

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS
UNIVERSIDAD DE GRANMA

Participación de las micorrizas arbusculares y la fertilización nitrogenada en el crecimiento y la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en un suelo Ferralsol desaturado.

**TESIS PRESENTADA EN OPCION AL TITULO ACADEMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
NUTRICION DE LAS PLANTAS y BIOFERTILIZANTES**

Autor: Ing. Rafael Novella Leyva
Tutor: Dr. Nicolás L. Medina Basso

La Habana, 2001

1. INTRODUCCION

Hoy en día una de las mayores preocupaciones de la humanidad es el abastecimiento alimentario, debido a que la población crece a un ritmo acelerado mientras que las tierras cultivables disminuyen a ritmos vertiginosos (6.8 % en cada década), como consecuencia de una política agrícola descontrolada (FAO, 1995). Ante esta realidad, en los últimos años se han venido planteando diferentes medidas y nuevas metodologías de producción agrícola que permitan contrarrestar las consecuencias ecológicas perjudiciales de las prácticas agrícolas modernas (Gore, 1993).

El paso hacia una agricultura sostenible es necesidad inmediata, pues satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de cubrir sus propias necesidades (ONU, 1987), al ser ecológicamente apropiada, económicamente viable, socialmente justa y culturalmente adecuada.

En este marco, la fertilización se concibe como la aplicación racional de fertilizantes minerales y el empleo de abonos orgánicos y verdes, residuos agrícolas y biofertilizantes, lográndose de esta forma no contaminar el sistema suelo-planta y un eficiente reciclaje de los nutrientes.

Según Martínez (1994), la agricultura moderna e intensiva en los países subdesarrollados debe tender a combinar la utilización de cantidades reducidas de fertilizantes minerales con biofertilizantes de origen microbiano, debido a que los procesos microbiológicos implicados en su acción ofrecen ventajas al ser tecnologías limpias no contaminantes del medio ambiente. Así, los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), presentes en cerca del 80 % de los cultivos agrícolas, constituyen uno de los biofertilizantes que deben ser considerados en el diseño de sistemas agrícolas sostenibles pues, además de ser componentes inseparables de los agroecosistemas donde tienen diferentes funciones en su asociación con las plantas, pueden constituir sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales (Thompson, 1991, citado por Collins y Pflieger, 1992).

La utilización de los HMA como biofertilizantes no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino permitir que la fertilización sea más eficiente y puedan disminuirse las dosis a aplicar,

al incrementar el porcentaje de absorción de los nutrientes por las plantas (Walker, Safir y Stephenson, 1990). De esta forma, el efecto beneficioso de los hongos MA sobre el crecimiento y la nutrición vegetal, reportado para la mayoría de las plantas cultivadas, ha provocado que en la última década se haya incrementado su empleo en los principales cultivos económicos de nuestro país.(INCA, 1999).

El tomate constituye en Cuba el principal cultivo hortícola (González, 1997; Alvarez y col., 1997; Cuevas, 1998), ocupando cerca del 50% del área dedicada a estos fines, con niveles de siembra que sobrepasan las 20 000 hectáreas anuales y rendimientos promedio de 10 t.ha⁻¹ (MINAGRI, 1996) que no están en correspondencia con las dosis de fertilizante nitrogenado recomendadas para los diferentes tipo de suelo. (Huerres y Caraballo, 1991; Muñiz, 1996) y que provocan pérdidas económicas y probables afectaciones ambientales.

Por todo lo anterior se planteó la siguiente hipótesis de trabajo:

“El empleo de fuentes nitrogenadas y hongos micorrizógenos arbusculares en plantas con alta dependencia micorrízica puede incrementar la eficiencia de estas en la utilización del fertilizante nitrogenado, posibilitando un mejor desarrollo y nutrición del cultivo”

y, para validarla, se diseñó una investigación con los siguientes objetivos:

- ❖ Establecer la capacidad de colonización micorrízica en plantas de tomate frente a dos fuentes minerales de nitrógeno.
- ❖ Evaluar la participación individual y combinada de los hongos micorrizógenos arbusculares y las fuentes nitrogenadas en el crecimiento y la nutrición del tomate.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El tomate. Importancia y producción.

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) constituye una de las hortalizas de mayor importancia a escala mundial y su cultivo se extiende a más de siete millones de hectáreas constituyendo una de las mayores fuentes de vitaminas y minerales en muchos países (Nuez, 1995), constituyendo después la papa la hortaliza más cultivada en el mundo (Castilla, 1995).

La producción mundial, estimada en más de 88 millones de toneladas métricas en el año 1997 (FAOSTAT, 1998), esta liderada por países como China, Estados Unidos, Turquía, Italia, Egipto, India, España, Brasil, Rusia y Chile, donde se concentra el 65% de la producción. La mayor parte de la producción es comercializada por Estados Unidos y la Unión Europea -72% de la exportación y el 94% de la importación. (Hobbelink y col., 1997).

Estos mismos autores señalan que el alto valor del tomate en el mercado internacional ha provocado un incremento productivo del 12% en solo 5 años (1990-1995), logrando Holanda colocarse a la cabeza en producción intensiva con 46,6 t.ha⁻¹ comparado con los promedios de Europa y China, 38 y 27 t.ha⁻¹, respectivamente.

En la región latinoamericana, Cuba ocupa el cuarto lugar en superficie cultivada, superada por México, Brasil y Argentina, dedicando a su producción más del 42% del área hortícola nacional (Hernández, 1998). En cuanto a la producción, según reportes de la FAO (1993), Cuba ocupaba el lugar 25 en superficie cosechada, el 33 en producción y el 94 en rendimiento por unidad de superficie, con una producción en 1998 de 331 000 toneladas, una comercialización anual cercana a las de 200 000 toneladas y un rendimiento promedio de 10.02 t.ha⁻¹, muy distante de las posibilidades potenciales del cultivo. (Hernández, 1998; MINAGRI, 1996).

2.2. Crecimiento y nutrición nitrogenada del tomate.

2.2.1. Características generales

El tomate es una planta perenne que, en condiciones favorables, puede vivir y florecer varios años, pero su cultivo por las condiciones ambientales y su importancia práctica se realiza anual (MINAGRI, 1991).

Taxonomía:

División : Macrophyllrophyta

Sub-división : Magnoliophytina

Clase : Paconopsidae

Orden : Schruphulariales

Familia : Solanaceae

Género : Lycopersicon

Especie : Lycopersicon esculentum Mill.

Lycopersicon lycopersicon Karst. (Huerres, 1991)

El sistema radical es bien desarrollado y está ampliamente extendido, pudiendo alcanzar algunas raíces los 150 cm de longitud; sin embargo, Izquierdo y Paltrinieri (1992) plantean que el mayor volumen se encuentra entre los 5 y 35 cm de profundidad en dependencia de diferentes factores edáficos (Marrero, 1986; Huerres y Carballo, 1991).

El tallo en dependencia del genotipo y del modo de cultivo puede alcanzar alturas entre los 40 y 50 cm en plantas de desarrollo determinado, y hasta más de 200 cm en plantas de crecimiento indeterminado (Moroto, 1989; MINAGRI, 1991; Izquierdo y Paltrinieri, 1992).

Las hojas son alternas y compuestas, con pelos que emiten olor característico cuando son apretados. Las axilas foliares producen brotes que se desarrollan y fructifican pudiendo ramificar igual al tallo principal (Guenkov, 1969; Anderlini, 1970).

La floración y fructificación son procesos que ocurren simultáneamente durante el desarrollo del cultivo. Las flores son hermafroditas, agrupadas en racimos simples o ramificados que se desarrollan en el tallo o en el lado opuesto a la hoja; cada racimo puede tener entre 4 y 20 flores según la variedad y condiciones de cultivo; el fruto es una baya de tamaño, forma y color variable (Mount, 1992).

2.2.2. Crecimiento. Métodos para su evaluación.

El crecimiento, definido como un incremento permanente en la talla de las células (Taíz y Zeiger, 1991), generalmente está asociado al incremento de la masa seca aunque no de modo necesario (Torres 1996).

El crecimiento vegetal normalmente describe una curva sigmoide donde se pueden distinguir tres fases como resultado de la velocidad de desarrollo del proceso; la fase inicial se conoce como la fase logarítmica y en ella el crecimiento es lento debido al pobre desarrollo alcanzado por el aparato asimilativo y las raíces de la planta; la fase intermedia, donde tiene lugar un incremento vertiginoso del desarrollo, se denomina fase de máximo crecimiento y en la última fase, llamada de senescencia, el crecimiento vuelve a ser lento.

La evaluación del crecimiento puede hacerse midiendo variables contables en intervalos sucesivos de tiempo durante el período de desarrollo de la planta, obteniéndose al final del ciclo la curva sigmoide típica como resultado de las mediciones realizadas en función del tiempo (Torres, 1985); generalmente suelen ser utilizadas como variables la masa fresca o la masa seca, aunque, según varios autores, es preferible la utilización de la masa seca (Rashid, 1988; Szabados y col., 1987, citados por Del Pozo, 1998).

El análisis del crecimiento es una técnica fundamental usada para cuantificar los componentes del crecimiento, representando el análisis de la producción primaria (Nogueira y col., 1994), y puede ser realizada por varios métodos: el clásico, el funcional y el denominado alternativo (Del Pozo, 1998); sin embargo, el análisis ortodoxo del

crecimiento tiene lugar midiendo siempre dos variables, una variable “P” que da la medida del material vegetal existente y una variable “A” que da la medida del sistema asimilativo del material vegetal, evaluadas en intervalos sucesivos de tiempo (Torres, 1996).

Al método funcional, que utiliza el análisis de regresión para el ajuste de los datos primarios, se le confieren una serie de ventajas con respecto al método clásico pero tiene el inconveniente que cuando se quiere evaluar la incidencia de factores externos, las curvas no reflejan todos los cambios de inflexión sufridos durante el ciclo de desarrollo de la planta y, por tanto, se prefiere utilizar el método clásico.

El método clásico emplea varias funciones matemáticas que permiten, a partir de mediciones sencillas en la planta, obtener con bastante aproximación la descripción de como tiene lugar el crecimiento de la planta en función del tiempo. Torres (1996) menciona las siguientes:

Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC): Es el incremento de la masa vegetal por unidad de tiempo.

Tasa Relativa de Crecimiento (TRC): Nos da el incremento de la masa vegetal por unidad de tiempo y por unidad de material vegetal existente, dando una medida de la eficiencia de la planta para acumular material.

Tasa de Asimilación Neta (TAN): Es una medida del incremento de la masa vegetal por unidad de tiempo y por unidad de sistema asimilativo, dando el balance entre la fotosíntesis y la respiración.

Relación de Area Foliar (RAF): Expresa la proporción de material del sistema asimilativo en relación con el material vegetal presente, formada por dos componentes: la relación de masa de la hoja y la total de la planta (RPF) y el área foliar específica (AFE).

2.2.3. Factores ecológicos que afectan el crecimiento y el ciclo del cultivo.

El tomate en los trópicos se cultiva en la estación de seca, cuando las temperaturas y las lluvias moderadas favorecen el desarrollo del cultivo (VINI, 1996). En general, la planta de

tomate es tolerante a las variaciones climáticas y puede desarrollarse en climas tropicales de altura, subtropicales y templados; sin embargo, la producción de tomate en los países de clima tropical caliente se ve afectada principalmente por altas temperatura y humedad relativa del aire (De Acevedo y Arcia, 1987; Gómez y col., 1988).

Las condiciones climáticas influyen directamente en la duración del ciclo de la planta, en el cuajado de los frutos, en la incidencia de plagas y enfermedades y en la cantidad y calidad de la cosecha (Gent, 1990; Moyaben, 1980).

Prendergast (1983), señala que el papel predominante de la temperatura en el crecimiento y desarrollo está dado por su influencia en la asimilación del carbono y en la división celular, mientras que Konning (1990) afirma que la velocidad del crecimiento se afecta notablemente con temperaturas superiores a 30°C, provocando deficiencias en la fotosíntesis y un excesivo incremento de la respiración que, al interactuar conjuntamente, afectan el desarrollo de las flores, inducen aborto floral, disminuyen la fertilidad del grano de polen y contribuyen al bajo porcentaje de cuajado de los frutos. El efecto depresivo de las altas temperaturas sobre el desarrollo floral y la viabilidad del grano de polen también ha sido ampliamente reportado (Mutton y col., 1987; Rick, 1987; Robinson y Echim, 1988; Berry y Udin, 1988; Bonner y Dickinson, 1990).

El desarrollo del fruto, según reportan Chander (1983) y Nguyen y Mazliak (1990), y la coloración (Fernández, 1990) tienen como factor crítico la temperatura nocturna, situándose un rango óptimo de 15-20°C.

La fotosíntesis es un proceso susceptible a la temperatura, ocurriendo la mayor asimilación del CO₂ alrededor de los 25°C (Fi y Pivovarov, 1985; Scott, James y Jaray, 1990); por encima de 30°C hay una disminución de la fijación del CO₂, de los pigmentos clorofilicos y de la conductividad estomática, afectándose las estructuras reproductivas, el cuajado del fruto y la producción. (Matthew, Elmer y Thomas, 1990).

