plantea que estos incrementos en la disponibilidad de los nutrientes son consecuencia:

- a) Aumento del área del suelo en contacto físico con la micorriza (raíz e hifas).
- b) Aumento de la movilidad, a través de las hifas del hongo de los minerales en las regiones próximas a la raíz. Convierte elementos fijados en el suelo en sustancias solubles, para que la raíz las pueda absorber, entre ellas el fósforo, zinc, boro, magnesio, hierro y otras.
- c) Incremento de la actividad biológica de la rizosfera, acelerando los procesos de mineralización y reciclaje de nutrientes.

En sistemas de rotación la aplicación de HMA sirven como una fuente de inóculo para el cultivo siguiente lo cual ha sido comprobado en el país en diferentes secuencias de cultivos, incluyendo los abonos verde como precedentes, en dos tipos de condiciones edáficas y en los cuales se ha encontrado un funcionamiento micorrízico efectivo en el primer cultivo posterior al inoculado, (Charles y Martín, 2015).

Las hifas de los HMA tienen un radio aproximado de 1.5 μm (Tena *et al.*, 2016; Tinker *et al.*, 1992 citado por Parodi y Pezzani, 2010), lo cual le permite a la raíz incrementar el área de superficie de exploración del suelo conduciendo a un incremento en la absorción de nutrientes minerales, particularmente fósforo (P) y otros elementos poco móviles en el suelo (Castillo *et al.*, 2016) ahí radica su principal importancia (Martín y Rivera, 2015).

Uno de los nutrientes que más se ha estudiado en relación con su absorción mediada por micorrizas, es el fósforo (Yong *et al.*, 2003), debido a que las plantas lo requieren en relativamente grandes cantidades, y que también se encuentra en concentraciones muy bajas en el suelo. Esto se debe a que los iones de fosfato inorgánico se unen de forma rápida a coloides del suelo o se fijan como sales de hierro o aluminio, lo que provoca que sean relativamente inmóviles. También ocurre

que una gran proporción del fósforo inorgánico total está normalmente en forma insoluble, no disponible con facilidad para las plantas.

El fosfato orgánico está presente en la materia orgánica. Según Oliviera *et al.* (2008), este fosfato, en dependencia del tipo de suelo, puede representar cerca de 50% del fósforo total insoluble. Una gran porción del fósforo orgánico está representada por los fosfatos de inositol y en una menor cantidad por otros ésteres de fosfato como fosfolípidos presentes en membranas biológicas. Así, gran parte del fosfato presente en la cercanía de las raíces de las plantas se encuentra en forma de fitatos (fosfatos de inositol) los cuales son insolubles pero pueden ser inducidos a formar soluciones mediante las fosfatasas de las raíces o de las hifas fúngicas (Harley y Smith, 1983; Beltrán, 2014).

A causa de su baja concentración en la solución del suelo, el flujo de masas hacia el sistema radical de la planta es insuficiente para cubrir normalmente los requerimientos de fósforo. Además, la difusión de este nutriente en el suelo es también extremadamente baja, por lo que en plantas sin micorriza puede observarse una zona de agotamiento de iones fosfato en derredor de la raíz (Stribley, 1987).

La extensión de las hifas extraradicales de la micorriza más allá de esta zona de agotamiento, ocasiona por un lado, un incremento del área de absorción y por otro, la exploración de un volumen mayor de suelo que el que normalmente podría alcanzar el crecimiento de la raíz por sí sola. Es claro además que el sistema radical de las plantas responde a condiciones localizadas del suelo y frecuentemente muestra incremento en la proliferación de raicillas en zonas ricas en nutrimentos. Aunque es poco probable que el hongo asociado “busque” dichas zonas, la evidencia sugiere que la proliferación de hifas ocurre en micrositos con una concentración de nutrimentos relativamente alta (Lynch, 1990; Bonfante *et al.*, 2004).

También se ha observado que reducen la tensión fisiológica causada por microorganismos patógenos de la raíz (Quintero, 2014) y contribuyen a que los cultivos sean más tolerantes al estrés hídrico (Medina y Laura, 2016) esencialmente importante en ambientes con baja disponibilidad de agua (Calderón *et al.*, 2016). A cambio, los HMA reciben carbohidratos por parte de la planta hospedera (Landa y David, 2016). Los HMA también son utilizados para procesos de biorremediación ya que éstos pueden inmovilizar metales que pueden dañar a las plantas (Abud *et al.*, 2013).

