

**EVALUACIÓN DE LA ESPECIFICIDAD ENTRE PLANTAS E INÓCULOS
COMERCIALES DE MICORRIZAS PARA EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE
ARVEJA (*Pisum sativum L.*).**

Caron Viasus Triana

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Agroecológica

Bogotá D.C., Colombia

2015

**EVALUACIÓN DE LA ESPECIFICIDAD ENTRE PLANTAS E INÓCULOS
COMERCIALES DE MICORRIZAS PARA EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE
ARVEJA (*Pisum sativum L.*).**

Caron Viasus Triana

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERA EN AGROECOLOGÍA

Director:

Raúl Posada Almanza

Codirector:

Sud Sair Sierra Roncancio

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Facultad de Ingeniería

Ingeniería Agroecológica
Bogotá D.C., Colombia
2015

DEDICATORIA:

Este trabajo es dedicado a mi madre por su dedicación, confianza y apoyo incondicional en mi vida.

AGRADECIMIENTOS:

A mi director Raúl Posada Almanza por su paciencia, apoyo, asesoría y acompañamiento en todas las etapas del proyecto.

A Sud Sair Sierra por su colaboración y acompañamiento en el proceso.

Al Dr. Ewald Sieverding por su colaboración en el proceso de identificación de HMA.

A la laboratorista de Uniminuto Erika Moreno por su servicio y colaboración en la ejecución de los ensayos.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I. PROBLEMÁTICA

- 1.1. Pregunta problema
- 1.2. Problema concreto a resolver
- 1.3. Descripción del problema
 - 1.3.1. Antecedentes
 - 1.3.2. Situación actual del problema
- 1.4. Justificación
- 1.5. Objetivo General
 - 1.6.1. Objetivos específicos

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

- 2. Revisión de literatura
 - 2.1. Marco conceptual o definición de términos
 - 2.2. Marco legal o normativo
 - 2.2. Marco situacional
 - 2.3. Sistema teórico
 - 2.3.1. Revisión de fuentes teóricas
 - 2.3.2. Subtemas o categorías según necesidad
 - 2.4. Revisión de fuentes empíricas
 - 2.4.1. Subtemas o categorías según necesidad

CAPITULO III. METODOLOGÍA

- 3.1. Paradigma de la investigación

- 3.2. Tipo de investigación
- 3.3. Hipótesis o supuestos de investigación
- 3.4. Población, muestra o participantes
- 3.5. Diseño de la investigación
- 3.6. Instrumentos y técnicas
- 3.7. Procedimiento
- 3.8. Confiabilidad, validez y ética
- 3.9. Recursos y presupuesto
- 3.10. Cronograma general de actividades

CAPITULO IV. RESULTADOS

- 4.1. Resultados por instrumentos aplicados
- 4.2. Resultados por categorías para cada instrumento aplicado
- 4.3. Análisis y discusión de los resultados
- 4.4. Conclusiones
- 4.5. Recomendaciones

Referencias bibliográficas

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se han caracterizado por ser cosmopolitas, lo que indica que se encuentran distribuidos en la mayoría de los suelos, estableciendo asociaciones simbióticas mutualistas con gran parte de las plantas de interés económico productivo o forestal, contribuyendo con múltiples beneficios en el desarrollo y producción como lo indican algunos estudios al respecto. Además son reconocidos como un recurso biológico que a su vez reduce la aplicación de fertilizantes y químicos, que han sido aplicados de forma indiscriminada en el transcurso de los años, lo que ha ocasionado un desequilibrio ecológico que en la mayoría de los casos es de carácter irreversible. Por lo tanto los productos biológicos comerciales se han establecido como recurso ecológico para mitigar el impacto ambiental generado por los productos de síntesis química, sin embargo estos productos vendidos en el mercado como inóculos de micorrizas no cuentan con especificaciones de las especies vegetales que pueden ser beneficiadas. Motivo por el cual el presente estudio se realizó para identificar la especificidad existente entre cinco inóculos vendidos comercialmente en Colombia y las plantas de arveja (*Pisum sativum*), cultivo de gran importancia a nivel económico.

CAPITULO I.

PROBLEMÁTICA

1.PROBLEMA

¿Qué tan eficientes y específicos son los diferentes inóculos comerciales disponibles en Colombia con base en micorrizas arbusculares en el proceso de desarrollo y producción de plantas de arveja (*Pisum sativum*)?

1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son constituyentes esenciales de la microbiota nativa del suelo en ecosistemas y agroecosistemas (Robles, *et al.*, 2013), la simbiosis micorrízica arbuscular tiene

gran trascendencia ya que en diversos estudios se ha demostrado el efecto benéfico de los HMA, en el mejoramiento de la nutrición, crecimiento y adaptación de las plantas ante diversas condiciones de estrés y factores bióticos y abióticos (Vásquez, 2007). Aunque algunos estudios muestran que existe una cierta preferencia en la asociación de diversas plantas y hongos micorrícicos específicos (Douhan, *et al.*, 2005; Öpik, *et al.*, 2003). El establecimiento efectivo de la micorriza arbuscular, el porcentaje de asociación y el número de esporas dependen de factores como la existencia de una planta hospedera susceptible y los propágulos infectivos, así como la confluencia de factores físicos, químicos, biológicos, climáticos y de prácticas que favorezcan su formación y funcionamiento (Rivera, *et al.*, 2011). En este sentido, la compatibilidad de un inoculo de micorriza con la planta puede ser medido por experimentación (Brundrett, 2000), motivo por el cual mediante el desarrollo del presente trabajo investigativo se busca establecer la existencia de la especificidad y probar la eficiencia de las cepas encontradas en los inóculos y el desarrollo y producción de las plantas de arveja (*Pisum sativum*).

1.2.ANTECEDENTES

Las micorrizas son la asociación simbiótica entre hongos y plantas a nivel de raíz, las cuales son clasificadas principalmente en dos grupos como lo son las endomicorrizas o micorrizas arbusculares (MA) y las ectomicorrizas (EM). Por su parte los hongos que forman micorrizas arbusculares (HMA), son hongos que se asocian a las raíces de las plantas donde se lleva a cabo la simbiosis de intercambio de nutrientes para un beneficio mutuo. Están incluidas dentro de los biofertilizantes microbianos, como una alternativa para adicionar nutrimentos a los cultivos (Aguirre, 2006).

La utilización de hongos micorrizales se ha convertido en los últimos años en una técnica para estimular el crecimiento y la floración de plantas y árboles de una forma biológica, natural y ecológica (Keitaro y Massanorri, 1994). En etapa de vivero 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 (Sieverding y Barea, 1991).

El potencial de manejo de la micorriza arbuscular en la agricultura ha sido demostrado por numerosos trabajos realizados bajo condiciones de campo e invernadero, en los cuales se han evidenciado los efectos benéficos de su inoculación sobre la nutrición, crecimiento y producción de plantas de importancia agrícola como cacao (Cuenca, *et al.*, 1990), banano (Declerck, *et al.*, 1994; 1995), café (Estrada y Sánchez, 1995), pimentón (Estrada-Luna y Davies, 2003; Kim, *et al.*, 2002), yuca y lechuga (Cuenca, *et al.*, 2007), entre otros. Se reportan múltiples experiencias a cerca de los beneficios de las MA sobre manzana y durazno (Azcón y Barea, 1988) y especies frutales (Gadar, Acuasthi, y Kaith, 1996; Lovelock, Kylló, *et al.*, 1997), citados por Corredor, 2002), palma de aceite (Azzizah, 2004), aguacate (Menge, *et al.*, 1980), citados por Hernández, 2004), Frijol (Galindo, 2008), papaya (Vásquez, 2011), donde frecuentemente se compara el crecimiento de plantas micorrizadas, con el de las no micorrizadas, el crecimiento de las raíces, el peso de la raíz, el área foliar y la velocidad de crecimiento.

La efectividad de los HMA nativos puede ser mayor en comparación con la de los HMA introducidos debido probablemente, a una mayor adaptación al medio, sin embargo, algunos estudios han mostrado resultados contradictorios. Mientras algunos resultados señalan que en

comparación al inóculo introducido, los nativos pueden provocar una mejor respuesta de crecimiento de las plantas (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993), otros estudios han hallado que en algunas especies de plantas los hongos introducidos fueron más eficientes que el inóculo nativo (Caravaca, *et al.*, 2005). Cualquiera que sea el caso, la eficiencia puede ser incrementada ya sea por manejo cultural de los hongos nativos de un determinado suelo, o por la introducción de hongos más eficientes (Cuenca, *et al.*, 2007; Gazey, *et al.*, 2004; Sieverding, 1991).

En Colombia, los estudios realizados han estado relacionadas con los beneficios de la simbiosis en diferentes hospederos, especialmente en aspectos de productividad, nutrición vegetal y sustitución de fertilizantes, lo cual ha permitido determinar el potencial de uso de estos microorganismos en sistemas de producción convencional o en sistemas de producción limpia (Rey, *et al.*, 2005).

Para el uso como insumo en la agricultura sirven las especies de HMA seleccionadas por su eficacia, lo cual debe ser comprobado con anterioridad (Raddatz, 2008). En inóculos comerciales como Mycoral (Honduras), se basan en el uso de complejos de tres cepas de HMA, como son *Acaulospora* sp. (M8), *Entrophospora* sp. (SE3) y *Glomus* sp. (M7). En Colombia, las empresas que producen inoculantes con micorrizas y que están registradas ante el ICA, en su mayoría no presentan mayor información sobre los agentes activos a excepción de empresas como (Biornata) con *Glomus* spp., *Acaulospora* spp y *Entrophospora* spp, (Supelanoprada y cia) con *Glomus* spp., *Acaulospora* spp., *Entrophospora* spp y *Gigaspora* spp y (Abonamos) con *Glomus* sp., *Entrophospora* sp y *Scutellospora* sp (ICA, 2014).