La temperatura del suelo afecta la anatomía de hojas y raíces, actuando además sobre la fotosíntesis, la respiración, la absorción y el movimiento del agua, la transpiración, así como en la absorción de iones (Ganmore-Neuman y Kafkafi, 1980). Según Bar-Tal y col. (1995) la temperatura del suelo tiende a restringir el desarrollo radical y esta restricción trae efectos negativos sobre el crecimiento de la planta, reflejado en variables de mucha importancia como el área foliar, número de hojas, altura de la planta y producción de biomasa; resultados similares reportan Cooper (1973), y Peterson y Krizek (1992).

La alta intensidad luminosa constituye un factor decisivo para que el cultivo alcance un buen desarrollo, siendo imprescindible para lograr la mayor eficiencia fotosintética y favorecer el crecimiento (Pickolo, 1994), así como para incrementar la precocidad, la calidad de la fructificación y el rendimiento, necesitándose rangos promedio de 11-12 horas de luz diaria (Sawhney, 1983; Marrero, 1986 y Gent, 1990, citados por Sam e Iglesias, 1994).

La baja disponibilidad de agua en el suelo afecta el área foliar, pero incrementa el contenido de materia seca en las hojas y en el tallo (Dell' Amico, Jerez y Burkin, 1985), incrementa la senescencia de las anteras (Bonner y Dickinson, 1990), disminuye el crecimiento vegetativo, pero incrementa favorablemente la producción de órganos reproductivos (Coolber y Mc Gill, 1990).

Los excesos de agua en el suelo reducen la cantidad y la calidad de la cosecha (Bakker, 1990; Rachel Halder y Cockshull, 1990), aumentando la fragilidad del fruto y la cantidad de frutos podridos durante la recolección y el transporte (Rodríguez, 1992). Por su parte, Fisher y Nel (1989) señalan que el exceso de agua en la planta estimula el crecimiento vegetativo pero disminuye el contenido de materia seca.

2.2.4. Nutrición nitrogenada del tomate.

2.2.4.1. Importancia del nitrógeno.

La planta de tomate muestra gran afinidad por el nitrógeno, reportando Magalhaes y col. (1987) que, frecuentemente, este nutriente constituye el factor limitrofe para el crecimiento del cultivo, pues sus compuestos se encuentran formando parte de la materia seca del protoplasma celular.

El nitrógeno en el suelo puede estar en forma mineral u orgánica, aunque las plantas sólo pueden absorberlo como compuestos minerales, mientras que las formas orgánicas necesitan sufrir transformaciones para ser utilizadas por estas (Martínez Viera, 1986).

Los compuestos orgánicos del nitrógeno, señala Gil Martínez (1995), se encuentran formando parte de la masa seca de la planta en proporciones desde 1,5 al 5 %, representando como promedio el 2% de la masa seca, en dependencia de la edad de la planta y del órgano que se evalúe.

Según Parson y Tinsley (1975), citados por Haynes y col. (1986), el 60 % del nitrógeno contenido en hojas y tallos está en forma de enzimas o proteínas y muchos de los residuos se encuentran en forma de aminoácidos libres.

Altos aportes del nutriente inducen un vigoroso crecimiento vegetativo, haciendo su mayor contribución a la formación de hojas y tallos, pero se produce en detrimento de los órganos reproductivos; sin embargo, cuando se presentan buenas condiciones de luz y calor, los niveles de nitrógeno pueden ser incrementados para obtener un crecimiento continuo con la finalidad de obtener el máximo potencial productivo de frutos (Papadopoulos, 1991).

Según Adjanohoun (1996) el nitrógeno favorece el crecimiento y el rendimiento, porque la abundancia de clorofila en la parte aérea hace prever una intensa actividad asimilativa, un intenso crecimiento y una elevada cosecha.

Reportan Batista y Felipe (1990) que al aplicarse altas dosis de nitrógeno tiende a incrementarse el desarrollo vegetativo del tomate, aumentando los contenidos de materia seca de las partes aérea y radical como resultado del efecto que ejerce sobre el sistema fotosintético.

Angelov (1974) señala que el rendimiento se incrementa con la dosis de nitrógeno hasta un determinado nivel por encima del cual se produce un decrecimiento del mismo, constituyendo esta la razón para aplicar las dosis establecidas por el Servicio Agroquímico, basadas en los resultados de las investigaciones sobre nutrición, análisis de suelo, tejido vegetal y tipos de suelo (MINAGRI, 1994).

Ganmore-Newman y Kafkafi (1980) evaluando el efecto de la temperatura y la fertilización nitrogenada determinaron que fuentes nitráticas incrementaban el desarrollo y la ramificación de la raíz principal a temperaturas de 16-24°C, mientras que a 34°C la elongación disminuyó al tiempo que la ramificación se incrementaba; en tanto, con portador amoniacal mas inhibidores de la nitrificación, el sistema radical de la planta fue corto, denso y poco ramificado, pero en la medida que se va incrementando la participación del nitrato el sistema radical se hace más amplio, fino y con largas ramificaciones.

Estos mismos autores señalan que con temperaturas hasta 34°C y con fuente nitrática hay incrementos de la masa fresca del tallo y de la raíz, cuando la fuente es amonio la masa máxima de raíces y tallo se produce a 16 y 24°C, respectivamente y cuando se combinan ambas fuentes el máximo crecimiento ocurre entre los 16-24°C. La producción de materia seca en la parte aérea se incrementó con nitrato a temperaturas de 24-34°C, mientras que con fuente amoniacal disminuyó. Con temperaturas superiores a 34°C hubo decrecimiento de la masa seca de raíces.

De acuerdo a algunos autores, el tomate no tiene preferencia marcada por el tipo de ión nitrogenado (NO_3^- o NH_4^+), por lo que pueden aplicarse indistintamente (De Geus, 1967, citado por Adjanohoun, 1996); sin embargo, Zornosa y Carpena (1983) señalan que el tipo de ion si debe tenerse presente porque influye en las interacciones catiónicas durante

la asimilación, ejerciendo un efecto pronunciado sobre la absorción y utilización de otros iones.

Generalmente la nutrición nitrogenada con fuentes nítricas incrementa los rendimientos, pero también se incrementa la incidencia de enfermedades, sobre todo la pudrición blanda, mientras que con fuentes amoniacales los nemátodos tienen un desarrollo limitado, lo que no sucede con fuentes nítricas (Rodríguez, 1992).

2.2.4.2. Requerimientos de fertilizante nitrogenado.

El tomate es un cultivo exigente a la fertilización mineral, en sentido general, y a la nitrogenada, en particular, si se quieren obtener rendimientos satisfactorios. Los informes mundiales fijan la dosis media que se aplica al tomate en un rango de 100-150 kg N.ha⁻¹ para plantaciones tradicionales, mientras que para sistemas de cultivo intensivo las dosis pueden llegar a niveles cercanos a los 300 kg N.ha⁻¹ (Hobbelink y col., 1997).

Según informes de Pérez-Valenzuela y Erquiaga (1997), en Brasil se han obtenido rendimientos potenciales de 70 t.ha⁻¹ con dosis de 100 kg N.ha⁻¹ y otros investigadores brasileños señalan niveles adecuados para el cultivo con valores entre los 90-100 kg N.ha⁻¹ (Faria y Pereira, 1987; Silvia Junior y Vizzoto, 1990). Barbosa (1993) recomienda entre 100-120 kg N.ha⁻¹ y Faria y col. (1996) recomiendan la aplicación de 150 kg N.ha⁻¹ fraccionado en tres aplicaciones, una antes de plantar o del trasplante y dos después de la plantación para obtener rendimientos entre 53.4 y 63.8 t.ha⁻¹.

Los máximos rendimientos se alcanzan en California con dosis entre 100 y 200 kg N.ha⁻¹ (Hartz, Lestrangle y Mc. May, 1994), y en Francia, señala Pirelli (1987), se aplican 150 kg.ha⁻¹ de nitrógeno y 250 kg.ha⁻¹ de potasio para obtener un rendimiento de 50 t.ha⁻¹ de tomate, significando que las dosis que se aplican tienen que estar en función de la variedad o cultivar, del rendimiento esperado, del lugar que ocupa el cultivo en la rotación, de la materia orgánica aplicada, de los factores climáticos y agronómicos, la agrotecnia y de la fertilidad original del suelo.

Según se señala en un informe de Pérez-Valenzuela y Erquiaga (1997) donde aplicaban fósforo y nitrógeno por separado a razón de 80 y 100 kg.ha⁻¹ y la combinación de los dos nutrientes, se obtuvo un adelanto de la floración con la fertilización fosfórica respecto a la nitrogenada; en cuanto a los rendimientos, estos fueron superiores a las 70,5 t.ha⁻¹, con el mayor incremento para la combinación de fósforo y nitrógeno con rendimientos superiores a las 100 t.ha⁻¹.

En Holanda para plantaciones tradicionales se aplican dosis entre 75-150 kg N.ha⁻¹, pero en cultivo intensivo con variedades altamente productivas se pueden aplicar dosis de hasta 225 kg N.ha⁻¹ (Hobbelink y col., 1997).

En Cuba la fertilización nitrogenada del tomate se realiza con dosis entre los 125-250 kg.ha⁻¹, en dependencia del tipo de suelo, el grado de fertilidad y el aprovechamiento de los nutrientes (Muñiz, 1996).

Para los suelos Ferralíticos Rojos se recomiendan aplicar dosis medias de 150 kg N.ha⁻¹ (MINAGRI, 1992) con fraccionamiento de la dosis: 25% en el trasplante y el resto entre los 25-30 días después del trasplante, para obtener rendimientos promedios del orden de las 10 t.ha⁻¹.

Guzmán y col. (1979), en suelo Ferralítico Rojo y para la época óptima, recomendaban de 100 a 150 kg N.ha⁻¹, mientras que Martí y Lewis (1979) recomendaban dosis entre 75 y 225 kg N.ha⁻¹ en dependencia del cultivar y la época de siembra, priorizando las mayores aplicaciones para la etapa de invierno.

Las extracciones y exportaciones del cultivo pueden variar en dependencia de la variedad utilizada, la época de siembra y el sistema de cultivo; sin embargo, los requerimientos de nutrientes se consideran dependientes de los rendimientos del cultivo (Maestrey, 1986).

Domínguez (1982) plantea que el tomate es un cultivo que extrae cantidades modestas de nutrientes en relación con otros cultivos pues, para una cosecha de 40 toneladas, puede extraer 120, 25, y 150 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, pudiendo extraer entre el 20 y el 30 % del nitrógeno hasta el inicio de la floración, pero estos valores se incrementan significativamente con la formación de los órganos reproductivos

Guenkov (1969) señala que una cosecha de tomate de 40 toneladas puede extraer nutrientes en el orden de los 103, 16 y 144 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), respectivamente; por su parte, Fernández (1975) expresa que el tomate puede absorber grandes cantidades de potasio y nitrógeno, que llegan a estar en el orden de 67 kg.ha⁻¹ para el nitrógeno, 101 kg.ha⁻¹ para el potasio y alrededor de 5 kg.ha⁻¹ para el fósforo, para una cosecha de 20 t. ha⁻¹, pudiendo exportar con los frutos hasta un 55% del N y del K total y un 76% del P.

Maestrey y col. (1987) reportan que la producción de tomate absorbe un promedio de 370 kg.ha⁻¹ de N, 50 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 680 kg.ha⁻¹ de K₂O, 290 kg.ha⁻¹ de Mg y 45 kg.ha⁻¹ de Ca, citando rangos de extracción para suelos Ferralíticos Rojos del orden de 2,3 - 3,9 kg de N, 0,28 - 0,42 kg de P₂O₅ y de 3,0 - 4,9 kg de K₂O por cada tonelada de frutos producida, con valores de exportación de 1,38 - 1,54 kg de nitrógeno, 0,14 - 0,24 kg de fósforo y de 2,0 - 2,1 kg de potasio por cada tonelada de fruto.

2.3. Los hongos micorrizógenos arbusculares como biofertilizantes.

2.3.1. Caracterización de los hongos MA.

Uno de los casos más interesantes de simbiosis en el reino de las plantas fue reconocido cien años atrás e involucra a hongos que viven en y alrededor de las raíces de las plantas superiores y se denominan hongos micorrizógenos vesículo arbusculares (HMVA) o solamente micorrizógenos arbusculares (HMA) (Jannerette, 1991; Diederichs y Moawad, 1993).

Los HMA pertenecen al pequeño orden Glomales dentro de la clase Zygomycetes y según reportan Simón y col. (1993) su origen está en un rango de 353 - 452 millones de años atrás, estando presentes en familias de plantas que tienen miembros de alta importancia económica. (Poaceae, Fabaceae, Solanaceae y Rosaceae).

Las plantas que establecen asociación con los HMA muestran respuesta variable, estando en un rango desde mutualista a parasítico, pudiendo estar influenciada esta respuesta por la humedad del suelo, la disponibilidad de nutrientes inorgánicos, el sustrato, el pH, la especie de HMA, la especie o variedad de planta hospedera y el tipo de sistema radical de la planta hospedera (Dhillon y Ampornpan, 1992).

Reeves (1987) establece que el éxito para el establecimiento de la simbiosis está en dependencia de la especie de planta y su dependencia con la micorriza, existiendo plantas que no forman micorriza y otras que son micorrizadas de forma facultativa u obligada.

La Dependencia Micorrízica (DM) fue descrita por Gerdeman y Trappe (1975) como el grado en el cual una planta es dependiente de la micorriza, condicionado su máximo crecimiento o producción al nivel de fertilidad del suelo, significando que es preciso determinar la DM para poder comparar el crecimiento entre las plantas micorrizadas y no micorrizadas a diferentes niveles de fertilidad.