Varios autores (Ortuño *et al.*, 2010; Avilés *et al.*, 2011; Medina y Laura, 2016), plantean que las micorrizas mejoran la capacidad de absorción de agua y de nutrientes del suelo ya que las hifas de los HMA, al explorar el suelo, llegan a los lugares donde difícilmente pueden llegar las raíces de las plantas por sí solas. Además, los HMA incrementan la conductividad hidráulica de las raíces y favorecen la adaptación del balance osmótico (Porrás *et al.*, 2009).

La aplicación del biofertilizante EcoMic® es utilizada como alternativa para incrementar la tolerancia de las plantas a la sequía (Terry *et al.*, 2009). Los HMA producen una sustancia llamada glomalina, una glicoproteína de gran adhesividad, la que está relacionada con la estabilidad de los agregados del suelo (Pérez, 2016), por lo tanto, los HMA han sido asociados con cambios en la

estructura del suelo, aspecto que favorece la mayor disponibilidad de agua a las plantas (Dell'Amico *et al.*, 2007).

Aunque las plantas de maní poseen la capacidad de explorar el suelo con su potente sistema radicular que facilita la entrada de agua y nutrientes, y su particularidad de enterrar el ginóforo para posteriormente desarrollar los frutos, esta puede ser potenciada con el uso de los HMA. Las hifas le permiten a la raíz incrementar el área de superficie de exploración del suelo conduciendo a un incremento en la absorción de nutrimentos e influye sobre las relaciones hídricas (Medina y Laura, 2016). Con estos antecedentes no es imposible pensar que esta simbiosis favorece sus producciones.

Así, la aplicación de diferentes cepas de HMA provocaron una respuesta positiva en las producciones de maní en suelos pardos grisáceos de la zona norte del municipio Las Tunas, Cuba. En la investigación se comprobó el efecto de cuatro cepas de micorrizas en variables morfofisiológicas y de rendimiento comparadas con un testigo sin fertilizar y la aplicación de NPK. La cepa que mejores resultados arrojó, en la mayoría de las variables estudiadas, fue *Rhizophagus intraradices* seguidas por *Glomus cubense* y *Funneliformis mosseae*. La cepa *Claroideoglomus claroideum* fue la que peor comportamiento presentó. El efecto variado de cada una de las cepas pudo estar dado por las características químicas del suelo y su relación con el establecimiento de las cepas, ya que existe una gran especificidad entre el tipo de suelo y la efectividad de la micorrización. Desde el punto de vista económico se justificó la aplicación de todas las cepas aplicadas por lo que sin dudas contribuyeron a incrementar los rendimientos del cultivo.

Las mayores masas de las vainas se obtuvieron con la aplicación de NPK y de la cepa *R. intraradices* resultados estadísticamente superiores respecto al resto de los tratamientos. Las masas más bajas se alcanzaron con el uso de la cepa *C. claroideum* y en el Testigo sin aplicación. Las cepas *F. mosseae* y *G. cubense* presentaron un comportamiento intermedio en esta variable. Por su parte, al analizar la masa de 100 granos, los tratamientos que mejores se comportaron fueron nuevamente la aplicación de NPK y de la cepa *R. intraradices* seguidos por *F. mosseae* y *G. cubense*. Las menores masas de 100 granos se obtuvieron con el tratamiento compuesto por la cepa de HMA *C. claroideum* y en el Testigo absoluto.

En esta investigación, los mayores rendimientos, tanto en granos como en vainas, se alcanzaron con la aplicación del fertilizante sintético ($1,16 \text{ t ha}^{-1}$) y con el uso de *R. intraradices* ($1,15 \text{ t ha}^{-1}$) quienes difirieron estadísticamente del resto de los tratamientos. Así mismo, las cepas *G. cubense* y *F. mosseae* presentaron un comportamiento intermedio y a su vez difirieron de los rendimientos alcanzados por la cepa *C. claroideum* y el Testigo sin fertilizar que fueron los tratamientos que obtuvieron los rendimientos más bajos.