Más centrados en las relaciones simbióticas con leguminosas, éstas han estado enfocadas principalmente en su asociación con *Rhizobium* conjuntamente con micorrizas las cuales han posibilitado incrementos en el crecimiento y rendimiento de ejemplares como la soya y el frijol (Corbera, 1998), además de establecer asociaciones de gran importancia tanto en la agricultura, como en ecosistemas naturales ya que conlleva a un aumento significativo del nitrógeno disponible para las plantas y es la principal forma de incorporar el nitrógeno atmosférico a los suelos (Ernst, 2004), lo cual demuestra que las plantas micorrizadas crecen mejor que las no micorrizadas en suelos con bajos contenidos de fósforo disponible, habiéndose reportado altos incrementos en el rendimiento (Saif, 1977; Tinker, 1978; Fortín, *et al.*, 2002), sin embargo no se han encontrado estudios para la arveja que evidencien que el uso de HMA, tenga beneficios en este grupo de leguminosas.

1.2.1. ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

Las asociaciones micorrízicas son cosmopolitas, por su presencia en la mayoría de los hábitats naturales terrestres, y ubicuas, por el amplio número de familias de plantas susceptibles de ser micorrizadas (Hernández, *et al.*, 2003). Aparentemente no existe especificidad taxonómica; es decir, cualquier planta hospedera puede establecer la simbiosis con cualquiera de las especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) descritas hasta el presente (Cuenca, 2007). Sin

embargo, evidencias recientes obtenidas con técnicas moleculares (Vandenkoornhuyse, *et al.*, 2002) indican que las plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA en base a sus efectos diferenciales sobre el crecimiento vegetal. Aunque esta especificidad no es absoluta, puede influir de un modo importante, no solo en la productividad de las comunidades vegetales (van der Heijden, *et al.*, 1998), por lo tanto es necesario encontrar el grado de especificidad del inóculo micorrízico arbuscular para establecer la eficiencia que pueden tener estos productos comerciales sobre las especies a cultivar.

En la actualidad se han empezado a generar estudios para encontrar la compatibilidad entre la diversidad de HMA y las diferentes plantas de interés productivo comercial, buscando de esta manera hallar la especificidad de la asociación y el beneficio que cada especie de HMA presenta hacia el cultivo mediante una aproximación a través de los consorcios existentes en los inóculos comerciales. Smith y Gianinazzi-Pearson (1988) acuñaron el término “compatibilidad funcional” para indicar la expresión fenotípica de un hongo MA como resultado de la influencia del ambiente sobre la expresión genotípica de ambos simbioses, planta y hongo. Aunque en sistemas experimentales las incompatibilidades de las combinaciones planta-HMA son escasas, ello suele ser más frecuente en condiciones naturales. La razón es que generalmente un determinado hongo está adaptado a condiciones ambientales determinadas y su introducción en ecosistemas diferentes puede provocar “inadaptaciones” al medio (Brundrett, 1991; Rillig y Mummey, 2006).

1.2.2.JUSTIFICACIÓN

La arveja es fuente de proteína en la alimentación y nutrición, aporta entre el 8,9 y el 22,5% de proteína de la porción comestible, en grano verde y seco respectivamente (Universidad Nacional de Luján, 2004). Económicamente hablando, las cifras de la FAO para el 2008 indican que la producción mundial de arveja verde (incluidos los guisantes), fue de 8,4 millones de toneladas, siendo China el primer productor, seguido de India y Estados Unidos, mientras Colombia figuró en el puesto 25 entre los 95 países productores de arveja fresca . El mismo año se transaron en el mercado mundial 228.000 toneladas de arveja fresca, siendo Bélgica, Estados Unidos, Holanda, Japón, Reino Unido y Malasia los principales importadores de arveja verde; mientras los principales exportadores son Guatemala, Francia y China (FAO 2008).

En Colombia el cultivo de arveja ha sido por varios años el regulador de la economía de pequeños y medianos productores de zonas andinas, y su producción se concentra en Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Tolima (Buitrago, *et al.*, 2006). Se cultiva en 22 departamentos, siendo Nariño y Cundinamarca los principales productores, con 51 y 19% respectivamente (DANE 2011). Este cultivo está destinado en un 95% al consumo directo humano y animal como grano rico en proteína y el 5% restante a la producción de arveja seca como semilla, constituyéndose en un alimento básico en la canasta familiar y su valor se refleja en el Índice de Precios al Consumidor (IPC) (Arjona, 1977; MADR, 2005; Buitrago, *et al.*, 2006).

Los cultivos convencionales se basan en la aplicación fertilizantes químicos para mejorar la nutrición vegetal, ocasionando el deterioro de las características químicas, físicas y biológicas de los suelos, la desaparición de la capa arable, entre otros problemas que en la mayoría de los casos son de carácter irreversible y conllevan a la reducción de su capacidad productiva (Chantal, *et al.*, 1998). A este respecto, en los últimos años, los biofertilizantes se han convertido en una alternativa para mejorar el rendimiento de los cultivos a través de un mejor suministro de nutrientes al medio ambiente, favoreciendo el desarrollo de una agricultura ecológicamente sostenible, permitiendo una reducción en los costos de producción, hasta en un 20% a largo plazo, si la respuesta de las plantas ante las micorrizas es de alta dependencia; siendo una alternativa amigable con el medio ambiente y que garantiza la conservación del suelo con respecto a su fertilidad y biodiversidad (Alfonso, *et al.*, 2005). En sentido estricto, la eficiencia simbiótica de HMA resulta interesante por la capacidad de la asociación en satisfacer los requerimientos de P, N, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu a la planta hospedera (Keitaro y Massanorri, 1994; Hodge, *et al.*, 2001), y en proveer resistencia ante condiciones de sequía en estrés hídrico y protección contra patógenos radiculares (Azcón- Aguilar y Barea 1996; Smith, *et al.*, 2010).

La asociación denominada Micorriza Arbuscular es reconocida como un recurso biológico de gran utilidad para la producción vegetal que a la vez reduce la aplicación de fertilizantes y plaguicidas (López, *et al.*, 2002).

Los estudios de Klironomos et al (2003) y Pellegrino (2011) indican que el inóculo nativo brinda mejores resultados cuando se utiliza en las plantas propias de la región, mientras que los inóculos foráneos brindan un menor beneficio. Por otro lado las respuestas de las plantas ante el inóculo monoespecífico o comunidades de HMA (Rodríguez 2004; Trejo, *et al.*, 2011) pueden ser contradictorios, pero en la mayoría de los casos indican que las plantas se asocian preferencialmente con algunas especies de HMA en las diferentes etapas de desarrollo fenológico (Husband, *et al.*, 2002). Lo anterior indica que cada especie vegetal tiene una posible especificidad de asociación con una o varias especies, la cual la hace más eficiente en cada etapa de desarrollo y donde asociaciones adicionales pueden hacer que la relación no sea tan eficiente (Herrera-Peraza, *et al.*, 2011).

Por otro lado, los inóculos comerciales son poco claros en las especies de HMA que contienen y solo brindan información de géneros presentes como una generalización de su eficiencia (ICA 2011). El uso de inóculos adecuados de micorrizas incrementa la probabilidad de utilizar productos comerciales de forma más específica para el desarrollo y en este caso para la producción de las plantas de arveja.

Las micorrizas son planteadas como una de las alternativas de producción limpia y de calidad, el encontrar cuales de los bioinsumos con base en estos microorganismos es más eficiente en la producción de arveja, permitirá dar una orientación más clara del uso de estos productos comerciales en la agricultura. Lamentablemente no hay estudios similares realizados hasta el momento con arveja, leguminosas o ningún tipo de cultivos, ya hasta ahora se están promoviendo estos estudios por iniciativa del Dr. Ewald Sieverding (Sieverding, com. Pers.).

La importancia agroecológica y económica de utilizar las mejores cepas reside en obtener los mejores resultados en el desarrollo y producción de la especie a evaluar; en comparación a inóculos biológicos no específicos vendidos comercialmente que pueden implicar menor beneficio. Por otra parte los productos de síntesis química aunque pueden generar resultados similares en cuanto al desarrollo, a diferencia de los biológicos pueden implicar mayores costos.

1.3.OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia y los agentes activos de los diferentes inóculos comerciales con base en HMA en el desarrollo y productividad de la arveja (*Pisum sativum*) con el fin de establecer cuáles son las comunidades más eficientes asociadas en estos procesos vegetales.

1.3.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Asociar la composición de HMA presentes en los inóculos con la especificidad en la asociación en plantas de arveja (*Pisum sativum*).

Evaluar el efecto de los diferentes inóculos comerciales con base en micorrizas en el proceso de crecimiento y desarrollo en las diferentes fases vegetativas de las plantas de arveja.

CAPITULO II.

2.MARCO TEÓRICO

2.1.GENERALIDADES DE LA ARVEJA (*Pisum sativum*)

La arveja es una leguminosa perteneciente a la división Magnoliophyta, familia de las *Fabaceae*, subfamilia Papilionoidea incluida dentro del género *Pisum* y especie *P. sativum*. Se caracteriza por ser una planta herbácea con una altura promedio de 90 cm. Presenta hojas paripinnadas, con uno a tres pares de folíolos que pueden ser elípticos o suborbiculares, zarcillo terminal ramificado y estípulas semiamplexicaules grandes, mayores que los folíolos. Flores solitarias o inflorescencias con el estandarte y la quilla con coloradas (blancas, rosadas y lilas) y alas de color púrpura a blanquecinas. El fruto se encuentra en una vaina alargada de aproximadamente 7 cm con 5 a 10 semillas en promedio; las vainas pueden ser romas o puntudas y contener granos lisos (con gran contenido de almidón) o granos arrugados (dulces). Esta leguminosa se caracteriza por contener gran cantidad de carbohidratos y proteínas por unidad de peso, siendo una de las fuentes más importantes de sacarosa, aminoácidos, entre ellos lisina, constituyentes minerales (P-Fe) y vitaminas especialmente B1 (Faiguenbaum, 1993; FENALCE, 2009). El hábito de crecimiento de las variedades cultivables es indeterminado. Según la escala BBCH (Bundesanstalt, Bundessortenamt, Chemical) (Meier, 2001), el desarrollo fenológico de la planta de arveja se puede describir con los siguientes estadios: germinación, desarrollo de hojas,

crecimiento longitudinal de entrenudos, aparición del órgano floral, floración, formación y maduración de vainas y senescencia.