La estrecha relación entre el HMA y la planta hospedera esta dada por el estatus de biotrófico obligado del hongo, el que no puede vivir en ausencia del hospedero pues su crecimiento es relativamente limitado; sin embargo, en presencia de raíces, el hongo desarrolla el micelio vegetativo, el cual puede colonizar entre el 60-90 % de la longitud del sistema radical (Becar y Piché, 1989; Bonfante y Bianciotto, 1995).

2.3.2. Características generales de la simbiosis planta - HMA.

Las relaciones entre las especies están definidas por la interacción entre cada especie (Bronstein, 1994), considerándose la asociación simbiótica entre los hongos del suelo y las

raíces de las plantas como fieles exponentes de un mutualismo clásico, pues existe beneficio recíproco en el intercambio de minerales y productos orgánicos (Smith y Smith, 1996), aunque se puede dar el caso de que en la respuesta de la planta a los rangos de colonización micorrízica se den situaciones positivas, neutrales y negativas.

La simbiosis está caracterizada por una penetración inter e intracelular del hongo en las células corticales de las raíces de la planta, sin modificar la morfología externa del hospedero, y la subsiguiente formación de vesículas del hongo (ausentes en algunas especies) y arbuscúlos en los tejidos de la raíz (Peterson y Farquhar, 1994); en algunos casos, dependiendo de la especie, se pueden formar esporas dentro de las raíces, mientras que en el exterior de las mismas se forman las esporas y el micelio (Sieverding, 1991).

2.3.3. La micorrización y la nutrición de las plantas.

Los HMA tienen un papel preponderante en la adquisición de nutrientes de la solución del suelo, aumentando los volúmenes de suelo que son explorados y la superficie de contacto entre el hongo y la raíz de la planta, que adquiere una disposición espacial adaptada al funcionamiento de la simbiosis (Bertha y col., 1990; Strullu, 1991).

Según Howeler y col. (1987) e Izquierdo y col. (1994), el efecto más evidente de los HMA está en su papel sobre la nutrición de las plantas, representado en los efectos sobre el crecimiento y la producción de las plantas.

Numerosos eventos del ciclo de vida de las plantas se ven favorecidos con el establecimiento de la simbiosis con hongos micorrizógenos; tales son los casos del crecimiento (Diederichs y Moawad, 1993; Schweiger, Robson y Barrow, 1995; Biricolti y col., 1997), la reproducción (Koide y col., 1988; Lu y Koide, 1994), la tolerancia a la sequía (Nelsen y Safir, 1982; Bethlenfalvay y col., 1988; Trent y col., 1989) y la resistencia a patógenos (Dehne, 1982; Carling, Roncadori y Hussey, 1996), pero todos están influenciados de forma directa o indirecta con la nutrición de la planta.

La simbiosis micorrízica frecuentemente es reconocida por su efecto beneficioso sobre la nutrición y el contenido de agua de la planta hospedera; la nutrición con cobre, zinc y especialmente fósforo se ve favorecida con la micorrización (Gilmore, 1971; Lambert y col., 1979; Pakosky, 1986; Fitter, 1989), aunque también se reporta incremento de la absorción de iones más móviles como Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- (Buwualda y col., 1983).

Como resultado del buen funcionamiento de la simbiosis hay un efecto directo sobre la nutrición e indirecto sobre la fijación biológica del nitrógeno, la mineralización y/o solubilización de nutrientes de la rizosfera y la traslocación y eficiencia en el uso de los nutrientes (Bolan, 1991; Izquierdo y col., 1994).

Los posibles mecanismos mediante los cuales los HMA realizan la absorción de los nutrientes han sido sugeridos por Siqueira (1988) y Bolan (1991):

- ❖ Aumento de la capacidad absorptiva de la raíz. (Efecto fisiológico).
- ❖ Modificaciones morfológicas y fisiológicas en raíces de plantas micorrizadas.
- ❖ Absorción de nutrientes disponibles no accesibles por las raíces de plantas no micorrizadas, directamente por las hifas e indirectamente favoreciendo el desarrollo radical.
- ❖ Solubilización y mineralización de nutrientes de formas no disponibles para las raíces no micorrizadas.
- ❖ Almacenamiento temporal de nutrientes en la biomasa fúngica o en las raíces, evitando su inmovilización química, biológica o su lavado.
- ❖ Favorecimiento del incremento de las poblaciones de microorganismos mineralizadores, solubilizadores y diazotróficos en la micorrizosfera.
- ❖ Amortiguación o disminución de los efectos adversos del pH, Al^{+3} , Mn^{+3} , metales pesados, salinidad, estrés hídrico y ataques de patógenos al sistema radical, sobre la absorción de nutrientes.

La presencia de HMA en suelos de baja fertilidad con fuentes limitadas de fósforo y de otros nutrientes es determinante ya que los sistemas de hifas exteriores tienen por función absorber cualquier fuente disponible de fósforo y otros elementos como calcio, magnesio,

manganeso, azufre, y zinc (Botello y Ferrera-Cerrato, 1987); esta extensión de la red de hifas externas permite a la planta hospedera tener una mayor superficie de contacto con el suelo, ampliando el radio de absorción de la raíz.

Señalan Nye y Tinker (1977) que el volumen de suelo explorado por las hifas de las plantas micorrizadas puede llegar hasta 8 cm después de la superficie de la raíz y favorecer la nutrición de iones de poca movilidad como el fósforo, aunque también se favorece la nutrición nitrogenada, particularmente cuando el ion NH_4^+ es prácticamente inmóvil y constituye la mayor fuente de nitrógeno asimilable para la planta (Smith, 1980; Bowen y Smith, 1981).

Los HMA, aunque no son capaces de fijar N_2 , favorecen la adquisición de N por medio de sus efectos indirectos y del incremento en la absorción del nutriente del suelo, pues las hifas son capaces de absorber varias formas de nitrógeno y transferirlos a la planta (Siqueira, 1985; Fernández, 1997), señalándose que son capaces de utilizar tanto fuentes nítricas como amoniacales y comprobándose que la absorción del NH_4^+ puede ocurrir a concentraciones más bajas que aquellas en que normalmente lo hace la raíz. No obstante, la mayor absorción del nitrógeno tiene lugar como NH_4^+ , que es asimilado en forma de glutamina, transformado a trehalosa y de esta forma resulta traslocado (Carradus, 1967, citado por Strullu, 1991).

En la asimilación del NH_4^+ se ha reportado la actividad glutamino-sintetasa, mientras que la asimilación del NO_3^- se asocia con la actividad nitrato-reductasa que, aunque pequeña, es suficiente para garantizar el crecimiento a niveles comparables a los obtenidos con la nutrición amoniacal (Siqueira, 1985).

Según Barea y col. (1991) y Chambert y col. (1980), los mayores efectos de los HMA están enmarcados en la absorción del NH_4^+ ya que el NO_3^- se difunde más rápidamente en la rizosfera; sin embargo, en suelos con altos niveles de nitrificación se crea la expectativa de que las plantas micorrizadas hagan mejor utilización del NO_3^- .

Según lo reportado por Robson y col. (1993), los mayores beneficios de los HMA en los ecosistemas agrícolas y hortícolas son el nivel de colonización de la raíz por el hongo y el adecuado suministro de fósforo al vegetal.

Los HMA dan acceso al fósforo del suelo no aprovechable por las raíces de la planta, incrementando su absorción y utilización por la planta, pudiendo incrementar la producción de los cultivos, aún en condiciones donde la fertilidad fosfórica del suelo no satisface los límites mínimos requeridos para el crecimiento de la planta (Medina y col., 1988).

2.3.4. Los HMA como biofertilizantes.

Los HMA tienen un rol importante en el mejoramiento de la nutrición de las plantas colonizadas; sin embargo, el efecto más notable de ellos en etapas tempranas del crecimiento es el incremento de la biomasa vegetal.

Así tenemos que para la sp. *Trifolium repens* se encontraron incrementos en la biomasa de 0 a 300% (Hayman y Mosse, 1979), mientras que Abbott y Robson (1985) en la misma especie vegetal reportan incrementos del 150%.

Fernández y col. (1999) estudiaron el efecto del inoculante micorrizógeno **EcoMic** sobre el rendimiento del arroz (*Oriza sativa*), sorgo (*Sorghum vulgares*) y maíz (*Zea mays*), obteniendo incrementos entre el 15 y el 30 %.

En plantaciones de *Medicago sativa* inoculada con *Glomus caledonius* se señalan incrementos en la biomasa del orden de 400% (Owusu-Bennoah y Mosse, 1979), en tanto que Nielsen y Jansen (1983) obtuvieron aumentos en la masa seca y en los contenidos de N, P y K en la parte aérea.

Aguirre (1985), citado por Guzmán y Cerrato (1990) en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) inoculado con una mezcla de sp. de *Glomus* se han obtenido incrementos en el área foliar, la relación parte aérea/raíz, la producción de masa seca, el número de flores y vainas y el rendimiento de grano.

Fernández y col. (1997) estudiaron el efecto de diferentes cepas de HMA con distintas dosis de fertilización mineral sobre la productividad del arroz en condiciones de inundación, evidenciándose un efecto benéfico de las cepas de HMA sobre la producción de arroz con el mejor resultado para la cepa *Glomus fasciculatum*.

En plantas micorrizadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) se apreciaron mayores rangos de transpiración y fotosíntesis que en plantas no micorrizadas y ese resultado fue posible por el incremento del área superficial aportado por la hifa (Trent y col., 1989); por otra parte, Talukdar y Germida (1994), en el mismo cultivo, obtuvieron incrementos en la biomasa vegetal y en el contenido del fósforo foliar y de los granos.

En plantas de interés ornamental la inoculación endomicorrízica incrementó la altura de la planta y el diámetro de la flor de crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*) (Jaen y Ferrera-Cerrato, 1988).

Según Sánchez y col. (1992), la inoculación de la flor de Noche Buena (*Euphorbia pulcherrima*) con *Glomus mosseae* y fertilización NPK indujo adelantos de la floración en relación con plantas solo fertilizadas o en plantas control; en tanto que, en plantas de rosas, se registró un incremento significativo en el crecimiento (Davies, 1987, citado por González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1994).

Además de su efecto sobre el crecimiento, los HMA favorecen el crecimiento radical y la fijación biológica del nitrógeno. Así, en plantas que forman simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, contribuyen a elevar los contenidos de nitrógeno del suelo (Siquiera, 1988).

Incrementos en la masa fresca y seca y en los contenidos de nitrógeno se reportan para tres especies de *Epacridaceae* micorrizadas a las cuales se le adicionó N y fórmula completa en comparación con plantas abastecidas solamente con agua desionizada (Bell y col., 1994).

Según Huang y col. (1985), en plantas micorrizadas de *Leucana leucocephala* el área foliar se incrementó y las hojas duplicaron su longevidad, mientras que en leguminosas tropicales las concentraciones de N en los tejidos se incrementaron cuando hubo deficiencias severas de P, lo cual puede estar dado por el aprovechamiento de la fijación del N₂.

Reportes de Ahiabor e Hirata (1994) al evaluar dos cepas de HMA en tres leguminosas tropicales: *Vigna unguiculata* L., *Cajanus cajan* L. y *Arachis hypogaea* L., comprobaron que en todas las leguminosas la producción de materia seca se favoreció con la inoculación, los contenidos de P fueron altos en los tres cultivos, mientras que la concentración del N se redujo considerablemente por ambos inoculantes, probablemente por un efecto de dilución por el incremento del crecimiento de la parte aérea y/o la transferencia de N desde las hojas y el tallo hacía las vainas.

Es conocido que en la simbiosis entre plantas leguminosas y bacterias del género *Rhizobium* es necesario un adecuado suministro de P para que tenga lugar la nodulación, sugiriéndose que el posible efecto de los HMA en la fijación del N₂ esta adscripta a la nutrición fosfórica, al ser favorecida de forma directa por acción del hongo sobre la función noduladora de la planta o puede estar mediado por cambios nutricionales del hospedero (Asimi y col., 1980).

Siqueira y col. (1991) y Tsai y Phillips (1991) plantean que los HMA pueden influenciar la función simbiótica al estimular en el hospedero la producción de metabolitos secundarios como sucede en los nódulos radicales (Rolfe, 1988; Hartwig y col., 1990), siendo estas razones las que hacen asignar una posible preferencia en la combinación de *Rhizobium* y HMA como simbiosis (Bayne y Bethlenfalvay, 1987).

La asociación de HMA y *Rhizobium* en plantas leguminosas hace posible que estas puedan crecer bajo limitados regímenes de N y P en los suelos no fertilizados, pues los tres simbiontes garantizan las fuentes de C, N, P para la simbiosis y también el mejor

almacén para los productos obtenidos resultado de su asociación (Bethlenfalvay y Newton, 1991; Barea y col., 1992).

Al evaluar el efecto de coinoculación de *Rhizobium* con *Glomus fasciculatum* y *Glomus mosseae* se encontraron incrementos en la concentración de N en el suelo y en la parte aérea de la planta, sugiriendo que esos incrementos pueden estar determinados por incrementos en la fijación biológica del N₂ (Azcon, Rubio y Barea, 1991).

Corbera y Hernández (1997) inocularon semillas de soya (*Glycine max* Merrill) de la variedad G 7R-315 con *Bradyrhizobium japonicum* ICA 8001 combinada con cepas de HMA (*Glomus manihotis* y *Glomus fasciculatum*) y obtuvieron influencia positiva de los microorganismos sobre el crecimiento y el rendimiento con el mejor resultado para la inoculación de la semilla combinada con *Glomus manihotis*.