Estos resultados implicaron incrementos respecto al Testigo sin fertilizar comprendidos entre los 0.031% y un 25%. En este último caso se encuentra el uso de *R. intraradices* quien provocó un incremento de $0,32 \text{ t.ha}^{-1}$ seguido por la aplicación de NPK ($0,31 \text{ t.ha}^{-1}$) mientras que las cepas

G. cubense y *F. mosseae* incrementaron los rendimientos en 0,22 y 0,14t.ha⁻¹ respectivamente y disminuir la aplicación de fertilizantes químicos.

Resultados inferiores a los obtenidos en esta investigación fueron informados por Molinet *et al.* (2015), quienes obtuvieron rendimientos por debajo de 1 t ha⁻¹ con el uso combinado de EcoMic y Azotofos y de EcoMic de forma independiente un suelo Fluvisol poco diferenciado de la provincia Granma.

Dos Santos (2016) realizó investigaciones en Brasil del efecto de HMA sobre plantas de maní sometidas a estrés hídrico. Esta autora demostró que la aplicación de las cepas de las micorrizas *R. intraradices* y *Claroideoglomus etunicatum* solas o combinadas con extractos de algas marinas promovieron el crecimiento de las plantas y provocaron un aumento de la tasa de asimilación neta de CO₂, así como una mayor capacidad para mantener el estado del agua adecuada de las plantas.

3. CONCLUSIONES

Los HMA son una alternativa económica y ecológicamente justificable en el aumento de la nutrición, calidad y producción para contribuir a una agricultura sustentable y poco dependiente de insumos lo cual mejorar la economía de los agricultores y reduce el daño al medio ambiente.

Se comprobó que la aplicación de las diferente cepas de micorrizas provocaron una respuesta positiva de las producciones de maní en las condiciones experimentales frente a un Testigo sin fertilizar. La cepa que mejores resultados obtuvo, en la mayoría de las variables estudiadas fue *Rhizophagus intraradices* seguidas por *Glomus cubense* y *Funneliformis mosseae*.

Desde el punto de vista económico se justifica la aplicación de todos los tratamientos aplicados con las cepas de micorrizas. Las mayores ganancias y los menores costos por pesos se obtuvieron con el uso de la cepa de micorriza *Rhizophagus intraradices*.

Los HMA juegan un rol clave en la sostenibilidad del sistema suelo-planta y son los mejores aliados para lograr un buen crecimiento y nutrición de las plantas, formando una asociación simbiótica para un mejor aprovechamiento de los recursos del suelo dejando de aplicar 160 kg/ha de N y 50 kg/ha de P₂O₅ y K₂O en el cultivo del maní que causan daños considerables al medio ambiente y la salud de la población en general.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abud, Y. C., Ochoa, M. S., Trujillo, M. M., y Pedraza, R. M. (2013): "Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones". En *Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 12(1): 65-71.
- Andrade, S., P. Mazzafera, M. Schiavinato y H. Silveira. A. (2009): "*Arbuscular mycorrhizal association in coffee*". En revista *Journal of Agricultural Science*. 147: 105-115.