Se adapta a alturas entre los 2200 y 3000 m, se puede cultivar en clima frío produciendo entre 900 y 1200 kg /ha por año, a partir de 60 a 80 kg/ha de semilla (Sánchez y Mosquera, 2006). Su óptimo desarrollo lo alcanza con precipitaciones entre 1200 y 2000 mm anuales y una temperatura media anual de 5 a 18°C. Es resistente a las heladas y es poco tolerante a la sequía; se desarrolla favorablemente en terrenos con pH neutro (≥ 6), suelos sueltos y aireados; por el contrario en suelos con texturas pesadas y mal drenados, puede afectar su desarrollo y por ende la producción (SEMICOL, 2009).

Los mayores limitantes en la producción de la arveja se ven reflejados en el incremento de costos de producción ya que este cultivo requiere de altas dosis de fertilizantes que suplan las necesidades nutricionales de las plantas, debido a la baja productividad de los suelos en que se establecen generalmente estos cultivos, con bajos contenidos de nitrógeno disponible, baja mineralización de la materia orgánica y a las altas tasas de pérdida de nitrógeno por lixiviación o volatilización. El nitrógeno es uno de los macronutrientes más importantes seguido del fósforo y potasio, ya que se estima que una cosecha de dos toneladas de grano de arveja por hectárea, extrae alrededor de 125 kg de nitrógeno, 30 kg de fósforo (P_2O_5) y 75 kg de potasio (K_2O).

2.2.LA ARVEJA EN COLOMBIA

El cultivo de arveja en Colombia está destinado en un 95% al consumo directo humano y animal como grano rico en proteínas que además aporta una cantidad importante de vitaminas, aminoácidos, carbohidratos, lípidos y minerales como calcio, hierro, fosforo, potasio y sodio (Lobo, *et al.*, 1989) y el 5% restante a la producción de arveja seca como semilla, constituyéndose en un alimento básico en la canasta familiar; su valor se refleja en el Índice de Precios al Consumidor (Arjona, 1977; MADR, 2005; Buitrago, *et al.*, 2006). Se cultiva también como leguminosa para uso como forrajes, destacándose como una fuente importante de sacarosa y aminoácidos, entre ellos lisina (Forero, 2006). La cosecha nacional está orientada a satisfacer la demanda de producto en fresco, mientras que la demanda del producto seco se cubre con importaciones, provenientes de Canadá. En los años 2000 a 2003 Colombia sembró en promedio año 21.150 ha con un rendimiento de 57.842 t (Fenalce, 2004), en el 2007 se sembraron cerca de 27.000 ha (Gómez, 2008). La tasa de crecimiento del consumo interno de la arveja es del 1,4% anual (CCI, 2000).

En Colombia la arveja se cultiva en 22 departamentos, siendo Nariño el mayor productor con un 51%, Cundinamarca 19%, Boyacá 17% y el resto del país 13%, como lo indica la tabla 1, (DANE 2011). Actualmente el material sembrado predominante, es el cultivar Santa Isabel ya que satisface los requerimientos del mercado y ocupa casi toda el área sembrada en arveja del país (FENALCE, 2002), adaptada a altitudes entre 2.200 y 3.000 metros, se cosecha entre 115 y 145 días en verde y hasta 160 días en seco, sus rendimientos fluctúan entre 1200 kg/ha de grano seco y 5000 kg/ha de grano verde (Sánchez y Mosquera, 2006).

Tabla 1. Área cosechada y producción del cultivo de arveja en Colombia para el año 2011.

Departamento	ÁREA SEMBRADA (Hectáreas)			PRODUCCIÓN (Toneladas)		
	Semestre A	Semestre B	Total	Semestre A	Semestre B	Total
Total	5.570	16.748	22.318	21.785	65.163	86.948
Boyacá	660	2.350	3.010	1.107	8.083	9.190
Cundinamarca	525	2.918	3.443	1.171	10.247	11.418
Nariño	3.741	10.068	13.809	17.692	42.487	60.178
Tolima	131	378	509	367	885	1.253
Otros Departamentos	513	1.034	1.547	1.450	3.461	4.911

Fuente: DANE 2011.

2.3.GENERALIDADES DE LAS MICORRIZAS

Los HMA son un grupo muy selecto de hongos que pertenecen al Phylum Glomeromycota (Schuβler, *et al.*, 2001). La asociación de plantas-hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) data de más de 400 millones de años y se considera que la colonización de ecosistemas terrestres por las plantas se debe, en parte, a la alta capacidad de adaptación de la asociación a diversos ecosistemas (Remy, *et al.*, 1994; Bonfante y Genre, 2008). Los hongos Glomeromycota tienen la capacidad de desarrollar una red de hifas fuera de la raíz que se extiende en el suelo, proporcionando una superficie extra de absorción de nutrientes a la misma (Cuenca, *et al.*, 2007).

Las micorrizas son asociaciones mutualistas muy evolucionadas entre los hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares, que favorecen la captación de nutrientes y agua debido a que alcanza un mayor volumen exploración de suelo dejándolo accesible al sistema radical, teniendo a su vez un rol de gran importancia en la absorción de fósforo (P) (Barbagelata y Melchiori, 2010), además se encuentran incluidas dentro de los biofertilizantes microbianos, como una alternativa para adicionar nutrimentos a los cultivos (Aguirre, 2006). La utilización de hongos micorrizales se ha convertido en los últimos años en una técnica para estimular el crecimiento y la floración de plantas y árboles de una forma biológica, natural y ecológica (Keitaro y Massanorri, 1994). En etapa de vivero 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 (Sieverding y Barea, 1991).

Los HMA tienen la capacidad de penetrar en las raíces y establecer una asociación intracelular, simbiótica y mutualista (Schussler, *et al.*, 2001). En esta interacción los hongos captan y transportan fosfatos y otros nutrientes del suelo a la planta y éstas ceden carbohidratos al hongo (Herrera, *et al.*, 2004). Otros de los beneficios de la simbiosis son la tolerancia de la planta al estrés, el mejoramiento de características físicas del suelo y el favorecimiento de diversificación de especies vegetales en ecosistemas, originando múltiples efectos positivos para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Smith y Read, 2008), entre los beneficios previamente identificados se encuentra que las micorrizas:

- ✓ Aumentan de la capacidad de absorción de fósforo y nutrientes de lenta difusión en el suelo reduciendo su dependencia a fertilizantes.
- ✓ Aumentan en la tolerancia a periodos de sequía y al déficit hídrico.
- ✓ Presentan aumento en la tolerancia al aluminio, a la toxicidad por metales pesados y contaminantes orgánicos.
- ✓ Potencialmente incrementan el crecimiento de la planta y la uniformidad en cultivos.
- ✓ Actúan sinérgicamente con bacterias fijadoras de nitrógeno y microorganismos solubilizadores de fósforo, estableciéndose una relación tripartita.
- ✓ Aumentan en la tolerancia de las raíces a patógenos del suelo (nematodos, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* y otros).
- ✓ Aumentan en la agregación del suelo mejorando su estructura mediante la producción de glomalina, glicoproteína que actúa como un pegante natural de las partículas del suelo. Además, la glomalina constituye un componente importante de la materia orgánica del suelo y es clave para el almacenamiento de carbono en el suelo.
- ✓ Funcionan como un mecanismo de restauración ecológica de los suelos.
- ✓ Aumentan la biodiversidad vegetal en el ecosistema como producto de la diversidad de especies de HMA.

El interés del estudio de los HMA está motivado, no sólo por el alto número de especies vegetales que las poseen, sino por el hecho de que, las raíces permanecen vivas en el suelo y constituyen una extraordinaria fuente de inóculo para otras plantas (Hayman, 1982), ya que son capaces de mantener un potencial de infección permanentemente elevado y activo en el suelo (López, *et al.*, 2002).

Entre los factores que pueden afectar la estructura y diversidad de comunidades de HMA son las poblaciones de otros microorganismos de suelo (Garbaye, 1994). La fertilización excesiva principalmente con fosfatos, el uso no controlado de fungicidas y herbicidas puede hacer disminuir o hasta desaparecer el potencial micorrízico del sistema (Barea y Azcón, 2001), las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego y labranza (Jansa, *et al.*, 2003) y en forma indirecta el microclima y la topografía que afectan a las comunidades de plantas y por tanto afectan a las comunidades de HMA (Kernaghan, 2005).

Las principales fuentes de inóculo de HMA están amplia y uniformemente distribuidas en los 10 cm superficiales del suelo (Pattinsib, *et al.*, 1990); corresponden a las esporas, el micelio externo de los HMA y a las raíces previamente colonizadas de plantas coexistentes o fragmentos de las

preexistentes. Se acepta que los fragmentos de raíz micorrizadas son el inóculo más infectivo, pero las esporas aisladas, por su capacidad de supervivencia y mayor tolerancia a las situaciones adversas, son las principales responsables de perpetuar los HMA (Barea, *et al.*, 1991). No existe un estímulo único para la producción de esporas en los sistemas tropicales con fotosíntesis continua durante el año y crecimiento asiduo de las raíces (Sieverding, 1991). Su uso clave radica en que, su cuantioso micelio intra y extra radical, forma un enlace o puente entre las raíces de las plantas y el suelo a la hora de la nutrición (Blanco y Salas, 1997).

2.3.1 Las micorrizas y las plantas

Se puede decir, que las plantas y los hongos que forman micorriza, evolucionaron de manera paralela y dieron como resultado diferentes grados de interdependencia. Actualmente se reconoce que casi el 90% de las plantas (90%) necesitan en mayor o menor grado estar colonizadas para captar nutrimentos y crecer adecuadamente (Aleman, 2006)

Para que se forme un sistema micorrízico en un medio natural deben existir dos condiciones, la presencia de una planta susceptible y de un propágulo en el medio. En condiciones naturales la mayoría de las plantas están colonizadas, razón por la cual esta simbiosis ocupa una posición ecológica única, ya que los hongos parcialmente están dentro de la planta y al mismo tiempo fuera de ella (Bagyaraj, 1984), las hifas externas del hongo proporcionan a la planta más posibilidades de contacto con superficies de partículas insolubles de nutrimentos, por lo que hay muchas más posibilidades de que estos puedan ser captados (Cress, *et al.*, 1979).