En la biofertilización del ajo (*Allium sativum* L), Gómez y Muñoz (1998) evaluaron el efecto de varios microorganismos (*Pseudomona cepacia*, *Azospirillum brasilense* y *Glomus manihotis*) en aplicaciones individuales y combinadas, comparándolas con un control de fertilización mineral, utilizando la tecnología del recubrimiento de la semilla, obteniendo los mejores resultados con la aplicación de *Glomus manihotis* obteniendo incrementos respecto al control del 14 al 48%; además, con el empleo de las rizobacterias se sustituyó el 25 % del fertilizante nitrogenado.

Hernández y Cuevas (1999) estudiaron el efecto sobre el crecimiento y los componentes del rendimiento del arroz (*Oriza sativa*) de tres cepas de HMA del género *Glomus* (*fasciculatum*, *manihotis* e *intrarradices*) comparados con un testigo de producción y, en todos los casos, los tratamientos inoculados superaron al testigo de producción, con el mejor comportamiento para *Glomus fasciculatum*.

En el cultivo del cafeto, Rivera y col. (1997) reportan la utilización de cepas de hongos MA y bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de posturas, demostrándose que la inoculación con HMA garantizó incrementos en el área foliar entre 15 y 250 %, en tanto

que la inoculación combinada de HMA con *Azotobacter chroococcum* presentó un marcado efecto positivo cuando el vivero se estableció sobre suelos de fertilidad de media a alta.

2.3.5. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la micorrización.

Los efectos del empleo de fertilizantes minerales sobre actividad micorrízica, resultan inconsistentes, pudiéndose dar el caso de afectación de la simbiosis (Jensen y Jakobsen, 1980; Panchete y Corpron, 1987; Vivekanandan y Fixen, 1991) y otros donde esta se ve favorecida (Dehne, 1987; Grynder y col., 1990).

Estos resultados no tienen porque ser absolutos, debido a que los sistemas micorrizados son muy complejos y pueden estar influenciados por diferentes variables ambientales no muy bien definidas pero con interacciones muy ligadas a la simbiosis y que será necesario seguir estudiando.

Algunas de estas variables incluidas en la predicción de la respuesta micorrízica a la fertilización incluyen la fertilidad original del suelo, el contenido de materia orgánica del suelo, el balance de nutrientes dentro del fertilizante y la dependencia micorrízica de la especie o cultivar.

La fertilidad inicial del suelo puede definir el efecto de los fertilizantes sobre la micorrización, señalándose que la fertilización es más depresiva sobre los HMA nativos de suelos poco fértiles que sobre los HMA de suelos fértiles (Hayman, 1982; Dehne, 1987).

Según reportes de Hao y Lin (1987), en suelos muy pobres en nutrientes donde la colonización y la producción de esporas de HMA están limitadas por el pobre crecimiento de la planta huésped, la adición de pequeñas cantidades de fertilizantes estimula la colonización y la esporulación, mientras que las grandes aplicaciones la suprimen.

La respuesta micorrízica también puede estar influenciada por el balance de nutrientes dentro del fertilizante; así tenemos que la fertilización balanceada estimuló la colonización micorrízica del maíz (*Zea mays* L), mientras que la aplicación de dosis inusualmente bajas o altas de nitrógeno decrecieron la colonización (Gryndler y col., 1990).

En reportes de Johnson (1991) sobre los resultados obtenidos con diferentes cepas de HMA en experimentos de larga duración con fertilizantes de fórmula completa, pudo comprobar que las esporas de *Gigaspora margarita*, *Gigaspora gigantesca* y *Scutellospora calospora* virtualmente desaparecieron, mientras que la abundancia relativa de *Glomus intraradix* se incrementó significativamente.

En trabajos realizados por Douds y Schenck (1991), estos comprobaron que *Gigaspora margarita*, y *Scutellospora calospora* fueron sensibles a la fertilización, mientras que *Glomus intraradix* resultó indiferente.

La diferencia en la sensibilidad fúngica a la fertilización puede estar dada por las diferencias de requerimientos de carbohidratos solubles disponibles en los exudados radicales (Graham y col., 1981).

Furlan y Bernier-Cardou (1988) estudiaron los efectos de la aplicación de NPK sobre la colonización radical y el contenido de nutrientes de la planta y obtuvieron que la fertilización nitrogenada estimuló la colonización de la raíz, el potasio favoreció la producción de esporas, en tanto que el fósforo redujo la colonización y la producción de esporas.

En cuanto a la nutrición, en las plantas micorrizadas y fertilizadas con N, P y K la absorción de los tres elementos se incrementó en correspondencia con el incremento del nutriente aplicado; en las relaciones internutrientes, donde se aplicó N, disminuyó el P, mientras que la aplicación de K, disminuyó el N y el P en plantas micorrizadas y no micorrizadas.

En otros estudios con fertilizantes nitrogenados y cepas de HMA se ha podido determinar que las especies de HMA difieren en su respuesta, pudiendo verse afectado el porcentaje de colonización y el número y supervivencia de los propágulos.

Numerosos autores señalan que el fertilizante nitrogenado puede suprimir la colonización (Giovanetti y col., 1981; Buwalda y Goh, 1982; Johnson y col., 1984) o favorecerla (Aziz y Habte, 1989; Furlan y Bernier-Cardou, 1989), mientras que Azcón y Barea (1992) plantean que la actividad micorrízica puede favorecer la absorción del nitrógeno.

En experimentos de trigo (*Triticum aestivum*, L) con niveles de nitrógeno, se obtuvo que en la medida que se incrementaron los niveles del fertilizante nitrogenado el número de esporas decreció (Hayman, 1975), mientras que la formación de MA disminuyó o pudo verse inhibida (Giovanetti y col., 1981; Johnson y col., 1984).

La fertilización nitrogenada también puede cambiar la composición de la comunidad de HMA de los suelos, sugiriéndose que la tasa fúngica que predomina en los suelos fertilizados suele tener menores efectos mutualistas que la tasa fúngica predominante en suelos de pastos no fertilizados (Johnson, 1993).

La disminución de la infectividad del suelo con HMA ha sido reportada por Baltruschat y Dehne (1988) cuando a plantaciones de trigo (*Triticum aestivum*, L) de invierno se le aplicaron dosis de nitrógeno entre 100 y 200 kg.ha⁻¹, siendo este efecto más marcado en sistemas de monocultivo que donde se aplicaron rotaciones.

El empleo de fuentes nitrogenadas diferentes también modifica la actividad de los HMA, encontrándose resultados (Azcón y col., 1992) donde el amonio ejerció mayor influencia sobre el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L) no micorrizadas, mientras que el nitrato se comportó mejor en plantas micorrizadas.

Sin embargo, estos mismos autores y Chambert y col. (1980) señalan que al adicionar nitrato al suelo disminuyó la infección micorrízica, aparentemente por reducir la efectividad de los propágulos infectivos (esporas y fragmentos de raíces infectadas).

Según Ortas, Harris y Rowell (1993) al evaluar el efecto de dos fuentes nitrogenadas en el cultivo del sorgo (*Shorgum vulgares* L) inoculado con *Glomus mosseae* sobre el pH rizosférico en suelos calcáreos bajos en fósforo, hubo reducción del pH en presencia de las dos fuentes aunque el efecto más marcado fue para el amonio.

Según reportan Johnson, Jarrell y Menge (1984), al comparar fuentes de fertilizante nitrogenado, las fuentes amoniacaes disminuyeron la colonización radical de *Glomus fasciculatum* en *Chrysanthemum*, efecto que no se observó con las fuentes nítricas.

Buwalda y Goh (1982) reportan que la colonización de raíces de ryegrass por *Gigaspora margarita* se redujo con la aplicación de NH_4^+ o NO_3^- cuando las concentraciones de fósforo estaban por encima del nivel crítico del cultivo. En plantas fertilizadas con relaciones altas $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$, el contenido de fósforo en los tejidos vegetales de *Chrysanthemum* fue mayor que en plantas con relaciones bajas, señalándose que la disminución de la colonización fue debida a los altos contenidos de P en el tejido vegetal.

En el cultivo de la cebolla (*Allium cepa* L), Smith y Smith (1994) reportan que la colonización radical por HMA se vio reducida al aplicar fuentes nitrogenadas (NH_4^+ y NO_3^-) pero sin tener en cuenta el estatus del fósforo en la planta y sostienen que el efecto depresivo del NH_4^+ está dado por la disminución del pH de la rizosfera.

Thompson (1986) también fundamenta que la disminución de la colonización micorrízica es debida a modificaciones del pH rizosférico, al utilizar fuentes amoniacaes, mientras que Aziz y Habte (1989), reportan incrementos de la colonización radical de *Leucaena* por *Glomus aggregatum* con la aplicación de nitrato de amonio.

La colonización micorrízica en raíces de lechuga (*Lactuca sativa* L) con *Glomus mosseae* se incrementó al aumentar la concentración de NO_3^- utilizando niveles medios de fósforo (Hepper, 1983), mientras que Coxwell y Johnson (1985) reportan que la fuente de

nitrógeno tuvo poca influencia sobre la colonización de *Pittoporum* sp. por *Glomus mosseae*.

Según reportes de Dhillon y Ampornpan (1992), plántulas de arroz inoculadas con *Glomus mosseae*, *Glomus microcarpum*, *Gigaspora margarita*, y *Acauloespora laevis* y tratadas con N+P lograron un área foliar mayor que las plantas tratadas con otras combinaciones de nutrientes y hongos.

Las plántulas inoculadas y tratadas con N y N+P lograron una biomasa (parte aérea, raíz y total), longitud de la raíz y relaciones raíz/vástago mayores significativamente que las plantas no micorrizadas y que el resto de los tratamientos.

En plantas de cebolla (*Allium cepa*, L), Furlan y Bernier- Cardou (1989) encontraron incrementos en los contenidos de nitrógeno de la biomasa foliar cuando aplicaron nitrógeno, no sucediendo así cuando aplicaron fósforo solo o F+N; estos mismos resultados también fueron obtenidos por los autores para el cultivo de la soya (*Glycine max* Merrill) y reportan resultados contradictorios Dhillon y Ampornpan (1990) y Dhillon (1991), citado por Dhillon y Ampornpan (1992) en el cultivo del arroz.

2.4. La biofertilización del tomate con hongos micorrizógenos.

El hecho de utilizar microorganismos que en determinado momento pueden favorecer el desarrollo de las plantas de cultivo, ya sea por su forma de actuar, estimulando el crecimiento vegetativo o incrementando el estatus nutricional no implica una supresión de la fertilización mineral, sino garantizar incrementos en su eficiencia y ahorros en su empleo.

Los estudios que se realizan sobre la biofertilización con hongos micorrizógenos deben cumplir estos objetivos, tratando de optimizar las cantidades de fertilizantes a aplicar mediante la cuantificación de los aportes que pueda introducir el biofertilizante al sistema suelo-planta.

Para el tomate, a pesar de ser un cultivo reportado como de alta dependencia micorrízica, existen relativamente pocos informes sobre los efectos de la micorrización en la nutrición y el crecimiento del cultivo, existiendo resultados divergentes.

En estudios recientes Toovey y Galea (1993), evaluando niveles de fósforo y cepas de HMA en el crecimiento y producción, encontró una reducción de la masa de raíces y de la parte aérea así como de la masa de los frutos, indicando un drenaje neto de energía por la especie de hongo MA.

En estudios realizados en Cuba, evaluando la participación de cepas de HMA del género *Glomus* en el crecimiento del tomate, Ferrer y col. (1992) señalan que sobre un suelo Ferralítico Rojo Amarillento de bajos tenores de P, todas las cepas tuvieron un comportamiento similar para las variables altura final, diámetro del cuello, número de flores, masa seca del follaje, raíz principal y raicillas, significando que las cepas *G. fasciculatum* y *G. manihotis* alcanzaron los mayores porcentajes de floración, lográndose un ahorro del 80 % del fertilizante nitrogenado.

Llonín y col. (1998), estudiando la participación de fuentes y dosis de fósforo en un suelo Ferralítico rojo compactado con dos cepas de HMA (*Glomus fasciculatum* y *Glomus manihotis*) sobre el crecimiento y producción, encontró un marcado efecto de las dosis del fertilizante en las variables del crecimiento evaluadas y en la producción, potenciados por la utilización de las cepas de micorrizas, teniendo el mayor efecto con la cepa *Glomus fasciculatum*.

Otros estudios con HMA en tomate dan participación a otros microorganismos sobre todo bacterias rizosféricas, para obtener un efecto estimulador conjunto en el crecimiento y lograr acelerar determinadas fases en el ciclo de desarrollo del cultivo.

El efecto de *Glomus manihotis* y especies de *Azospirillum* y su combinación fue evaluado para conocer su acción sobre el crecimiento y desarrollo en un suelo Ferralítico,

obteniéndose los mejores resultados con inóculos mixtos, alcanzando incrementos en el rendimiento con reducción de un 30 % del fertilizante nitrogenado sin afectar la calidad del fruto (Terry, Pino y Medina, 1998).

En un informe de Hernández y col. (1998), utilizando tres cepas de HMA del género *Glomus* (*fasciculatum*, *manihotis* y *mosseae*) y cinco bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Pseudomona cepacia*, *Pseudomona fluorescens*, *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroocooom*) para conocer cuales cepas y combinaciones eran más eficientes en el crecimiento del tomate, se obtuvieron los mejores resultados con *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroocooom* como cepas independientes, mientras que la combinación de las cepas de HMA con las cepas de *Pseudomonas* resultaban las mejores .