- Avilés, M.; Borrero, C.; Trillas M.I. (2011): "Compost supresivos a las enfermedades de las plantas". En revista *Ae* (3): 6-8.
- Baldoquín, M.; Magalis Alonso, Yarisbel Gómez e I. Bertot. (2015): "Respuesta agronómica del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*, L) variedad Black Seed Simpson ante la aplicación de bioestimulante Enerplant". En revista *Centro Agrícola*, 42(3): 53-57.
- Beltrán, P.M. E. (2014): "La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal". En revista *Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113.
- Bonfante, F.P.; A. Genre y V. Bianciotto (2004): "The Colonization Strategies of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: An Overview of their Cellular Interactions with Plants and Bacteria", en: Frias-Hernandez J. T.; V. Olalde Portugal; R. Ferrera-Cerrato (Eds.). *Avance en el conocimiento de la biología de las micorrizas*. Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- Bravo, M., C. D., Bello, M. Í. P., y López, Z. Y. M. (2016): "Contaminación de agua cruda de río y potabilizada de consumo doméstico en Manta-Ecuador". En revista *Dominio de las Ciencias*, 2(3): 171-186.
- Calderón, A. D. A., Gómez, E. F., Salazar, S. F. M., Astorga, G. I. A., y Meza, A. O. (2016): "Variación en el estatus micorrízico de leguminosas del desierto sonorense". En revista *Biotechnia*, 18(1): 52-58.
- Carbonell, Leticia; Darlis Reynaldo y Adriana Téllez. (2016): "Evaluación de la fertilización química y biológica en el cultivo de la cebolla bajo condiciones edafoclimáticas. Estudio de caso". En revista *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. Año: III. Nro. 3 Febrero - Mayo, 2016.
- Castiella, J.; Perez, C.; Sanz L. (2008): "Documento técnico. Contaminación por nitratos en el Acuífero Aluvial del Ebro en Navarra". Dirección Gral. De Medio Ambiente y Agua V.1.0, CRANA (Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra). Pamplona / Iruña.
- Castillo, C., Morales, D., Fuentealba, F., y San Martín, V. (2016): "Colonización temprana de hongos micorrízicos arbusculares en trigo con aplicación de productos naturales en un Andisol de La Araucanía". En revista *Idesia (Arica)*, 34(2), 63-68.
- Charles, N. y N. Martín. (2015): "Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido". En revista *Cultivos Tropicales*. 36 (1): 55-64.
- Corbera, J. y María C. Napoles. (2010): "Evaluación de la inoculación conjunta *Bradyrhizobium japonicum*-hongos micorrízicos arbusculares y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soja cultivada en época de invierno". En revista *Cultivos Tropicales*. 31 (4).
- Dell'Amico, J. M., Fernández, F., Nicolás, E., López, L. F., y Sánchez-Blanco, M. D. J. (2007): "Respuesta fisiológica del tomate a la aplicación de dos inoculantes a base de *Glomus* sp1

- (INCAM 4) por dos vías de inoculación diferentes". En revista Cultivos Tropicales, 28 (2): 51-58.
- Dos Santos, Renata. (2016): "Plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica e a influência da associação com fungos micorrízicos arbusculares e extratos de algas marinhas". Tesis de Doctorado. Brasil. 141 p.
- Faostat. (2014): "Principales indicadores productivos del cultivo del maní (*Arachis hypogaea* L.) durante el año 2014". Estadísticas de la Fao. Organización de Naciones Unidas para la Agricultura (Fao). Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> [Consulta: febrero 15 de 2017].
- Garzón, J. E., y Cárdenas, E. A. (2013): "Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nítrico: compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario colombiano". En revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 60(2), 121.
- Harley, J. L. y S. E. Smith (1983): "*Mycorrhizal Symbiosis*". Academic Press Inc., London, UK.
- Hoyos, B.A., Bedoya Castaño, C. L., y Álvarez Alzate, D. A. (2014): "Nutrients load evolution of high mountain rivers flowing into a reservoir, Magdalena river mid-basin". En revista EIA, (22), 77-91.
- IICA. (2015): "Una productividad competitiva, incluyente y sustentable: oportunidad para el continente americano". Documento técnico Encuentro de Ministros de Agricultura de las Américas. Decimoctava Reunión Ordinaria de la Junta Interamericana de Agricultura (JIA). Cancún-Riviera Maya, México (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR) 19-23 de octubre, 2015.
- João, J.; A. Espinosa; L. Ruiz; J. Simó y R. Rivera. (2016): "Efectividad de cepas de HMA en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en dos tipos de suelos". En revista Cultivos Tropicales. 37 (1): 48-56.
- Kearney M. I. T., G. A. Cerioni, R. Stefani, F. D. Morla, O. Giayetto, M. B. Rosso y J. Della Mea. (2011): Bioestimulante aplicado a la semilla de maní sobre la emergencia, el rendimiento y la calidad. Disponible en: <http://www.ciacabrera.com.ar/Documentos/Jornada%2026%20trabajos/Microsoft%20Word%20-%2034-%20Kearney-Cerioni-Stefani-%20Stoller-%20UNRC%5B1%5D.pdf>. Consultado el 20/05/2017 a 15:35.
- Landa, V., y David, S. (2016): Respuesta morfo/fisiológica y expresión de genes Pht1 de cuatro cultivares de *Zea mays* L. inoculados con hongos micorrízicos arbusculares bajo dos concentraciones de fósforo inorgánico. Tesis de maestría. Disponible en: <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/458/1/valerio.pdf> Consultado el 20/05/2017 a 15:20.