2.3.2. INOCULOS

Como inoculante biológico se entiende aquel producto biológico que posibilita la introducción de microorganismos con diversidad de funciones fisiológicas que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ferrera, *et al.*, 2006). El inoculante puede tener diferentes presentaciones, ya sea líquido o sólido en los que se utilizan sustratos como la turba, el carbón activado, aceites, alginatos y otros soportes orgánicos e inorgánicos (Vázquez Del Llano, 2007). La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares, puede realizarse de varias maneras. Además del inóculo producido en el suelo, se ha ensayado e incluso patentado la producción de inóculo en diversos sustratos que por lo general implican o no las mezclas de turbas y otros elementos, sino también en medio líquido. A pesar de esto, el agricultor debe ser muy cuidadoso a la hora de comprar productos a base de hongos micorrízicos que tengan que ver directamente con la seriedad de la empresa que los fabrica (Villalba y Rodríguez, 2000).

La efectividad de los HMA nativos puede ser mayor en comparación con los HMA introducidos debido probablemente, a una mayor adaptación al medio, sin embargo, algunos estudios han mostrado resultados contradictorios. Cuando la planta se asocia con el hongo para formar la micorriza arbuscular (MA), se aumenta el fósforo absorbido de la solución del suelo por estas

plantas hospederas, debido a que las hifas del hongo se extienden y exploran una mayor área del suelo comparada con la de los pelos radiculares (Tovar Franco, 2006).

CAPITULO III.

MÉTODOS

3.1.Sitio de trabajo

La evaluación se realizó bajo cubierta plástica, en el barrio Normandía de la ciudad de Bogotá D.C. Colombia, la cual se encuentra ubicada a los 2.630 m.s.n.m, precipitación media anual de 1.013 mm, con una temperatura media anual de 14°C y humedad relativa media anual del 72%, <http://www.udistrital.edu.co/universidad/colombia/bogota/caracteristicas/> . La siembra se realizó el día 19 de agosto del 2014, cosechando a los 110 días después de la germinación.

3.2.Consecución de inóculos y semillas

El ensayo se realizó con cinco inóculos comerciales con base en HMA y un testigo, para un total de seis tratamientos, con cinco réplicas en un diseño completamente al azar. Los inóculos comerciales se obtuvieron por compra directa a los proveedores de nivel local los cuales fueron los siguientes: Fungifert, Safer, Micorrizar con la composición registrada (Figura 1) y dos muestras de Sevilla-Valle.



Figura 1. Inóculos con composición registrada

Las semillas de arveja manejadas en el proyecto, pertenecen a la variedad santa Isabel, semilla certificada y obtenida en Semicol debido a que esta especie una de las más cultivadas en Colombia, se adapta bien entre 2.200 y 3.000 msnm y se cosecha entre los 115 y 145 días en verde y a los 160 días en seco, motivo por el cual esta variedad fue la seleccionada.

3.3.Preparación del sustrato, siembra e inoculación

Como sustrato para el desarrollo del experimento se utilizaron materas de aproximadamente 1 kg de capacidad; se usó una mezcla de suelo y arena, ambos esterilizados por separado en autoclave a 121°C y 15 psi por una hora y dos repeticiones. Una vez esterilizados se procedió a realizar la mezcla en proporción 1:1 garantizando el drenaje del agua (Sánchez de Prager, *et al.*, 2010). Posteriormente se realizó el análisis de suelo en el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), donde se determinó, la capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, sodio, fósforo, aluminio de cambio, saturación de bases, carbón orgánico, textura y pH (Q1) y análisis de fósforo total en el suelo (Q11).

Luego de obtener el sustrato óptimo para la ejecución del experimento, se procedió en el proceso de inoculación de las semillas de arveja, con 10 gr de inóculo por cada matero. La siembra se desarrolló mediante la adición y distribución del inóculo en un punto sobre el sustrato, para luego dar lugar a la postura de diez semillas de la variedad Santa Isabel, sobre el inóculo de HMA y posteriormente ser cubierta por una mezcla suelo y arena. El inóculo consistió en el producto comercial a una concentración entre 79 y 504 esporas por gramo, de acuerdo a las valoraciones iniciales de la concentración de cada producto, garantizando la homogeneidad en la concentración de todos los inóculos, (Figura 2).



Figura 2. Inoculación de semillas

Con base en el análisis de suelo realizado con el suelo previamente esterilizado, se realizó el balanceo de suelo al mes de la siembra con el fin de aportar a los nutrientes, N, K, Ca, P, S, Mg (Tabla 2) agregando 50 ml de la solución a cada uno de los materos.

Tabla 2. Composición de la solución nutritiva de Hoagland, modificada para el cultivo de plantas.

Compuesto	molecular Peso	Concentración de la solución	Concentración de la solución	Solución por litro de solución Volumen de valores	Elemento	Concentración final de los elementos	
						μM	Pp m
Macronutrientes	g mol^{-1}	mM	gl^{-1}	ml	E	μM	Pp m
KNO_3	101.10	1,000	101.10	6.0	N	16,000	224
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	236.16	1,000	236.16	4.0	K	6,000	235
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115.08	1,000	115.08	2.0	Ca	4,000	160
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.48	1,000	246.49	1.0	P	2,000	62
					S	1,000	32
					Mg	1,000	24
Micronutrientes							
KCl	74.55	25	1.864	2.0	Cl	50	1.77
H_3BO_3	61.83	12.5	0.773	2.0	B	25	0.27
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	169.01	1.0	0.169	2.0	Mn	2.0	0.11
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	287.54	1.0	0.288	2.0	Zn	2.0	0.13
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	249.68	0.25	0.062	2.0	Cu	0.5	0.03
H_2MoO_4 (85% MOO3)	161.97	0.25	0.040	2.0	Mo	0.5	0.05
NaFeDTPA(10% Fe)	558.50	53.7	30.0	0.3-1.0	Fe	16.1 - 53.7	1.00 - 3.00
Opcional *							

NiSO ₄ .6H ₂ O	262.86	0.25	0.066	2.0	Ni	0.5	0.03
Na ₂ SiO ₃ .9 H ₂ O	284.20	1.000	284.20	1.0	Si	1.000	28

Fuente: After Epstein 1972.

Después del estado de emergencia de las plantas se procedió a realizar la homogenización de las materas como unidad experimental, dejando solamente cinco plantas y posteriormente realizando la marcación de cada uno de los ejemplares, para dar paso a la toma de datos de análisis de desarrollo y crecimiento y, de esta manera evitar la competencia por nutrientes entre plantas.

Para el cumplimiento del primer objetivo fue necesario realizar la evaluación de la composición del inoculo.

Con los inóculos se desarrollaron dos valoraciones, la primera corresponde a la concentración de esporas de HMA o conteo total de esporas, la cual se realizó mediante el procedimiento de tamizaje húmedo y decantación propuesto por Sieverding (1989) en el CIAT, a partir de una muestra de 10 g de sustrato.

La segunda valoración es la diversidad de especies de HMA, la cual se realizó a partir del conteo de esporas descrito anteriormente. Las esporas se procederán a aislar y montar en portaobjetos con PVGL para la valoración taxonómica de las especies, esta determinación se efectuó a partir de claves actualizadas de Glomeromycota del 2008 al presente y con apoyo de las páginas del INVAM (<http://invam.wvu.edu/>) y de Januz Blazkowski (<http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/index.html>).

cumplir con el segundo objetivo se realizó la evaluación de crecimiento y producción de las plantas de arveja.

Las variables a evaluar en cuando al desarrollo y crecimiento fueron:

3.3. Altura de la planta

Para la evaluación de esta variable, la medida fue realizada con cinta métrica, a partir de la base de las plantas hasta el ápice de cada uno de los cinco ejemplares contenidos en cada matero para un total de 150 plantas, la evaluación fue realizada con frecuencia mensual.



Figura 3. Medición de las plantas

3.3.2. Numero de hojas

Se realizó de manera mensual a la par del crecimiento en altura, partiendo de la hoja cero hasta el último brote producido por las plantas de arveja, hasta el día de recolección de la cosecha.

Las variables de producción de cosecha fueron:

3.3.3. Número de vainas por planta

Se realizó el conteo directo del número de vainas para cada una de las plantas sembradas.

3.4. Peso de vainas por planta

Se realizó por medio de la balanza digital donde se obtuvo el peso con precisión en miligramos para cada una de las vainas producidas por las plantas de arveja.

3.4.1. Número de granos por vaina

El número de granos por vaina fue registrado en el momento de la cosecha. Para ello, se tomó los granos contenidos en las vainas producidas por las plantas con su respectivo tratamiento.

3.4.2. Peso fresco de frutos

Se determinó en el momento de la cosecha con la implementación de la balanza digital donde se obtuvo el peso con precisión en miligramos por cada uno de los granos por vaina producidos por las plantas.

3.4.3. Peso seco de frutos

Posteriormente luego de la medida de peso fresco, se procedió a dejar la semilla al aire libre por un lapso de un mes aproximadamente para dar lugar a la medida del peso seco mediante la balanza digital con precisión en miligramos para cada una de los granos por vaina producidos por las plantas.

3.4.4. Peso fresco de las plantas

Se determinó la medida de peso mediante la balanza digital con precisión en miligramos para cada una de las plantas después de la cosecha.

3.4.5. Peso seco de las plantas

Esta medida se realizó un mes después de la medida de peso fresco donde se procedió a dejar las plantas al aire libre dando lugar al peso por medio en la balanza digital con precisión en miligramos para cada una de las plantas producidas.

3.5. Análisis de datos

Primer objetivo: Con el propósito de evaluar la influencia de la composición de las morfoespecies de HMA presentes en los inóculos y los parámetro de crecimiento y producción se realizaron dos aproximaciones, la primera a través de tablas de contingencia y la segunda por medio de un análisis de similitud de diversidad (ANOSIM) entre inóculos.

Segundo objetivo: para evaluar el efecto de los diferentes inóculos en el crecimiento y producción se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía (Zar, 1999) donde las variables de discriminación son los inóculos y las variables respuesta corresponden a los parámetros de desarrollo, crecimiento y producción por separado. Previamente se realizó pruebas de homocedasticidad y homogeneidad de varianzas para cada variable respuesta. Para el crecimiento de las plantas se realizó ANDEVA de una vía para cada lapso de tiempo, debido a que por falta de normalidad no se realizó análisis de Medias repetidas.