Medina y Pino (1992) evaluaron combinaciones de sp. bacterianas y tres cepas de HMA en etapa de semillero y trasplante con aplicación y sin aplicación de fertilizante nitrogenado, estudiando vigor y estado nutricional en la primera etapa y rendimiento, estado nutricional e infección micorrízica en la segunda etapa, obteniendo una reducción del 80 % de la fertilización nitrogenada con buenos resultados en la nutrición y el rendimiento.

Cuevas (1998), por su parte, reporta que la biofertilización en la fase de semillero con bacterias rizosféricas del género *Azospirillum* y hongos micorrizógenos del género *Glomus* permitió obtener elevados rendimientos los cuales superan en 5 t.ha⁻¹ los rendimientos alcanzados en la producción.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Condiciones experimentales generales

La investigación se realizó en el Área Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicada en los 23° Latitud Norte y los 82° 12' de Longitud Oeste, a 138 m snmm, en la provincia de la Habana, durante el período comprendido de Octubre de 1997 a Abril de 1998, el cual presentó condiciones climáticas típicas para la época, según se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comportamiento promedio de algunas variables climáticas durante el período experimental.

Variables climáticas	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
Humedad relativa (%)	83	85	84	75	77	76	75
Precipitación (mm)	5.7	2.0	3.3	3.3	5.3	0.7	5.8
Temperatura media (°C)	24.4	24.2	23.2	23.6	22.5	21.5	23.2

Para cumplimentar los objetivos propuestos, se montaron dos experimentos en condiciones semicontroladas, utilizando un suelo Ferralsol (Ferralítico Rojo desaturado, según Hernández, 1995) cuyas características químicas aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales características químicas del suelo.

pH (H ₂ O)	M.O (%)	P (mg /100 g)	K ⁺ (cmol / kg)	Ca ²⁺ (cmol / kg)	Mg ²⁺ (cmol / kg)
6.50	2.51	3.4	0.44	8.50	1.60

- ❖ pH (H₂O): potenciometría
- ❖ M.O: Walkey – Black, según Jackson (1964).
- ❖ P : Oniani
- ❖ K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ : Fotometría de llama.

La valoración de la fertilidad del suelo refleja la presencia de condiciones ligeramente ácidas, con contenidos medios de materia orgánica, fósforo asimilable y potasio cambiante, en tanto las relaciones intercatiónicas son adecuadas (MINAGRI, 1980).

Para el montaje de los experimentos se empleó la variedad de tomate INCA 9-1 y se siguió un diseño Completamente Aleatorizado con arreglo factorial, complementado con testigos de referencia (Caballero, 1998)) en el caso del experimento 2, evaluando dos fuentes nitrogenadas -amoniaco y nítrico- ambas a dosis de 60.75 ppm y 121.5 ppm de nitrógeno/ macetas, dos cepas de hongos MA -*Glomus fasciculatum* y *Glomus clarum*- con títulos de 415 y 350 esporas/ 50 g de suelo, respectivamente, y la combinación de los tres factores (fuente, dosis y micorrizas). Se aplicó una fertilización de fondo con fósforo y potasio, a razón de 40 y 80 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O, respectivamente, utilizando como portadores de N, P y K la urea y el nitrato de potasio, el superfosfato triple y el cloruro de potasio, respectivamente.

3.2. Descripción de los experimentos.

3.2.1. Experimento 1: Efecto de la micorrización y la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de plantas de tomate.

En macetas con capacidad para 1 kg de suelo se montaron los siguientes tratamientos, replicados 12 veces:

T1	N-NH ₄ ⁺ (60.75ppm)	T7	N-NO ₃ ⁻ (60.75ppm)
T2	N-NH ₄ ⁺ (60.75ppm)+ <i>Glomus fascicul.</i>	T8	N-NO ₃ ⁻ (60.75ppm)+ <i>Glomus fascicul.</i>
T3	N-NH ₄ ⁺ (60.75ppm) + <i>Glomus clarum</i>	T9	N-NO ₃ ⁻ (60.75ppm) + <i>Glomus clarum</i>
T4	N-NH ₄ ⁺ (121.5 ppm)	T10	N-NO ₃ ⁻ (121.5 ppm)
T5	N-NH ₄ ⁺ (121.5 ppm)+ <i>Glomus fascicul.</i>	T11	N-NO ₃ ⁻ (121.5ppm)+ <i>Glomus fascicul.</i>
T6	N-NH ₄ ⁺ (121.5 ppm) + <i>Glomus clarum</i>	T12	N-NO ₃ ⁻ (121.5 ppm) + <i>Glomus clarum</i>

Se realizaron muestreos de plantas hasta los 60 días, con frecuencia quincenal, evaluándose las variables de colonización fúngica y las producciones de masa seca foliar, radical y total, así como el análisis del crecimiento utilizando el Método Clásico descrito y utilizado por Torres (1985), para lo cual se utilizó la masa seca total.

3.2.2. Experimento 2. Efectos de la fertilización nitrogenada y la inoculación micorrízica sobre la nutrición del tomate.

En macetas con capacidad para 6 kg de suelo, se sembraron 2 plantas de tomate, conformando los siguientes tratamientos, replicados 6 veces:

T1	$N_0P_0K_0$	T9	$N-NH_4^+(60.75 \text{ ppm}) + Glomus fascicul.$
T2	$N_0P_{40}K_{80}$	T10	$N-NH_4^+(121.5 \text{ ppm}) + Glomus fascicul.$
T3	$N-NH_4^+(60.75 \text{ ppm})$	T11	$N-NO_3^-(60.75 \text{ ppm}) + Glomus fascicul.$
T4	$N-NH_4^+(121.5 \text{ ppm})$	T12	$N-NO_3^-(121.5 \text{ ppm}) + Glomus fascicul.$
T5	$N-NO_3^-(60.75 \text{ ppm})$	T13	$N-NH_4^+(60.75 \text{ ppm}) + Glomus clarum$
T6	$N-NO_3^-(121.5 \text{ ppm})$	T14	$N-NH_4^+(121.5 \text{ ppm}) + Glomus clarum$
T7	<i>Glomus fasciculatum</i>	T15	$N-NO_3^-(60.75 \text{ ppm}) + Glomus clarum$
T8	<i>Glomus clarum</i>	T16	$N-NO_3^-(121.5 \text{ ppm}) + Glomus clarum$

Se evaluaron la altura y el diámetro del cuello del tallo en muestreos a los 45 y 75 días, mientras que la producción de masa seca y las concentraciones foliares fueron evaluadas al momento de máxima floración.

Las extracciones totales, los índices de eficiencia fisiológicos y la eficiencia agronómica para los tres elementos se analizaron teniendo en cuenta solamente los tratamientos con participación de los tres factores en estudio.

3.3. Evaluaciones realizadas:

Parámetros fúngicos:

- ❖ % de colonización micorrízica y masa del endófito.

Crecimiento y producción:

- ❖ masa seca foliar, radical y total, tomando cuatro plantas por tratamiento y secando en estufa a 70 °C hasta peso constante.
- ❖ altura (cm), medida en todas las plantas con regla graduada desde la base del tallo hasta la primera ramificación.
- ❖ grosor del cuello (cm), medido en todas las plantas con pie de rey.
- ❖ utilizando una densidad de 37 037 plantas -marco de plantación de 0.9 x 0.3 m-, según Moya (1998).

Estado nutricional y aprovechamiento de los nutrientes:

- ❖ contenido foliar de N, P, K, mediante muestreo en el momento de máxima floración.
- ❖ extracción de nutrientes, índices de Eficiencia Fisiológicos y Eficiencia Agronómica, por cálculo según las expresiones:

$$Q = a \times b / 100$$

donde:

Q: extracción.

a: Contenido de masa seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

b: Contenidos de elementos nutrientes (% en masa seca).

$$C.A = \text{kg nutriente extraído} / \text{kg nutriente aplicado} \times 100$$

donde C.A = coeficiente de aprovechamiento.

$$E.A = \text{kg frutos} / \text{kg elemento aplicado}$$

donde = E. A: eficiencia agronómica.

3.4. Métodos empleados.

Parámetros fúngicos: Método de intersección de cuadrantes descrito por Giovanetti y Mosse (1980).

Contenidos foliares de N, P, K:

- ❖ Nitrógeno: Método de Kjeidahl.
- ❖ Fósforo: Colorimetría.
- ❖ Potasio: Fotometría de llama

Análisis estadísticos.

La evaluación del crecimiento, según el valor de la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), se realizó por el método clásico descrito y utilizado por Torres (1985), empleando la fórmula:

$$TAC = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$$

Donde P_1 y P_2 son los valores de la masa vegetal en los momentos T_2 y T_1 , respectivamente

Se utilizaron los análisis de varianza de clasificación simple para la comparación de todos los tratamientos y factoriales, con o sin testigo de referencia (Caballero, 1998), para evaluar las interacciones. Cuando se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos se utilizaron las Dóctimas de Duncan y Tukey para comparar medias al 5 % de probabilidad de error.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Efecto de la micorrización y la fertilización nitrogenada en el crecimiento de plantas de tomate.

4.1.1. Dinámica de la infección micorrízica.

En las Figuras 1.a y 1.b aparece representada la variación de la colonización micorrízica para las cepas *Glomus fasciculatum* y *Glomus clarum* y una variante sin inocular con dosis de 45 y 121.5 ppm de amonio y nitrato, respectivamente.

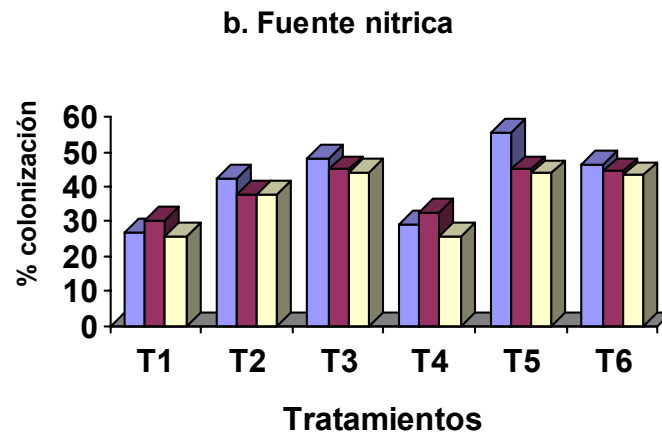
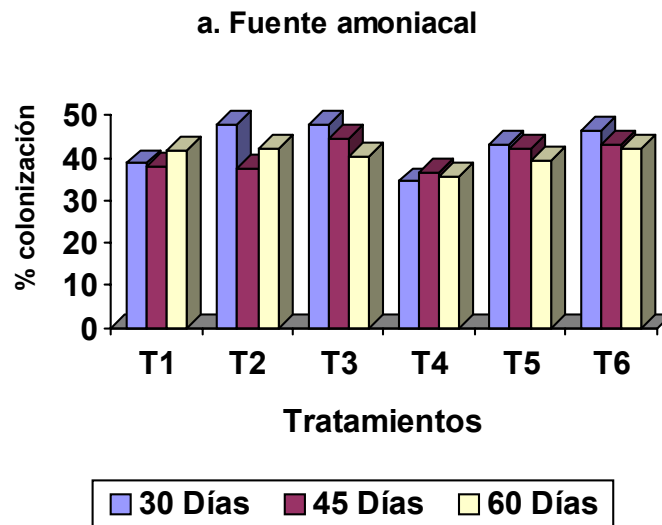
Al analizar el comportamiento para la fuente amoniacal se puede observar que el tratamiento no inoculado mostró un alto porcentaje de colonización, lo que evidencia la presencia de cepas nativas con buena capacidad para colonizar las raíces del cultivo; sin embargo, al evaluar la ocupación fúngica (Tabla 3), una variable más representativa de la efectividad del funcionamiento de la simbiosis, se evidencian diferencias notables a favor de los tratamientos inoculados, los cuales mostraron estabilidad en la colonización con valores cercanos al 40%, y en la ocupación fúngica con buenos comportamientos para ambas especies, independientemente de la dosis de nitrógeno utilizada.

Para la fuente nítrica, el tratamiento no inoculado mostró porcentajes de colonización y ocupación fúngica más bajos que los tratamientos inoculados; sin embargo, la ocupación fúngica se incrementó en comparación con la fuente amoniacal para ambas dosis, con excepción del ultimo muestreo para la dosis de 121.5 ppm.

Todos los tratamientos inoculados mantuvieron porcentajes de colonización estables para ambas dosis de N, mientras que la ocupación fúngica, para la dosis de 121.5 ppm, mostró tendencia a disminuir para *Glomus fasciculatum* mientras que para *Glomus clarum* aumentaba.

Los resultados que se alcanzan en el tratamiento sin inocular hacen suponer una mayor participación de las cepas nativas en la simbiosis cuando la fuente utilizada es nitrato, aunque los valores que se alcanzan hacen suponer una menor capacidad para aprovechar

las fuentes carbonadas que ofrecen las raíces del huésped o de competir con otros miembros de la población fúngica del suelo por esas fuentes carbonadas.



leyenda

AMONIO T1: T3: 60.75 ppm (SM., G.f., G.c) T4:T6: 121.5 ppm (SM.,G.f., G.c)

NITRATO T1: T3: 60.75 ppm (SM., G.f., G.c) T2: T6: 121.5 ppm (SM., G.f.,G.c)

Figura 1. Comportamiento de la dinámica de la colonización micorrízica.