- Lara, C. G., Jonapá, A. O., Sánchez, R. V., Herrera, R. G., & Anzueto, J. C. (2017). Medición remota de ozono atmosférico en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, utilizando la técnica Doas. En revista *Lacandonia*, 5(1): 133-142.
- León González, Y., Martínez Viera, R., Dibut Álvarez, B., Hernández Martínez, J. M., y Hernández García, B. (2016). Factibilidad económica de la aplicación de inoculantes microbianos en el cultivo del tabaco negro. En revista *Cultivos Tropicales*, 37(1): 28-33.
- Lozano, C, M. G., y Ramírez, J, G. (2016): Biofertilizantes para la producción de plantines de estevia. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4324/Biofertilizantes%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20estevia.pdf?sequence=1>. Consultado el 20/05/2017 a 15:55.
- Lynch, J. M. (1990): "The Rhizosphere". John Wiley y Sons, New York, USA.
- Madrigal, N. A., Ojeda-Barrios, D. L., Guerrero-Prieto, V. M., Ávila-Quezada, G., y Parra-Quezada, R. (2016): "Bioavailable zinc in soil for pecan tree nutrition". En revista *Chapingo Serie Zonas Áridas*, 15(1).
- Martín, G. M., y Rivera, R. (2015): "Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz". En revista *Cultivos Tropicales*, 36, 34-50.
- Martínez, R. A. (2012): Problemas sociales vinculados al empleo biofertilizantes en la provincia Pinar del Río, Cuba Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos91/problemas-sociales-empleo-biofertilizantes/problemas-sociales-empleo-biofertilizantes.shtml#ixzz3qFaCP0OH> Consultado el 17/04/2017 a 09:20.
- Martínez, V., R., A. B. Dibut, N. Arozarena, Grisel Tejeda, Rosalía C. González, Rosa García, Yoania Ríos, Gabriela Díaz, Aida C. González, Janet Rodríguez, Marisel Ortega y María Elena Simanca. (2004): "Los biofertilizantes como pilares de la agricultura sostenible". Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt". La Habana, Cuba.
- Mazzani, E.; Segovia, V.; Marín, C. y Pacheco, W. (2010): "Clasificación de cultivares de maní (*Arachis hypogaea* L.) por caracteres cuantitativos para el establecimiento de colecciones nucleares del banco de germoplasma". Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. En revista *Fac. Agron. (LUZ)*. 2010, 27: 1.
- Medina, G. y Laura. R. (2016): "La agricultura, la salinidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa". En revista *Cultivos Tropicales*, 37(3), 42-49.
- Melián, N. A. (2017): "Reutilización de agua para la agricultura y el medioambiente". En revista *Agua y Territorio*, (8), 80-92.

- Mendoza, E. (2009): Hongos Micorrizas [en línea: abril de 2009] Disponible en: <http://www.microplanta.com/articulos/2009/04/06/hongos-micorrizas/> Consultado el 20/05/2017 a 11:55.
- Minag. (2015): "Cultivos y técnicas para su producción". Ministerio de la agricultura. UEICA-H, PIAL. Las Tunas.
- Molinet, D.; R. Santiesteban y R. Fonseca. (2015): "Respuesta del cultivo del maní a la nutrición biológica sobre un suelo Fluvisol poco diferenciado de la provincia Granma". En revista Granma Ciencia. 19 (3). ISSN 1027-975X.
- Morales, I. M. (2007): "Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable". En revista *Estudios Agrarios*. Septiembre-diciembre. México. 93-119.
- Moreno, Á. A. T. (2017): "Uso de Abonos Orgánicos para el Desarrollo Sustentable de la Escuela Técnica Agronómica Salesiana". En revista *Scientific*, 2(3): 99-117.
- Naab, J.B.; Prasad, P.V.V.; Boote, K.J. y Jones, J.W. (2009): "Response of peanut to fungicide and phosphorus in on-station and on-farm tests in Ghana". En revista *Peanut Sci.* No. 36. pp. 157-164.
- Novo, S. R. (2002): "Curso internacional de Microbiología del Suelo, los Biofertilizantes y la biofertilización". Asociación de Ingenieros Agrónomos Colombianos residentes en el Ecuador (ASOINCO). Quito, agosto 19 al 23 del 2002.
- Oliviera C, Alves V, Marriel I, Gómez E, Scotti M, Carneiro M, Guimaraes M, Schaffert R, Sa N. (2008): "Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome". En *Revista Soil. Biol. Biochem.* 41: 1782-1787
- Ortuño, N.; Navia, O.; Medrano, A.; Rojas, K.; Torrico, L. (2010): "Desarrollo de Bioinsumos: Un Aporte Importante a la Soberanía Alimentaria de Bolivia". En revista de Agricultura (47): 31-35.
- Parodi, G., y Pezzani, F. (2010): "Micorrizas arbusculares en dos gramíneas nativas (*Nassella neesiana* y *Coelorhachis selloana*) de un pastizal natural de Uruguay". En revista *Profundización en Ecología. Universidad de la República, Facultad de Ciencias. Uruguay.*
- Pathak, D. V. y M. Kumar. (2016): "Microbial Inoculants as Biofertilizers and Biopesticides". En: *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. Dhananjaya Pratap Singh; H. Bahadur Singh y R. Prabha (Editores).
- Pérez, B. (2016): "Efecto de los bioinsumos sobre la capacidad de respuesta de cultivares nativos de papa (*Solanum tuberosum* L.) a sequía". En revista *Latinoamericana de la Papa*, 19(1): 40-58.
- Porras, S. A.; Soriano, M. M. L.; Porras, P. A. y Azcón, R. (2009): "Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions". En *Journal of Plant Physiology*, 166 (13): 1350-1359.