CAPITULO IV.

4. RESULTADOS

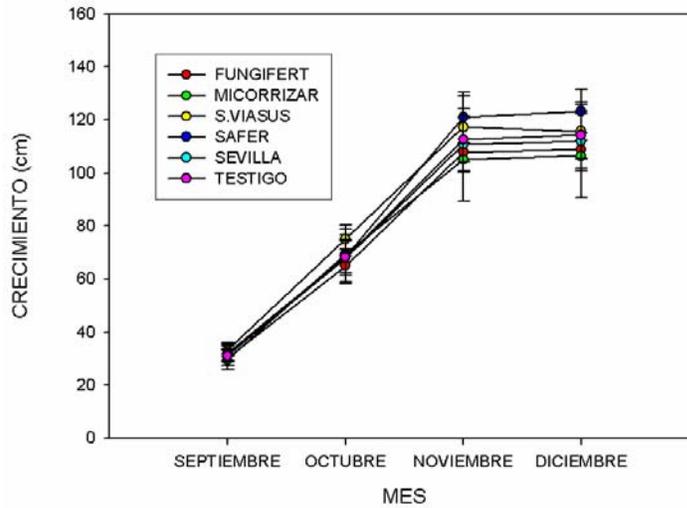
4.1. Crecimiento y producción

Las variables evaluadas en cuanto al desarrollo y producción de la arveja fueron las siguientes:

Tabla 3. Valores de F, P y g.l. de los análisis de varianza para las variables evaluadas.

Variab les	F	P	g.l.
Crecimiento			
Altura de plantas			
Septiembre	F = 0.995	0.442	5
Octubre	F = 1.089	0.392	5
Noviembre	F = 1.407	0.257	5
Diciembre	F = 1.461	0.239	5
Número de hojas	F = 1.894	0.133	5
Producción			
Número de vainas	F = 3.964	0.009	5
Peso de vainas	F = 3.964	0.009	5
Número de frutos	F = 1.828	0.145	5
Peso fresco de frutos	F = 3.255	0.022	5
Peso seco de frutos	F = 1.710	0.171	5
Peso fresco de plantas.	F = 1.950	0.123	5
Peso seco de plantas.	F = 1.487	0.231	5

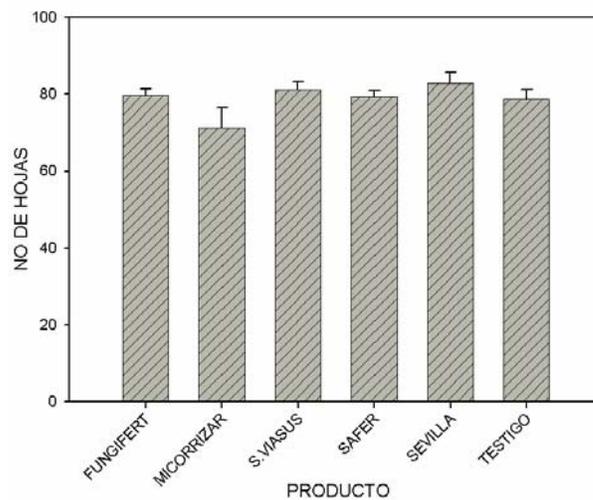
4.1.1. Altura de las plantas



Gráfica 1. Crecimiento mensual de plantas de arveja fertilizadas con cinco inóculos comerciales.

El crecimiento en altura de las plantas de arveja, no presento diferencias significativas para ninguno de los tratamientos evaluados (Gráfica 1, Tabla 3).

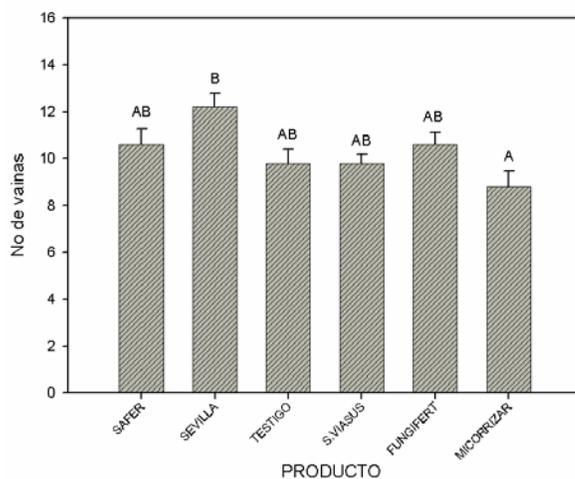
4.1.2. Número de hojas



Gráfica 2. Número de hojas de las plantas de arveja fertilizadas con cinco inóculos comerciales.

El número de hojas de las plantas de arveja, no presento diferencias significativas para ninguno de los tratamientos evaluados (Grafica 2, Tabla 3).

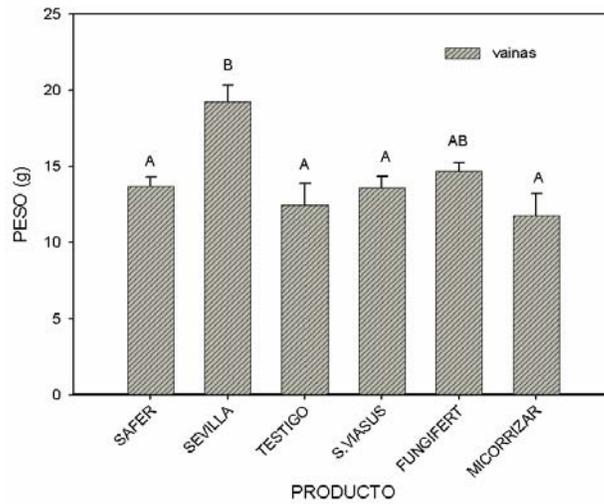
4.1.3. Número de vainas



Grafica 3. Número de vainas producidas por plantas de arveja sometidas a diferentes inóculos comerciales.

El número de vainas presentes en la plantas de arveja con respecto a los tratamientos presentó diferencias significativas entre el tratamiento de Sevilla (B) y el tratamiento de Micorrizar (A), (Grafica 3, Tabla 3).

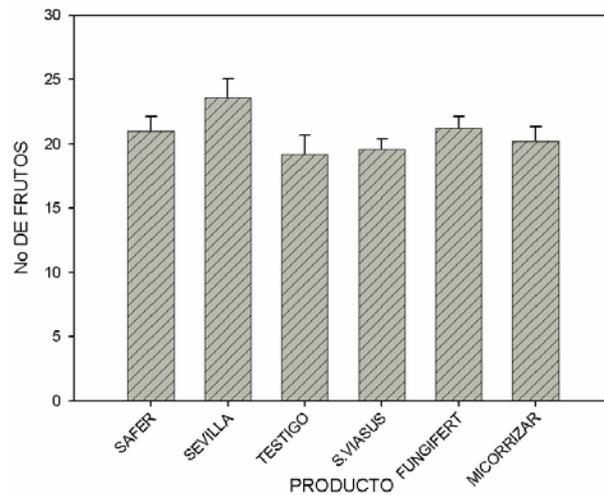
4.1.4. Peso de vainas



Grafica 4. Peso de vainas producidas plantas de arveja sometidas a diferentes inóculos comerciales

El peso de las vainas producidas por plantas de arveja , presentó diferencias significativas entre sevilla (B) y micorrizar (A), para los demás tratamientos no se evidencian diferencias significativas (Grafica 4, Tabla 3).

4.1.5. Número de frutos



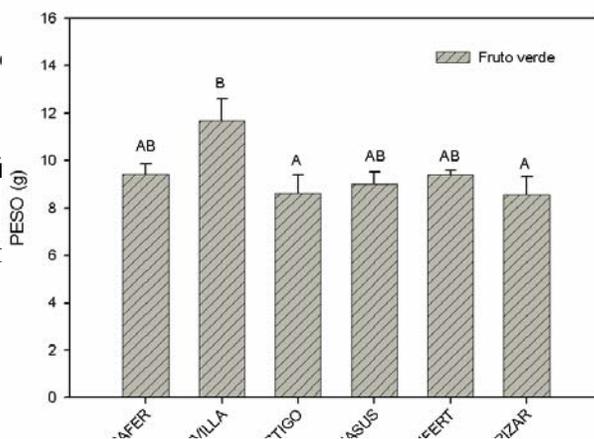
Grafica 5. Número de frutos producidos por plantas de arveja sometidos a diferentes inóculos comerciales.

El número de frutos producidos por plantas de arveja, no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Grafica 5, Tabla 3).

4.1.6. Peso fresco de frutos

Grafica 6. Peso fresco

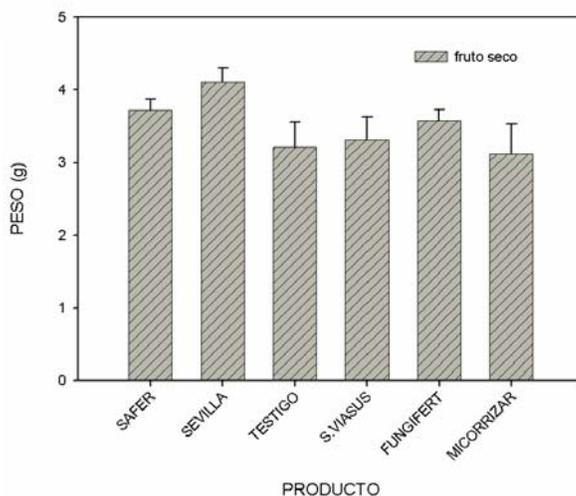
El peso fresco de los frutos de arveja en los tratamientos SAFER, SEVILLA, TESTIGO, S. MASUS, FUNGIFERT y MICORRIZAR, no presentaron diferencias significativas entre ellos. El peso fresco de los frutos de arveja en el tratamiento SEVILLA (B) y los otros tratamientos (A, AB) no evidenciaron diferencias significativas.