(Pearson y col., 1993; Pearson y Jakobsen, 1993), o una menor capacidad para colonizar y favorecer la absorción de nutrientes y el crecimiento del vegetal. (Blaschke, 1991; Sanders y Fitter, 1992) y, en tales casos, la planta es capaz de emitir señales que limitan las contribuciones al hongo.(Pearsons y Jakobsen, 1993; Tommerup, 1995).

Tabla 3. Comportamiento de la masa del endófito arbuscular. (%).

Muestreos (Días)	Tratamientos				
		Amonio (kg.ha⁻¹)		Nitrato(kg.ha⁻¹)	
		45	90	45	90
30	sin micorriza	1.72	0.43	2.51	2.03
	<i>G. fasciculatum</i>	4.02	2.29	3.28	3.79
	<i>G. clarum</i>	5.00	1.63	5.71	2.33
45	sin micorriza	1.40	0.88	3.15	2.03
	<i>G. fasciculatum</i>	3.60	3.74	2.06	2.54
	<i>G. clarum</i>	5.40	4.11	3.27	3.41
60	sin micorriza	1.25	2.06	2.30	1.31
	<i>G. fasciculatum</i>	3.71	3.15	3.05	1.58
	<i>G. clarum</i>	4.93	3.27	3.62	4.24

Con respecto a la fertilización, Abbott y Gazey (1994) señalan que ciertas cantidades de fertilizantes nitrogenados aportadas al suelo, tanto en forma amoniacal como nítrica, tienden a disminuir el pH rizosférico, pudiendo provocar un efecto deprimente de la actividad infectiva del hongo, una reducción de la infectividad de los propágulos y cambios en la comunidad de hongos, pero sobre todo se afecta más la microflora presente en suelos de baja fertilidad.

4.1.2. Dinámica de la producción de masa seca.

En la Tabla 4 aparece reflejado el resumen del análisis de varianza realizado a la producción de materia seca, evidenciándose una interacción múltiple para los tres factores evaluados.

Tabla 4. Resumen del análisis factorial para la producción de masa seca.

Muestreos (Días)	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
F. variación	Masa Seca Foliar				Masa Seca Raíz				Masa Seca Total			
N x D												
N x M												
D x M												
N x D x M	*	*	*	*				*	*	*	*	*

* Existió diferencia significativa.

Al evaluar el comportamiento para la masa seca foliar (Tabla 5) se puede observar que los resultados más favorables se alcanzan con la utilización de 121.5 ppm de nitrógeno fundamentalmente con la fuente nítrica y la participación de la especie *Glomus clarum*, la cual logró además, un magnifico resultado con 60.75 ppm de nitrógeno en forma de amonio, demostrando alta efectividad en la absorción y traslocación del nitrógeno aun a dosis reducidas. Asimismo, el pobre crecimiento alcanzado con las dosis reducidas de ambas fuentes y sin utilizar la inoculación, evidencian un estado nutricional insuficiente para el buen desarrollo del cultivo.

Es notable que los valores que se alcanzan son bajos, lo que puede estar dado por el relativamente pequeño tamaño de las macetas utilizadas, donde las plantas no pueden expresar todo su potencial de desarrollo.

El tamaño de la maceta, el tipo de suelo y la inoculación con HMA pueden afectar la biomasa vegetal, el área foliar y la colonización radical.(Ellis y Law, 1993, citados por Shubara e Inubushi, 1997); estos mismos autores señalan que la interacción tamaño de maceta-suelo y tamaño de maceta-HMA pueden influir también sobre la producción de biomasa.

Tabla 5. Producción de masa seca foliar (g).

Muestreo	15 días	30 días	45 días	60 días
Tratamientos	Media	Media	Media	Media
NH4 60.75 ppm SIN MICORRIZAS	0.120 d	0.394 j	0.653 g	0.772 j
NH4 60.75 ppm + G.fasciculatum	0.135 b	0.738 d	0.826 g	0.910 j
NH4 60.75 ppm + G.clarum	0.129 b	0.572 h	1.971 a	2.433 b
NH4 60.75 ppm SIN MICORRIZAS	0.176 a	0.685 f	1.749 c	1.930 c
NH4 121.5 ppm + G.fasciculatum	0.137 b	0.614 g	1.392 d	1.805 d
NH4 121.5 ppm G.clarum	0.101 c	0.523 i	1.445 d	1.663 e
NO3 60.75 ppm SIN MICORRIZAS	0.099 c	0.987 b	1.001 f	1.230 g
NO3 60.75 ppm G.fasciculatum	0.191 a	0.611 g	1.022 f	1.225 g
NO3 60.75 ppm G.clarum	0.162 ab	0.997 b	1.229 e	1.238 g
NO3 121.5 ppm SIN MICORRIZAS	0.161 ab	0.711 e	1.155 e	1.332 f
NO3 121.5 ppm + G.fasciculatum	0.101 c	0.821 c	0.974 f	1.172 h
NO3 121.5 ppm G.clarum	0.189 a	1.503 a	1.925 b	2.515 a
C.V (%)	10.93	0.35	0.27	1.35
E.S x	0.034**	0.015**	0.021**	0.034**

*medias con letras diferentes difieren a $p \leq 0.05$.

Por otra parte, la producción de masa seca total es, sin lugar a dudas, la mejor evidencia para medir el crecimiento del vegetal, pues muestra la sincronización del desarrollo vegetativo foliar y radical.

En la Tabla 6 se puede observar la dinámica seguida por este índice y en forma general, los resultados que se obtienen tienen mucha similitud con aquellos para la masa seca foliar, y evidenciando que la combinación del nitrógeno con los hongos MA pueden ejercer resultados positivos sobre el crecimiento, encontrándose los mayores incrementos a partir del segundo muestreo, lo que coincide con la fase mutualista de la asociación simbiótica.

Muestreos	15 días	30 días	45 días	60 días
Tratamientos.	Media (g)	Media (g)	Media (g)	Media (g)
NH4 60.75 ppm SIN MICORRIZAS	0.119 f	0.820 i	1.310 f	1.493 h
NH4 60.75 ppm G.fasciculatum	0.150 ef	0.984 f	1.115 f	1.225 i
NH4 60.75 ppm G.clarum	0.262 bc	0.844 hi	2.263 b	2.734 ab
121.5 PPM SIN MICORRIZAS	0.248 bcd	1.033 e	2.226 c	2.425 c
NH4 121.5 ppm + G.fasciculatum	0.176 def	0.806 i	1.807 d	2.462 c
NH4 121.5 ppm G.clarum	0.150 def	0.870 gh	0.827 d	2.118 d
NO3 60.75 ppm SIN MICORRIZAS	0.190 def	1.171 c	1.224 h	1.648 f
NO3 60.75 ppm G.fasciculatum	0.315 a	0.876 gh	1.470 f	1.753 e
NO3 60.75 ppm G.clarum	0.222 cde	1.234 b	1.655 e	1.724 e
NO3 121.5 ppm SIN MICORRIZAS	0.246 bcd	0.893 g	1.457 f	1.689 e
NO3 121.5 ppm + G.fasciculatum	0.138 f	1.097 d	1.314 g	1.534 g
NO3 121.5 ppm G.clarum	0.306 b	1.77 a	2.337 a	3.028 a
C.V (%)	17.09	2.52	1.10	1.10
E.S x	0.02**	0.01**	0.02**	0.02**

** medias con letras desiguales difieren a $p < 0.05$

Al hacer la valoración de los resultados resulta evidente la necesidad de fertilización mineral para este tipo de suelo, constituyendo las dosis de 60.75 ppm para ambas fuentes o combinada con *Glomus fasciculatum* insuficientes para el desarrollo del cultivo, alcanzándose los resultados más estables con la utilización de 121.5 ppm pues, tanto con la dosis sola o combinada con ambas especies de HMA, se obtienen buenos resultados.

Con la especie *Glomus clarum* se logra, aun con la dosis de amonio reducida, un magnifico resultado, tal como se había analizado anteriormente, lo que unido al buen comportamiento de la misma con la dosis de 121.5 ppm de la fuente nítrica hacen suponer la presencia de una especie muy efectiva para el desarrollo del cultivo.

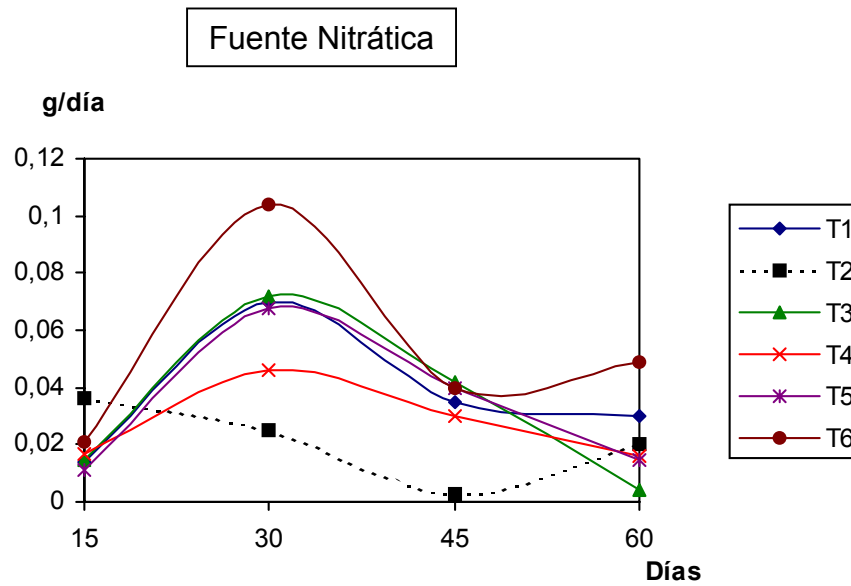
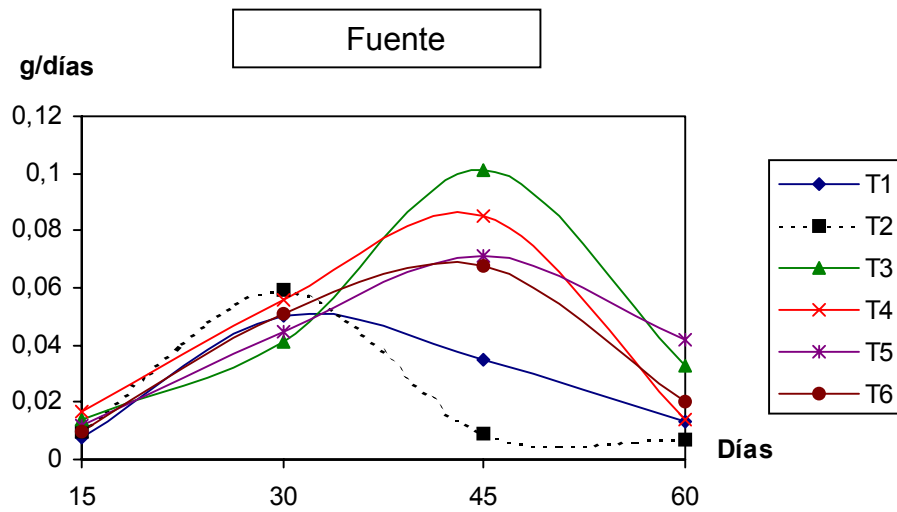
La utilización conjunta de HMA con aplicaciones de diferentes concentraciones de nutrientes generalmente contribuye a incrementar la producción de masa seca; sin embargo, Azcon y col. (1978) señalan que la mayor dificultad está dada en buscar el nivel óptimo de nutriente para lograr el máximo potencial de colonización y de producción de materia seca.

La utilización de estas especies de HMA para el cultivo del tomate, con resultados satisfactorios sobre el crecimiento, ha sido reportada por Alarcón (1998), Cuevas (1998), Llonín y col. (1998), Terry, Pino y Medina (1998), Ferrer y col. (1992) y Hernández y col. (1998), mientras que Nardo y col. (1996) y Ruiz (1997) las citan para otros cultivos.

4.1.3. Análisis del crecimiento para la masa seca total en plantas de tomate fertilizadas con nitrógeno e inoculadas con HMA durante la etapa del crecimiento.

4.1.3.1. Comportamiento de la TAC para la masa seca total.

En la Figura 2 se presenta la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) para los tratamientos resultantes de la combinación de los tres factores evaluados. Al realizar el análisis del incremento diario de la masa seca de la planta, hay que tener presente la presencia de los HMA y, por tanto, el crecimiento debe ser analizado teniendo en cuenta su relación con la dinámica de la micorrización.



leyenda

T1-T3 (60.75 ppm) (SM; G.f; G.c) T4-T6 (121.5 ppm) (SM; G.f; G.c)

Figura 2. Comportamiento de la Tasa Absoluta de Crecimiento.

El análisis del comportamiento para la fuente amoniacal muestra, para la dosis menor, una tendencia a disminuir linealmente para los tratamientos sin inocular y combinado con *G. fasciculatum*, en tanto que la especie *G. clarum* y todos los tratamientos con 121.5 ppm mostraron curvas de crecimiento sigmoidales más representativas del crecimiento de las plantas.

Estos resultados permiten suponer una carencia del nutriente en el suelo imposible de reponer con la aplicación de la dosis menor, lo que restringió el crecimiento excepto en el tratamiento con la participación de *Glomus clarum*, que mostró un buen comportamiento que pudiera estar dado por una mayor contribución del hongo en favor de la nutrición de la planta en estrecha armonía con su propio desarrollo (Siqueira, 1988).