- Pupo, C., Gladia González, O. Carmentate, Luritz Peña, V. Pérez y E. Rodríguez. (2016): "Respuesta del cultivo del ajo (*Allium sativum* L.) a la aplicación de dos bioproductos en las condiciones edafoclimáticas del centro este de la provincia Las Tunas, Cuba". En revista *Cultivos Tropicales*. 37(4): 57-66.
- Quintero, Z. E. (2014): "Análisis proteómico de la resistencia inducida por micorrización al patógeno foliar *Sclerotinia sclerotiorum* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/13122> Consultado el 20/05/2017 a 1:00.
- Ramírez, R. R., y Olmos, H. I. (2016): "Efectos al ambiente de la lluvia ácida". En revista *Enlace químico*. 1(1): 15-19.
- Rimski, K. H.; Torres Duggan, M.; Lavado, R. S. (2002): "Influencia de la Fertilización y el Riego en la Lixiviación de Nitratos en un Suelo Arenoso". XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Rodríguez, S. C., De Asmundis, C. L., y Martínez, G. C. (2017): "Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas". En revista *Agrotecnia*, (24): 30-34.
- Rosset, P. M.; B. Machín; Adilén María Roque y Dana Rocío Ávila. (2011): "The *Campesino-to-Campesino* agroecology movement of ANAP in Cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty". En *Revista The Journal of Peasant Studies*. 38 (1): 161-191.
- Rouanet J .L., Mera, M. Acevedo, E., Silva, P. (2005): "Rotaciones y sus efectos sobre la productividad de los cultivos y sobre la calidad del suelo". In: *Rotaciones de Cultivos y sus Beneficios para la Agricultura del Sur*. Fundación Chile. Santiago, Chile. pp: 29-46.
- Stribley, D. P. (1987): "Mineral Nutrition", en Safir, G. R. (Ed.), *Ecophysiology of V-A yorrhiza*. CRC. Press Inc., Boca Raton, Fla. USA.
- Tena, A. R., Aguilar, E. E. Q., Enríquez, G. R., y Pérez, L. L. (2016): "Micorrización en *Capsicum annum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L". en revista *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4): 857-870.
- Terry, E., Pino, M. D. L. A., Salomón, J. L., Suárez, Y., Chaveco, O., Peña, R., y Wrigh, J. (2009): "La innovación local como alternativa para atenuar el impacto de la sequía". En revista *Cultivos Tropicales*, 30(2).
- Yong G. Z.; A. F. Smith y S. E. Smith (2003): "Phosphorus efficiencies and responses of barley (*Hordeum vulgare* L.) to Arbuscular Mycorrhizal Fungi Grown in Highly Calcareous Soil", *Mycorrhiza*. 13(2).
- Zapata, N.; Vargas, Marisol y Vera, F. (2012): "Crecimiento y productividad de dos genotipos de maní (*Arachis hypogaea*L.) según densidad poblacional establecidos en Ñuble, Chile". En revista IDESIA (Chile) Septiembre-Diciembre, Volumen 30, N° 3. pp 47-54.