Los tratamientos con diferentes inóculos

no presentaron diferencias significativas entre ellos. Los tratamientos con inóculos más tratamientos no se

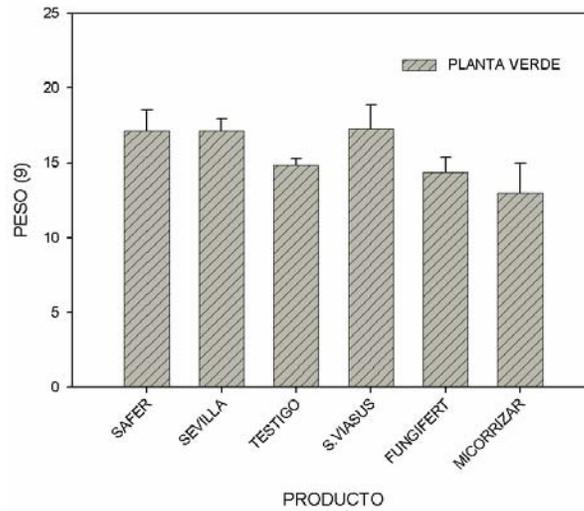
4.1.7. Peso seco de los



Grafica 7. Peso seco de los frutos de arveja, en plantas sometidas a diferentes inóculos comerciales.

El peso seco de los frutos producidos por plantas de arveja, no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Grafica 7, Tabla 3).

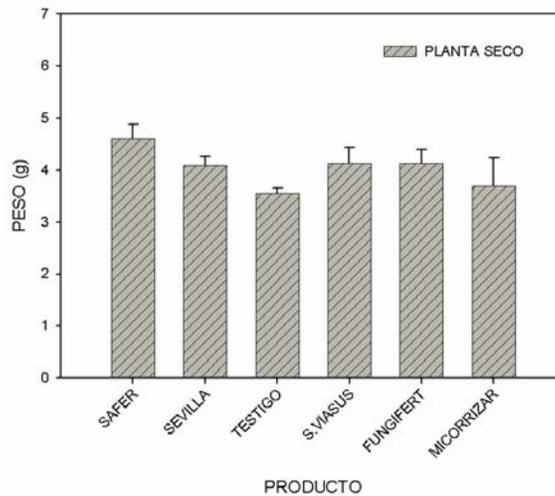
4.1.8. Peso fresco de las plantas



Grafica 8. Peso fresco de las plantas de arveja sometidas a diferentes inóculos comerciales

El peso fresco de las plantas de arvejas, no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Grafica 8, Tabla 3).

4.1.9. Peso seco de las plantas



Grafica 9. Peso seco de las plantas de arveja sometidas a diferentes inoculos comerciales.

El peso seco de las plantas de arveja, no presentó diferencias significativas para ninguno de los tratamientos (Grafica 9, Tabla 3).

4.2. Esporas de HMA por inóculo micorrízico comercial

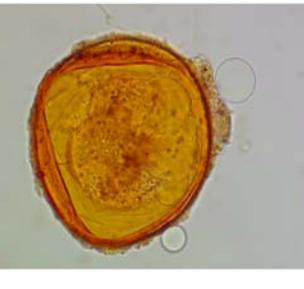
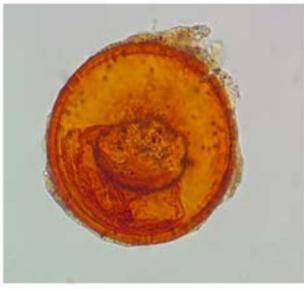
En la identificación de las morfoespecies por inóculo micorrízico comercial se obtuvieron 21 aislamientos de HMA en los cinco inóculos comerciales evaluados, corresponden a los géneros Acaulospora (10), Glomus (6), Ambispora (1), Claroideoglomus (1), Funneliformis (1), Intraspora (1), Kuklospora (1) y Pacispora (1), (Tabla 4).

Tabla 4. Aislamientos de HMA encontrados en los inóculos comerciales.

MORFOESPECIES	INÓCULOS				MICORRIZA R
	SEVILLA	S. VIASUS	FUNGIFERT	SAFER	
<i>Acaulospora mellea</i>			X		
<i>Acaulospora elegans</i>	X				
<i>Acaulospora laevis</i>	X	X			
<i>Acaulospora</i> sp 1	X				
<i>Acaulospora</i> sp 2	X				
<i>Acaulospora</i> sp 3			X		
<i>Acaulospora</i> sp 4				X	
<i>Acaulospora</i> sp 5	X		X		
<i>Acaulospora</i> sp 6	X				
<i>Ambispora callosa</i>	X				
<i>Claroideoglomus drumondii</i>			X		
<i>Funneliformis coronatus</i>			X		
<i>Glomus brohultii</i>	X		X		
<i>Glomus geosporum</i>		X			
<i>Glomus glomerolatum</i>	X				
<i>Glomus macrocarpum</i>	X				
<i>Glomus</i> sp 1	X				
<i>Glomus</i> sp 2		X			
<i>Intraspora schenkii</i>				X	
<i>Kuklospora colombiana</i>			X		X
<i>Pacispora chimonobambusae</i>		X			

Para el inoculo de Sevilla se obtuvo un total de (11) morfoespecies, para *S. viasus* (4), para fungifert (7), para safer (2) y para micorrizar (1) morfoespecie; lo que indica una alta variabilidad en las comunidades de HMA presentes en los inóculos utilizados a pesar de que algunas morfoespecies son comunes.

Gráfica 10. Morfoespecies de HMA encontradas en los inóculos comerciales.

<p><i>Acaulospora elegans</i></p> 	<p><i>Acaulospora laevis</i></p> 	<p><i>Acaulospora mellea</i></p> 
<p><i>Acaulospora sp1</i></p> 	<p><i>Acaulospora sp2</i></p> 	<p><i>Acaulospora sp3</i></p> 
<p><i>Acaulospora sp4</i></p> 	<p><i>Acaulospora sp5</i></p> 	<p><i>Acaulospora sp6</i></p> 
<p><i>Ambispora callosa</i></p>	<p><i>Claroidegломus drumondii</i></p>	<p><i>Funneliformis coronatus</i></p>

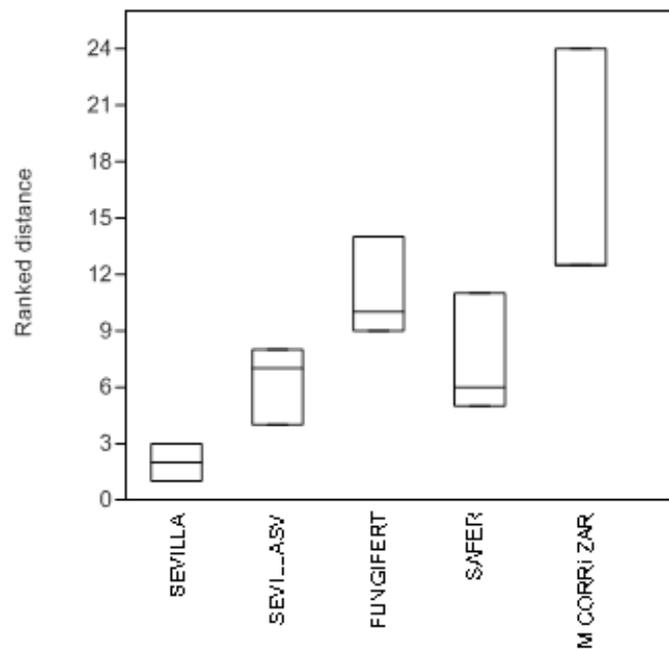
		
<i>Glomus brohultii</i>	<i>Glomus geosporum</i>	<i>Glomus glomerolatum</i>
		
<i>Glomus macrocarpum</i>	<i>Glomus sp1</i>	<i>Glomus sp2</i>
		
<i>Intraspora schenkii</i>	<i>Kuklospora colombiana</i>	<i>Pacispora chimonobambuseae</i>

--	--	--

Tabla 5. Número de esporas de HMA en 1 (g) de inóculo.

INÓCULO	NÚMERO DE ESPORAS
Fungifert	504
Safer	240
Micorrizar	300
Sevilla	79
S. Viasus	115

Análisis de similitudes (ANOSIM)



Grafica 11. Separación de comunidades de HMA entre inóculos de acuerdo al ANOSIM, representado por medio de distancia euclidiana en un esquema de pestañas y bigotes.

Al proyectarse sobre el eje de las distancias (y), el análisis de similitudes muestra que algunas de las comunidades de HMA presentes en los inóculos son diferentes.

DISCUSIÓN

El presente estudio ha confirmado con la arveja la compatibilidad existente entre los HMA y las leguminosas la cual, según Barea, *et al.*, (1992), se debe a que la mayoría de las leguminosas responden favorablemente a la infección con micorrizas arbusculares (MA).

Específicamente los resultados indican que las variables de crecimiento no son afectadas por diferentes inóculos, lo que no es raro encontrar, ya que hay variables que no son afectadas por las comunidades de HMA presentes en los inóculos como sucede con los estudios de Roman, (2013) con el efecto de los HMA en *Capsicum annuum var. glabriusculum*, donde las variables evaluadas no presentaron diferencias significativas en la etapa de crecimiento pero si en la producción o el caso del estudio realizado por olivera (2011), *Persea americana*, contreras (2012) o en las plántulas de *Quercus rugosa*, donde la mayoría de variables de crecimiento no presento diferencias, por otra parte el presente estudio en plantas de arveja revela diferencias significativas para algunas de las variables de producción (número de vainas, peso de vainas y peso fresco de frutos) similar a lo encontrado por Galindo, (2008), quien al realizar un estudio con cepas comerciales de micorrizas obtuvo resultados altamente significativos en la producción de número de vainas en plantas de frijol, o el estudio realizado por Díaz, *et al.*, 2012, en un híbrido pimiento “Valeria”, el cual mostró un incremento en el peso del fruto comparado con el testigo lo que se tradujo en mayor producción.

Para la mayoría de las variables evaluadas (excepto N° de vainas, Peso de Vainas, Peso seco de frutos y Peso fresco de plantas), la inoculación con HMA siempre mostró resultados positivos o al menos neutros, lo que muestra que el uso de cualquier inóculo puede mostrar efectos benéficos para las plantas de arveja. Sin embargo, variables como el peso fresco de plantas, el peso fresco y número de vainas, mostraron resultados inferiores a los del testigo ante algunas inoculaciones, como se ha mostrado previamente en algunos estudios como el de Pellegrino, Öpik, Bonari, & Ercoli, (2015) quienes evaluaron inóculos de HMA en plantas de trigo y encontraron que algunas variables como la producción de grano fueron afectadas por algunos de los géneros de HMA. Así mismo, Kara, Arslan, Güler, & Güler, (2015) encontraron que algunos géneros de HMA en cultivos de aceituna, no son benéficos para el cultivo y la calidad del aceite. Esta situación muestra que aunque en general las leguminosas responden al uso de inoculantes micorrícicos, en el caso de la arveja no todo inóculo es eficiente para el cultivo.