Si se observan en la Tabla 3 los valores de la ocupación fúngica de *Glomus clarum* estos siempre fueron más altos y está reconocido que el funcionamiento correcto de la asociación tiene lugar cuando el hongo crece pero, simultáneamente, es capaz de brindarle a la planta los nutrientes necesarios para que esta pueda crecer.

El comportamiento para la fuente nítrica fue menos estable, encontrándose que los menores incrementos de crecimiento están asociados en ambos casos a los tratamientos donde participan las micorrizas y la dosis menor, con la mayor afectación para la cepa *Glomus fasciculatum*.

El tratamiento sin inocular evidenció un ritmo de crecimiento lento con ambas dosis del nutriente, pudiéndose asociar este comportamiento a la relativa pobre eficiencia de las cepas nativas para ocupar las raíces del cultivo, como lo demuestra su bajo valor de ocupación fúngica.

Con 121.5 ppm los dos tratamientos donde intervienen las especies de HMA muestran valores por encima de la dosis de referencia; sin embargo, la especie *Glomus fasciculatum* parece haber sido afectada como indica la caída de la curva y el bajo valor de ocupación fúngica que muestra este tratamiento.

La utilización de fuentes nitrogenadas, amoniacales o nitráticas, pueden provocar afectaciones al crecimiento vegetal y al normal desarrollo de la simbiosis, de forma que al aplicar pequeñas dosis en suelos de baja fertilidad hay tendencia a incrementar la efectividad de la colonización, pero esta puede disminuir si se incrementan las cantidades aplicadas. (Hao y Lin, 1987; Smith y Smith, 1996)

La evaluación diaria del incremento de la masa seca nos permite confirmar los supuestos analizados anteriormente de que los mejores tratamientos eran aquellos con la dosis de 121.5 ppm y *Glomus fasciculatum* para la fuente amoniacal, en tanto que *Glomus clarum* se comportó mejor con 60.75 ppm para la fuente amoniacal y con 121.5 ppm para la fuente nítrica.

Al hacer un análisis comparativo de las curvas de crecimiento para las formas amoniacal y nítrica es evidente que la forma nitrática es más rápidamente utilizada o que pudo ser la fuente más utilizada alcanzando los máximos incrementos del crecimiento a los 30 días, destacando que la cepa *Glomus clarum* alcanzó los mayores incrementos para ambas dosis; a partir del segundo muestreo cuando hubo tendencia a disminuir el ritmo de crecimiento, el tratamiento con la dosis mayor de nitrato mantuvo elevado su ritmo de crecimiento, este comportamiento puede estar relacionado con el rápido movimiento del ión en el suelo, y el posible lavado, acentuadas estas condiciones por el riego diario característico de las condiciones experimentales en macetas.

Con la fuente amoniacal donde se alcanzan los mayores incrementos del crecimiento a los 45 días; esta diferencia puede estar dada porque en el momento que se alcanza el mayor crecimiento diario la mayor parte del amonio haya sido reducido a nitrato porque las condiciones edafoclimáticas favorecen el proceso de nitrificación y en la medida que se incrementa la presencia del ión este puede ser tomado en mayor cantidad y de esta forma contribuir positivamente con el crecimiento del cultivo, por otra parte en suelos donde predomina el proceso de nitrificación los HMA puedan hacer una mejor utilización del nitrato. (Barea y col., 1991); existen reportes además (Valentine, Osborne y Mitchell, 2001) que plantean que el amonio puede provocar alteraciones del metabolismo del nitrógeno y

el fósforo, pero que estos pueden ser moderados con la colonización de los HMA como ha sucedido en nuestra investigación, al encontrar altos valores de la masa del endófito para la fuente nítrica.

4.2 Influencia de la fertilización nitrogenada y la inoculación con HMA en el crecimiento, la nutrición del tomate.

4.2.1. Comportamiento del crecimiento vegetativo.

En la Tabla 7 está representado el comportamiento de algunos índices de crecimiento del cultivo hasta los 75 días, pudiéndose observar que, tanto a los 45 como a los 75 días, con la utilización de 121.5 ppm de amonio se alcanza el mejor resultado en la altura evidenciando que dosis menores son insuficientes para el buen desarrollo del cultivo, mientras que los bajos valores que se alcanzan en los testigos de referencia confirman que en las condiciones estudiadas el nitrógeno resulta fundamental para garantizar un rápido crecimiento del cultivo. (Adjanoun, 1996; Cuevas, 1998; Maghahaes, 1987).

Para el diámetro el comportamiento fue muy similar a la otra variable evaluada y, al analizar las combinaciones donde participan ambas fuentes de nitrógeno con las cepas de hongos micorrízicos, podemos observar que no existen diferencias muy marcadas, estando este comportamiento asociado, generalmente, a la estabilidad de la variable cuando las condiciones de humedad y nutrientes que favorecen el desarrollo están garantizadas.

En la Tabla 8. aparecen reflejados los resultados de la producción de materia seca, una de las variables más estudiadas en el análisis del crecimiento vegetal, y la longitud radical por ser fieles exponentes del armónico crecimiento de la planta.

Tabla 7.- Influencia de los tratamientos sobre la altura y el diámetro.

Tratamientos	Altura(cm)		Diámetro(cm)	
	45 ddg	75ddg	45 ddg	75ddg
N₀P₀K₀	6.40 f	10.78 g	0.3 e	0.36 f
P₄₀K₈₀	22.26 e	26.86 f	0.54 bcd	0.63 bcde
60.75 ppm NH₄	25.23 de	27.69 f	0.51 bcd	0.61 bcde
121.5 ppm NH₄	33.18 a	38.34 a	0.69 a	0.77 a
60.75 ppm NO₃	24.54 cde	31.32 cde	0.54 bcd	0.67 b
121.5 ppm NO₃	26.25 bcde	32.35 bcd	0.58 b	0.64 bcde
G..fasc.	7.82 f	11.61 g	0.29 e	0.32 f
G.clarum .	7.53 f	9.20 g	0.23 e	0.29 f
NH₄ 60.75 ppm G. fasciculatum.	27.51 bcd	32.59 bc	0.55 bcd	0.59 de
NH₄ 121.5 ppm + G.fasciculatum	30.37 abc	34.71 b	0.55 bcd	0.60 cde
NO₃ 60.75 ppm G.fasciculatum .	25.95 bcde	28.38 ef	0.49 d	0.57 e
NO₃ 121.5 ppm + G.fasciculatum	30.75 ab	35.20 b	0.56 bcd	0.64 bcde
NH₄ 60.75 G.clarum .	25.20 de	29.47 def	0.51 bcd	0.57 e
NH₄121.5 G.clarum .	31.00 ab	34.89 b	0.58 bc	0.61 bcd
NO₃60.75 G.clarum .	26.93 bcde	33.91 bc	0.51 bcd	0.66 bcd
NO₃ 121.5 G.clarum .	24.76 de	32.89 bc	0.50 cd	0.67 b
C.V (%)	14.04	11.22	16.66	14.22
ESx	1.04 **	1.00 **	0.026**	0.027**

** medias con letras desiguales difieren a $p \leq 0.05$

Tabla 8. Producción de masa seca foliar y radical y longitud de la raíz.

TRATAMIENTOS	MASA SECA FOLIAR (G)	MASA SECA RAÍZ (G)	LONGITUD RAIZ (CM)
N0 P0 K0	0.07 g	0.16 d	12.82 abc
N0 P40 K80	0.47 g	0.41 c	14.67 ab
60.75 ppm	3.93 cde	0.55 ab	15.07 ab
121.5 ppm	5.95 ab	0.71 ab	13.42 abc
60.75 ppm	1.61 fg	0.38 c	12.19 bc
121.5 ppm	3.67 de	0.43 c	12.67 abc
G. fasciculatum	0.64 g	0.12 d	11.50 cd
G. clarum	0.85 g	0.12 d	11.58 cd
60.75 ppm + G fasc	4.46 bcde	0.54 bc	14.37 abc
121.5 ppm + G fasc	5.12 bcd	0.38 c	8.45 d
60.75 ppm + G fasc	2.67 ef	0.37 c	13.23 abc
121.5 ppm + G fasc	3.46 def	0.60 bc	12.19 bc
60.75 ppm G clarum	7.42 a	0.88 a	15.70 ab
121.5 ppm G clarum	5.64 abc	0.58 bc	15.82 ab
60.75 ppm G clarum	3.10 ef	0.39 c	11.13 cd
121.5 ppm G clarum	2.73 ef	0.45 c	16.68 a
ES x	0.61**	0.07**	0.20**

**medias con letras desiguales difieren a $p \leq 0.05$.

Se puede observar que, para la producción de materia seca, los mejores resultados se alcanzan con la aplicación de 121.5 ppm como amonio ya sea en aplicación simple o combinada con ambas especies de HMA, lo que indica que empleo de dosis menores resulta insuficiente para el normal desarrollo del cultivo, exceptuando el tratamiento donde *Glomus clarum* con 60.75 ppm de amonio muestra resultados similares a los tratamientos

donde se utiliza la dosis mayor; evidenciando su efectividad en la absorción y traslocación del nitrógeno hacia la planta y permitir un adecuado desarrollo aún en condiciones limitadas de nutrientes; así mismo, los bajos valores que alcanzan los testigos y los tratamientos sólo inoculados demuestran la necesidad del nitrógeno en estas condiciones para garantizar el adecuado crecimiento del cultivo(Adjanoun, 1996; Cuevas,1998).

Al realizar el análisis de la longitud de la raíz resulta notable que en la mayoría de los tratamientos se alcanzaron valores muy similares, lo que es característico de experimentos en macetas pues el sistema radical dispone de un medio saturado de nutrientes y humedad pudiendo alcanzar grandes volúmenes.

En la Tabla 9 se muestran los datos de ocupación fúngica de las raíces, siendo notable la fuerte infección natural que alcanzaron los tratamientos solo fertilizados, con valores comparables a los tratamientos que recibieron inoculación; sin embargo, la masa del endófito, una variable más representativa de la funcionalidad de la simbiosis, estuvo siempre por debajo de los tratamientos inoculados, mientras que estos tuvieron tendencia a incrementar los valores de ocupación fúngica con el incremento de la dosis de fertilizantes.

Estos resultados son coincidencia con los de Dehne (1987) y Grynder y col. (1990), quienes reportaron incrementos en los niveles de colonización y eficiencia simbiótica con el aumento de la fertilización nitrogenada.

Los resultados alcanzados en las evaluaciones fúngicas están estrechamente relacionados con los obtenidos en las evaluaciones del crecimiento y permiten explicar los mayores valores que alcanzan los tratamientos inoculados y bien abastecidos de nitrógeno para todas los índices de crecimiento estudiados.

Tabla 9. Datos de las variables fúngicas.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
% Colonización	44.3	42.7	39.2	43.9	46.1	43.3	41.6	38.7	45	46.1	43.9	42.1
Masa del endófito	2.72	6.01	4.93	5.1	7.29	6.1	3.35	5.05	5.74	3.42	4.2	7.63

Leyenda

T1:T3 60.75 ppm (SM, G f, G c) T4 : T6 121.5 ppm (SM, G.f, G.c) T7:T9 60.75 ppm (SM, G.f, G.c) T10:12 121.5 ppm (SM, G.F, G.c)

4.2.2 Comportamiento de la masa seca total y la extracción total.

En la Tabla 10 aparecen el comportamiento de los porcentajes de N, P y K para todos los tratamientos, evidenciándose diferencias significativas para el nitrógeno y el fósforo, no así para el potasio, lo que pudiera estar dado por el adecuado nivel de este nutriente en el suelo (Tabla 2).

De los tres elementos es el potasio el absorbido en mayores proporciones, seguido del nitrógeno y el fósforo, lo que coincide con lo planteado por Hideaki y col. (1993), citados por Shibara e inobushi (1997), encontrándose las mayores diferencias en los tratamientos testigos y en los inoculados solamente, confirmando la necesidad de fertilización del suelo así como la imposibilidad de la micorrización por sí sola de garantizar los niveles de nutrientes necesarios para una buena nutrición y, por ende, adecuados desarrollo y producción del cultivo.

Al analizar los valores que se alcanzan para el nitrógeno se comprueba que al combinar la micorrización con la fertilización mineral, sobre todo con la dosis máxima, se logran incrementos importantes en los porcentajes del nutriente con ambas fuentes, confirmando que en las plantas micorrizadas la nutrición nitrogenada se ve favorecida, aspecto asociado con un mayor volumen de suelo explorado por las hifas así como con una mayor eficiencia en la traslocación del nutriente hacia las raíces.(Bertha y col., 1990; Izquierdo y col., 1994)

Tabla 10. Efectos sobre los contenidos foliares de N, P y K.