El inóculo comercial de Sevilla fue significativamente el más eficiente para algunas de las variables de producción (peso fresco de frutos, peso y número de vainas) y mostró registros más altos pero no significativamente diferentes para otras variables (número de hojas, número de frutos, peso seco de frutos y peso fresco de plantas), simultáneamente el ANOSIM (Grafica 11) indica las diferencias significativas en las comunidades existentes entre inóculos, lo cual también

se refleja en una alta diversidad de morfoespecies (11), principalmente de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* (Tabla 4). Según Kernaghan, (2005) afirma que una amplia riqueza de HMA, puede estar relacionada con un incremento en la eficiencia de extracción de nutrientes y por lo tanto en los beneficios al hospedero, los que se observan en supervivencia, productividad (cantidad y calidad), (Goverde, *et al.*, 2000), morfología de planta y capacidad reproductiva (Xiaohong y Koide, 1994).

Inóculos comerciales como el de Safer, en el cual se encontraron las morfoespecies (*Acaulospora* sp4 e *Intraspora schenkii*), mostraron resultados positivos aunque no significativamente superiores en el peso fresco y seco de las plantas, mostrando eficiencia limitada a dos variables que agrónomicamente poca importancia tienen para el cultivo de arveja. Esto indica un grado de especificidad de estas cepas comerciales con el cultivo, lo cual también fue encontrado por Paillacho (2010) pero con resultados positivos en cultivos de palmito. Caso contrario ocurre con el inóculo de Micorrizar, el cual posee abundante cantidad de esporas (Tabla 5) de *Kuklospora colombiana* (Tabla 4) en su presentación comercial, sin embargo en la mayoría de los casos ofrecen resultados similares o inferiores al testigo. Este resultado confirma las afirmaciones de Wang, *et al.*, (2007), con respecto a que los inoculantes mixtos o en consorcio tienen mayor efectividad que los inoculantes puros o constituidos de una sola especie de HMA. La inoculación de las plantas con especies efectivas de HMA provoca un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes, ya sea por interceptación, flujo de masa o difusión (Netto, 2008).

Al observar la composición de las comunidades de HMA de los inóculos se encuentra que el inóculo con mejores resultados (Sevilla), es el único que presenta en su evaluación esporas de *Acaulospora elegans*, *Acaulospora* sp1, sp2, sp6, *Ambispora callosa*, *G. glomerulatum*, *G. macrocarpum* y *Glomus* sp1, lo cual brinda dos posibilidades. La primera es que estos aislamientos brinden ventajas competitivas al inóculo en el cultivo de arveja y la segunda que en su conjunto la comunidad de HMA (incluidos los mencionados anteriormente), además presenta una composición adecuada para promover el crecimiento y producción de cultivos de arveja, en las condiciones evaluadas. Cualquiera de las dos alternativas, los resultados indican que el hecho de seleccionar el HMA “específico” para un sistema suelo-planta dado, es absolutamente clave (Acosta, 2004), de forma que cuando se inocula una determinada planta con diferentes HMA la respuesta producida a cada uno de ellos suele ser distinta, lo cual permite seleccionar aquellos hongos o comunidades más favorables o compatibles para la plantas.

CONCLUSIONES

Entre los inóculos evaluados, una mayor riqueza de morfoespecies de HMA brinda mayores eficiencias de producción de las plantas de *P. sativum* var. Santa Isabel, la cual a su vez se asocia

a la composición de la comunidad de HMA y sus efectos particulares en los diferentes parámetros productivos.

Especies como *Acaulospora elegans*, *Acaulospora* sp1, sp2, sp6, *Ambispora callosa*, *G. glomerulatum*, *G. macrocarpum* y *Glomus* sp1 en un inóculo comercial, se pueden asociar con una mayor producción, mientras *K. colombiana* no se puede emplear como cepa única en cultivos de arveja en las condiciones evaluadas.

Los inóculos comerciales no se pueden emplear indistintamente en cualquier cultivo, su composición determina los parámetros de crecimiento y producción a estimularse o atenuarse en cada especie vegetal, por lo tanto precaución ha de tenerse en la selección de un biofertilizante con base en micorrizas arbusculares.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar estudios para garantizar la efectividad que puede llegar a tener el inóculo más eficiente de este estudio, sobre otras especies vegetales.

También se recomienda realizar un ensayo en campo para observar la reacción que presenta el inóculo de Sevilla enfrentado a diversas condiciones ambientales.

Se requiere otra recondición con respecto a más estudios específicos de las morfoespecies presentes en el inóculo de Sevilla y combinaciones de comunidades.

BIBLIOGRAFIA

Barbagelata y Melchiori (2010), Evaluación de la respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de fultec maíz, cultivos de invierno, ISS 1853- 0060, pàg; 105-108

Douhan, G.W., Petersen, C., Bledsoe, C.S. & Rizzo, D.M. (2005) Contrasting root associated fungi of three common oak-woodland plant species based on molecular identification: host specificity or non-specific amplification? *Mycorrhiza* 15(5), 365-372.

Õpik, M., Moora, M., Liira, J., Koljalg, U., Zobel, M. & Sen, R.(2003) Divergent arbuscular mycorrhizal fungal communities colonize roots of *Pulsatilla* spp. in boreal Scots pine forest and grassland soils. *New Phytol* 160 (3), 581-593.

Aguirre-Medina, J.F.2006. Biofertilizantes microbianos: experiencias agronómicas del INIFAP en México libro técnico Num.2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas México. 201p.

- Keitaro, T and Massanorri, S. 1994. "Effect of phosphate application to arbuscular micorrhizal onion on the development and succinate dehydrogenase activity of internal hyphae. *Soil. Sci. Nutr.* Vol 40. N° 4. pp. 667-673.
- Sieverding, E. y J. M. Barea. 1991. Perspectiva de la inoculación de sistemas de producción vegetal con hongos formadores de micorrizas VA. In: Fijación y movilización biológica de nutrientes. Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, Madrid pp. 221-245.
- Cuenca, G., R. Herrera y E. Meneses. 1990. Effects of VA mycorrhiza on the growth of cacao seedlings under nursery conditions in Venezuela. *Plant Soil* 126:71-78.
- Declerck, S., Plenchette, C., & Strullu, D. G. (1995). Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. *Plant and Soil*, 176(1), 183-187.
- Estrada, G. Y M. Sánchez. 1995. Dependencia del café *Coffea arabica* L. Var. Colombia por la micorriza vesículo-arbuscular. *Acta Agronómica* 45:85-88.
- Estrada-Luna, A.A. y F.T. Davies. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post acclimatization. *J Plant Physiol* 160:1073-1083.
- Cuenca, G., A. Cáceres, G. Oirdobro, Z. Hasmy y C. Urdaneta. 2007. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32(1):23-29.
- AZCON, C. y BAREA, J. Micorrizas. En: *Biología vegetal. Libro de investigación y Ciencia.* Prensa científica: España, 1988. p. 83-89.
- Barea, J.M. y C. Azcon. 2002. Técnica de elaboración y control de calidad de inoculantes micorrizicos. En: *Memorias Curso de Inoculantes Biológicos.* Departamento de Microbiología de Suelos y Sistemas Simbióticos, Estación Experimental del Zaidin, CSIC, Granada, España.
- CORREDOR G. Manejo sostenible de los agroecosistemas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Regional 2, editores. Florencia; 2002.
- MENGE, J.; LA RUE, J.; LABANAUSKAS, C.; JOHNSON, L. 1980. The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer treatments. *J. Amer. Soc. Hort. Science.* 105(3):400-404.
- González-Chávez, M.C. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Influencia de la endomicorriza vesículo-arbuscular en cuatro variedades de café. p. 100-112.

Caravaca, F., M.M. Alguacil, J.M. Barea. y A. Roldán. 2005. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded mediterranean ecosystem. *Soil Biol. Biochem* 37:227-238.

Cuenca, G., A. Cáceres, G. Oirdobro, Z. Hasmy y C. Urdaneta. 2007. Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia* 32(1):23-29.

Gazey, C., L.K. Abbott y A.D. Robson. 2004. Indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi contribute to plant growth in two agricultural soil from south-wester Australia. *Mycorrhiza* 14:355-362.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems: Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. 371 p.

REY, AM.; CHAMORRO D.; RAMÍREZ M. 2005.Efecto de la doble inoculación de rizobios y micorrizas sobre la producción y calidad del forraje de *Leucaena leucocephala*. *Revista Corpoica* 6(2): 52-59

ICA (2014), Empresas registradas en bioinsumos, <http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Fertilizantes-y-Bio-insumos-Agricolas/Listado-de-Bioinsumos/2009/EMPRESAS-REGISTRADAS-BIOINSUMOS-JULIO-8-DE-2008.aspx>

Corbera, J. 1998. Coinoculación *Bradyrhizobium japonicum* micorriza vesículo-arbuscular como fuente alternativa de fertilización para el cultivo de la soya. *Cultivos Tropicales* 19(1): 17-20. 70p.

Ernst, O. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *Informaciones agronómicas del Cono Sur*. Vol. 2: 1-9.

Fortin, J.; BÉCARD, G.; DECLERCK, S.; DALPÉ, Y.; ST-ARNAUD, M., COUGHLAN, A. y PICHÉ, Y. 2002. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures. *Can J Bot* 80:1-20.

SAIF, S. 1977. The influence of stage of host development on vesicular arbuscular mycorrhizae and endogonaceus spore population in field grown vegetable crops. I. Summer grown crops. *New Phytol* 79: 341-348.

TINKER, P. 1978. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizas on plant nutrition and plant growth. *Physiol Veg* 16 (4): 743-751.

Hernández, L.; Castillo, S.; Guadarrama, P.; Martínez, Y.; Romero, M. A. y Sánchez, I. 2003. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel. Facultad de Ciencias-Universidad Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 82 p.

Vandenkoornhuyse P, Husband R, Daniell IJ, Watson JM, Duck M, Fitter AH, Young JPW (2002) Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Mol. Ecol.* 11: 1555-1564.

van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders IR (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72

Smith, S. E. and Gianninazzi-Pearson, V. 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 39:221-244.

RILLIG, M.C.; MUMMEY, D.L.; 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171, 41-53

Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. In : advances in ecological research. MacFayden, A.; Begon, M. and Fitter, A. H. (Eds.) Academic Press. London. 21:171-313 pp.

Universidad Nacional de Luján. 2004. Arveja, semilla, seca, entera, cruda - *Pisum sativum* L., <http://www.unlu.edu.ar/~argenfoods/Tablas/Varios/Indice.htm>.

BUITRAGO, J.Y.; DUARTE, C.J.; SARMIENTO, A. 2006. El cultivo de la arveja en Colombia. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas- FENALCE y Fondo Nacional Cerealista. Ed. Produmedios. Bogotá. Colombia. 83p.

DANE (2011), RESULTADOS ENCUESTA NACIONAL

AGROPECUARIA

ENA.

https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/doc_anexos_ena_2011.pdf

Arjona, H. 1977. El cultivo de la Arveja (*Pisum sativum*). Segunda edición. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía.

Chantal, H., Kabir, M., Arnau, B., Wang and Chapdelaine. 1998. “Ecología de los hongos micorrízicos en campos cultivados. Memorias del IX Congreso Colombiano de las ciencias del suelo”. pp. 198-205.

Alfonso, E., Leyva, A., Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) *Rev. Colombiana de Biotecnología*, Vol. 2 (2):47 -54.

Hodge, A., C.D. Campbell y A.H. Fitter. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* 413:297-299.

AZCÓN-AGUILAR, C., & BAREA, J.M. (1996). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens: an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6: 457-464.

Klironomos JN. 2003. Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology* 84 : 2292 – 2301.

RODRÍGUEZ YY, B DE LA NOVAL, F FERNÁNDEZ & P RODRÍGUEZ (2004) Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum* M. var "Amalia"). *Ecología Aplicada* 3: 162-171.

TREJO D, R FERRERA-CERRATO, R GARCÍA, L VARELA, L LARA & A ALARCÓN (2011) Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 23-31.

HUSBAND, R; HERRE, E.; YOUNG, J. 2002. Temporal variation in the arbuscular mycorrhizal communities colonizing seedlings in a tropical forest. *FEMS Microbiology Ecology* 42:131-136.

Herrera-Peraza RA, Hamel C, Fernández F, Ferrer RL, Furrázola E. 2011. Soil-strain compatibility: the key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants? *Mycorrhiza* 21: 183–193.

FENALCE (2004). Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas Catálogo automatizado de Fenalce. <http://fenalce.net/pagina>

Faiguenbaum, H. 1993. Cultivo de arveja. Curso “Producción de leguminosas hortícolas y maíz dulce. Pontificia Católica de Chile, facultad de Agronomía. Departamento de ciencias vegetales. Santiago -Chile. Pág. 1-23

Meier, U. (2001). Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen En: Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (2da Ed), (pp. 149), Limburgerhof, Alemania.

Sánchez, E.A. y T. Mosquera. 2006. Establecimiento de una metodología para la inducción de regenerantes de arveja (*Pisum sativum*) variedad Santa Isabel. *Agron. Colomb.* 24(1), 17-27.

SEMICOL (Colombia). Catálogo automatizado de SEMICOL, <http://www.semicol.com.co/index.php>

Lobo, M., C. Medina y M. Escobar. 1989. Manejo y conservación de los recursos genéticos de arveja (*Pisum sativum*). Investigación en los cultivos de arveja y haba. Boletín Técnico. IICA; Prociandino, Quito.

Galindo, R., Clavijo, J. 2009. Fenología del cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la Sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (10) 1: 5-15.

Forero, C. 2006. Rendimiento de ocho genotipos promisorios de arveja arbustiva (*Pisum sativum*) bajo sistema de agricultura protegida. *Revista Fitotecnia Colombiana*. Vol. 6 (2): 52-61.

Gómez, G.H. 2008. Evaluación de efectos de genes mayores sobre rasgos de rendimiento en arveja (*Pisum sativum*) a partir del cruzamiento de las variedades Santa Isabel x WSU31. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 75 p.

CCI, Corporación Colombia Internacional. 2000. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. En: <http://www.cci.org.co/>

Fenalce (2002). Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas Documento interno. Estadísticas de producción nacional. Bogotá, Colombia. p. 1.

Sánchez, E.A. y T. Mosquera. 2006. Establecimiento de una metodología para la inducción de regenerantes de arveja (*Pisum sativum*) variedad Santa Isabel. Agron. Colomb. 24(1), 17-27.

Schüßler A, Schwarzott D, Walker C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycol. Res.105: 1413-1421.

Bonfante P., Genre A. 2008. Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. *Trends in Plant Science*. 13(9): 492-498.

Remy W., Taylor T.N., Hass H., Kerp H. 1994. Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proc Natl Acad Sci USA*. 91: 11841-11843.

Schussler, A. (2001). "A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution." *Mycological Research*.105: 1413-1421.

HERRERA, R. y col. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba .CENIC Ciencias Biológicas, La Habana, v. 35, n. 2, p. 111-121, 2004.

Smith SE, DJ Read. 2008. Mycorrhizal symbiosis 3th ed. Cambridge, Inglaterra. Academic Press. 605 p.

Hayman , D.C. y Tabares, M. (1985). Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza: XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes. *New Phytologist*, 100: 367-377.

López, M; Ramirez, R. y Paolini J. 2002. "Actividad de la fosfatasa ácida en la rizósfera de tres cultivares de sorgo fertilizados con superfosfato triple y roca fósforica. *Agronomía tropical* 49 (2) pp. 119-134.

Garbaye J. 1994. Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* 128: 197-220.

- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany . 371 p.
- JANSA, J.; MOZAFAR, A.; KUHN, G.; ANKEN, T.; RUH, R.; SANDERS, IR.; FROSSARD, E. 2003. Soil tillage affects the community structure of mycorrhizal fungi in maize roots. *Ecol. Appl.* 13:1164-1176.
- KERNAGHAN G. 2005. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? *Pedobiologia* 49: 511-520.
- PATTINSIB GS, HAMMILL KA, SUTTON BG, McGEE PA. Simulated Fire Reduces the Density of Arbuscular Mycorrhizal Fungi at the Soil Surface. *Mycol Res.*1990;103:491-496.
- BLANCO, F.A.; SALAS, E.A. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial en la investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)* 21(1): 55-67.
- Aleman, (2006) Efecto de niveles de composta y hongo micorrízico arbuscular en el desarrollo y crecimiento de frijol, *Phaseolus vulgaris* L. Tecomán, Colima, México.
- Bagyaraj, D. J. 1984. Biological interactions with VA mycorrhizal fungi. En: C.L. Powell y D.L. Bagyaraj (Eds.). *VA mycorrhizae*. CRC press, pp. 131-186.
- Cress, W. A., G. D. Thoneberry and D. L. Lindsey. 1979. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and nonmycorrhizal tomato roots. *Plant Physiol.* 64(3): 484-487.
- Villalba, V.; Rodríguez, A. 2000. Las micorrizas y su importancia en la agricultura de exportación. Buckman Laboratories SA de CV. Morelos, México. 3p.
- Tovar- Franco, (2006) Selección en invernadero de inóculos de micorriza arbuscular (ma) para el establecimiento de la alfalfa en un andisol de la sabana de Bogotá, *Revista de la Facultad de Ciencias, Edición especial, Vol. 11, 87-103*
- Sánchez De Prager, M.; Posada, R.; Velásquez, D.; y Narváez, M. 2010. Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Universidad Nacional de Colombia sed Palmira. 139 p.
- Roman, (2012) Efecto de la fertilización y micorrizas en el vigor y producción del chile piquín (*capsicum annum* var. *aviculare* / *glabriusculum*), en el noreste de México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

ANEXOS



Inoculacion de plantas



Emergencia de plantas de arveja



Tutorado de plantas



Produccion de las plantas



Olivera-Morales, Diego, Castillo-Argüero, Silvia, Guadarrama, Patricia, Ramos-Zapata, José, Álvarez-Sánchez, Javier, & Hernández-Cuevas, Laura. (2011). Establecimiento de plántulas de *Quercus rugosa* Née inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares en un bosque templado de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (89), 115-121.

Díaz Franco, Arturo, Alvarado Carrillo, Manuel, Ortiz Chairez, Flor, & Grageda Cabrera, Oscar. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(2), 315-321.

Goverde, M.; Van der heijden, M.A.; Wiemken, A.; Sanders, IR.; Erhardt A. (2000). Arbuscular mycorrhizal fungi influence life history traits of a lepidopteran herbivore. *Oecologia* 125:362-369.

XIAOHONG; L.; KOIDE, R. 1994. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. *New Phytol.* 128:211-218.

Paillacho, (2010) Evaluación del crecimiento inicial de *eucalyptus urograndis*, *gmelina arborea roxb* y *ochroma pyramidale cav*, bajo la aplicación de cuatro dosis de potasio en la hacienda zoila luz del canton santo domingo, ciencias agropecuarias santodomingo Ecuador.

WANG, F. Y.; GUI LIN, X.; YIN, R. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on heavy metal accumulation of maize grown in a naturally contaminated soil. *Int. J. Phytoremediation* 9: 345–353.

Netto, D. V. Apuntes de clase-Facultad de Agronomía-U.B.A.: Biología, Las plantas y los minerales. http://www.fisicanet.com.ar/biologia/fisiologia/ap01_absorcion_de_minerales.php. 2008

Acosta, K. 2004. “Respuesta del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata*(L.)Walp) a la asociación simbiótica con micorrizas vesículo arbuscular y *Rhizobium* sp”. Trabajo de ascenso para ascender en el escalafón universitario a la categoría de profesor asociado de la Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía pp. 1-74.

Pellegrino, Opik, Bonari, Ercoli(2015) Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: A meta-analysis of field studies from 1975 to 2013, *Soil Biology & Biochemistry* 84 (2015) 210e217