TRATAMIENTOS	N (%)	P (%)	K (%)
N0 P0 K0	1.76 e	0.31gh	4.0
N0 P40 K80	2.56 bcde	0.62 abcd	4.45
60.75 ppm SM	2.74 bcd	0.39 fgh	3.74
121.5 ppm SM	2.70 bcd	0.36 fgh	3.59
60.75 ppm SM	2.65 bcde	0.69 ab	4.09
121.5 ppm SM	2.93 bcde	0.57 bcde	3.37
G. fasciculatum	1.90 de	0.30 gh	3.01
G. clarum	1.81e	0.32 gh	3.91
60.75 ppm NH4 G. fasc.	3.20 ab	0.46 efg	3.6
121.5 ppm NH4 G. fasc.	2.53 bcde	0.37 fgh	4.55
60.75 ppm NO3 G. fasc.	3.17 abc	0.49 cdef	2.91
121.5 ppm NO3 G. fasc.	3.75 a	0.75 a	4.73
60.75 ppm NH4 G. clarum	2.65 bcde	0.48 def	3.04
121.5 ppm NH4 G. clarum	2.17 cde	0.44 efgh	4.66
60.75 ppm NO3 G. clarum	3.55 ab	0.63 abc	3.77
121.5 ppm NO3 G. clarum	3.21 ab	0.51 cdef	3.45
C.V %	0.92	0.15	2.00
ES x	0.18 **	0.03 **	0.39

** medias con letras desiguales difieren a $p \leq 0.05$

En la Tabla 11 se muestran los contenidos de materia seca total y las extracciones totales de N, P y K para todos los tratamientos, pudiéndose observar que los mejores resultados se obtienen en los tratamientos donde se combinan HMA y fertilización mineral, con resultados ligeramente superiores para las variantes donde participa *Glomus clarum*, significativamente diferentes del resto de los tratamientos.

Tabla 11. Efectos sobre los contenidos totales de materia seca y las extracciones totales de N, P y K.

TRATAMIENTOS	masa seca total (kg.ha ⁻¹)	N (kg.ha ⁻¹)	P (kg.ha ⁻¹)	K (kg.ha ⁻¹)
60.75 ppm NH ₄ + G. clarum	352.5 b	32.92 a	5.96 b	37.77 c
121.5 ppm NH ₄ + G. clarum	380.0 a	31.33 b	6.35 a	67.29 a
121.5 ppm NO ₃ + G. fasc.	281.0 e	29.44 C	5.88 b	37.08 c
121.5 ppm NO ₃ + G. clarum	287.5 d	26.58 d	4.21 c	28.51 d
121.5 ppm NH ₄ + G. fasc.	310.0 c	24.31 e	3.55 d	43.72 b
60.75 ppm NO ₃ + G. clarum	240.0 h	20.45 f	3.62 d	21.71 fg
60.75 ppm NH ₄ + G. fasc.	251.7 g	20.27 f	2.91 ef	22.80 f
121.5 ppm NH ₄ SM	261.3 f	18.44 g	2.46 fg	24.51 e
121.5 ppm NO ₃ SM	239.0 i	16.73 h	3.25 e	19.24 g
60.75 ppm NH ₄ SM	242.8 i	16.15 h	2.30 g	22.04 f
N0 P40 K80	211.8 j	11.48 i	2.78 f	19.96 g
60.75 ppm NO ₃ + G. fasc.	187.9 k	11.19 i	1.73 h	10.27 h
60.75 ppm NO ₃ SM	146.9 l	5.72 j	1.48 h	8.83 il
N0 P0 K0	115.8 m	2.36 k	0.41 i	5.36 j
Glomus fasciculatum	111.2 m	2.24 k	0.40 i	4.34 j
Glomus clarum	79.15 n	1.19 l	0.18 i	1.88 k
ES X	0.69 **	0.47 **	0.33 **	0.25
**				

** medias con letras desiguales difieren a $p \leq 0.05$

Lo anterior corrobora que en las plantas micorrizadas existe una mejoría de la nutrición y por tanto del crecimiento y la producción del cultivos y permite explicar el comportamiento de los índices de crecimiento y los valores de rendimiento analizados anteriormente, por otra parte el hecho de que los mejores resultados para el contenido total de materia seca se alcancen con la dosis mayor hacen suponer que esa dosis puede ser adecuada o ligeramente inferior para que el tomate micorrizado eficientemente se desarrolle satisfactoriamente en estas condiciones.

4.2.3. Índice de Eficiencia Fisiológico y eficiencia agronómica.

Los Índices de Eficiencia Fisiológicos para los tratamientos resultantes de la combinación de los tres factores aparecen en la Tabla 12, evidenciándose que, al introducir los hongos MA, hay una mejoría en el aprovechamiento de los fertilizantes, con incrementos importantes para los tres elementos en todos los tratamientos, excepto cuando se aplicó 121.5 ppm como NO_3^- con *Glomus clarum*.

Tabla 12. Efectos sobre los Índices de Eficiencia Fisiológicos.

TRAT.	N	AUMENTO	P	AUMENTO	K	AUMENTO
M0	N1D1	46.4	-	6	-	28.7
	N1D2	29.1	-	15.3	-	21.4
	N2D1	18	-	4	-	13.8
	N2D2	22.3	-	9.4	-	27.3
M1	N1D1	55.3	+ 8.9	9.5	+ 3.05	34
	N1D2	32.7	+ 3.6	17.5	+ 2.2	26.4
	N2D1	26.2	+ 8.2	4.3	+ 0.3	16.1
	N2D2	28.7	+ 6.4	17.9	+ 8.5	67.7
M2	N1D1	104.7	+ 58.3	15.3	+ 9.3	78.9
	N1D2	59.7	+ 30.6	17.5	+ 2.2	96.1
	N2D1	36	+ 18	9.4	+ 5.4	31.6
	N2D2	10	-12.3	4.2	- 5.2	16.9

Leyenda: M0: sin micorrizas, M1: *Glomus fasciculatum*, M2: *Glomus clarum*.

N1: Amonio, N2: Nitrato, D1: 60.75 ppm, D2: 121.5 ppm.

Estos resultados confirman que la utilización de los hongos micorrizógenos arbusculares garantizan una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes minerales (Cuevas, 1998; Terry, 1998; Walker, Safir y Stephenson, 1990).

En la Tabla 13 aparecen los resultados de la eficiencia agronómica de los tratamientos, la cual mostró valores elevados para los tres elementos, siendo evidente que la aplicación de la dosis mayor de nitrógeno incrementó el rendimiento y se obtienen valores de eficiencia agronómicas muy superiores para el fósforo y el potasio en comparación con la aplicación de la dosis menor.

Tabla 13. Efectos sobre la eficiencia agronómica.

TRAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
N	155.5	219.7	97.9	114.8	179.8	96.7	106.1	131.1	203.3	162.1	111.9	98.9
P	175.0	247.2	110.2	258.3	403.7	218.5	119.4	146.3	228.7	364.8	251.9	222.5
K	87.9	123.0	55.0	128.7	201.9	108.3	59.7	73.2	113.7	182.4	125.0	111.2

leyenda

T1- T3: NH₄ 60.75 ppm (SM; G.f; G.c) T4- T6: NH₄ 121.5 ppm (SM; G.f; G.c)

T7- T9: NO₃ 60.75 ppm (SM; G.f; G.c) T10- T12: NO₃ 121.5 ppm (SM; G.f; G.c)

Valoración Económica .

A partir de los resultados alcanzados se evidencia la necesidad del nitrógeno en las condiciones estudiadas para alcanzar un adecuado desarrollo y nutrición del cultivo, evidenciando afectaciones importantes con la reducción de las dosis de ambas fuentes evaluadas en presencia o no de los HMA.

Cuando analizamos la combinación de fuentes, dosis y HMA, se hace evidente que con la utilización de 121.5 ppm con ambas fuentes y cepas y 60.75 ppm de *Glomus clarum* se alcanzan los resultados más satisfactorios.

Los resultados alcanzados nos permiten disponer de otra alternativa importante para la nutrición del tomate pues se pueden alcanzar incrementos del crecimiento y la eficiencia de la fertilización sin la adición de mayores cantidades de fertilizantes minerales, pues la utilización de los HMA logra incrementar la eficiencia de la fertilización a muy bajo costo debido al bajo precio de comercialización del biofertilizante **EcoMic**.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados alcanzados en los experimentos desarrollados se arribó a las siguientes conclusiones:

- ❖ En el suelo Ferralsol (Ferralítico Rojo desaturado) empleado existen cepas nativas de hongos micorrizógenos arbusculares con buena capacidad de colonización de las raíces del tomate; sin embargo, su nivel de ocupación fúngica es bajo, lo que puede ser potenciado mediante la inoculación con las especies *Glomus fasciculatum* y *Glomus clarum*.
- ❖ Las especies de hongos MA *Glomus fasciculatum* y *G. clarum* mostraron altos y estables porcentajes de colonización micorrízica de raíces de tomate cuando fueron inoculadas complementariamente con fuentes nitrogenadas, amoniacales y nítricas, aunque *G. fasciculatum* mostró una disminución significativa cuando se adicionaron 121.5 ppp como nitrato.
- ❖ La producción de masa seca foliar y total alcanzó sus mayores valores cuando se combinaron la aplicación de cualquiera de las fuentes nitrogenadas y la inoculación micorrízica, obteniéndose los mejores resultados con la cepa *Glomus fasciculatum* + 121.5 ppp de amonio y con la cepa *Glomus clarum* con 121.5 ppp de nitrato y con 60.75 ppm y 121.5 ppp de amonio.
- ❖ El análisis de crecimiento demostró que 121.5 ppp con cualquier fuente, con y sin inoculación con hongos MA, es limitante del crecimiento del tomate; sin embargo, con la aplicación de 121.5 ppp como amonio o nitrato, con o sin combinar con las cepas de hongos micorrizógenos, se logran los mayores índices de crecimiento del cultivo.

- ❖ La combinación de ambas fuentes nitrogenadas con las dos cepas de hongos micorrizógenos arbusculares garantizaron un incremento de extracciones de N, P y K. De igual forma, la utilización conjunta de fuentes nitrogenadas y cepas de HMA permitió un incremento en la eficiencia de la fertilización al alcanzarse aumentos notables en los índices de eficiencia fisiológicos del N, P y K con valores entre 8 y 50%.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo a lo antes expuesto se recomienda:

- ❖ Continuar estudiando en condiciones de campo la aplicación de hongos MA y diferentes dosis de fertilizante nitrogenado amoniacal para ajustar la dosis más apropiada por tipo de suelo.
- ❖ Desarrollar nuevos estudios que permitan precisar la participación de las fuentes nitrogenadas y evaluar su efecto sobre el desarrollo y eficiencia de la micorrización con cepas tanto nativas como inoculadas de HMA.
- ❖ Desarrollar nuevas investigaciones que nos permitan cuantificar los aportes de nutrientes de las cepas de HMA, así como otros beneficios que estos puedan a los cultivos agrícolas.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Abbot, L. y A.D. Robson. The effect of soil pH on the formation of VA mycorrhizas by two species of *Glomus* . **Australian Journal of Soil. Research**. 23: 253-261, 1985.
- ❖ Abbott, L. y C. Gacey. An ecological view of the formation of VA mycorrhizas. **Plant and Soil**. 159: 69-78, 1994.
- ❖ Adjonohoun, A.; Nutrición y fertilización del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) bajo fertirrigación con nitrógeno y potasio por goteo en un suelo Ferralítico Rojo / A. Adjonohoun. Tesis de grado científico. La Habana. 1996
- ❖ Ahiabor, B. y H. Hirata. Characteristic responses of three tropical legumes to the inoculation of two species of VAM fungi in Andosol soils with different fertilities. **Mycorrhiza**. 5: 63-70, 1994.
- ❖ Alarcón, A. El crecimiento y productividad del tomate en dependencia de la adición de micorrizas, Azotobacter y estiércol ovino. Programas y Res. X Seminario Cient. INCA. P.85. 1998.
- ❖ Altieri, M.A. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES. ACAO. Tercera edición. La Habana. 249 p, 1997..
- ❖ Alvarez, Marta, Georgina de Armas y B. Martínez. Amalia y Mariela, dos nuevas variedades de tomate para consumo fresco./ Informe de Nuevas Variedades. **Cultivos Tropicales**. 18(1): 83. 1997.
- ❖ Anderlini, R. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa(Madrid).15(18): 46-49, 1970.
- ❖ Angelov, L. The effect of mineral fertilizer in certain feature of detreminate tomato cultivars. **Gradinarka, Lozarska Nanka**. 2(1): 71-76, 1974.
- ❖ Asimi, S., V. Gianinazzi-Pearson. y S. Gianinazzi. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular arbuscular mycorrhizae and Rhizobium in soybeans. **Canad. Journ. of Botan**. 58: 2200-2206, 1980.
- ❖ Azcón, R. y J. M. Barea. Nodulation, N₂ fixation (15N) and N nutritional relationship in mycorrhizal or phosphate-amended alfalfa plants. **Symbiosis**.12: 33-41, 1992.

- ❖ Azcón, R., *et al.*, Effects of plant hormones present in bacterial culture on the formation and responses to VA endomycorrhizas. **New Phytologist**. 80: 359-364, 1978.
- ❖ Azcon, R., R. Gómez. y R. Tobar. Effects of nitrogen sources on growth nutrition photosynthesis rate and nitrogen metabolism of micorrhizal and phosphorus- fertilizer plants of *Lettuca sativa* L. **New Phytologist**. 121: 227-234, 1992.
- ❖ Azcon, R., R. Rubio y J. Barea. Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium meliloti* strain and their effects on growth, N₂- fixation and nutrition of *Medicago sativa* L. **New Phytologist**. 117: 399-404, 1991.
- ❖ Aziz, T. y M. Habte. Interaction of Glomus species and *Vigna inguiculata* in an Oxisol subjected to simulated erosion. **New Phytologist**. 113:353-357, 1989.
- ❖ Bakker, J. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of Glasshouse tomatoes. **Scientia Hort**. 44(1-2), 1990.
- ❖ Baltruschat, H. y H.W. Dehne. The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza in agroecosystems. In: Influence of nitrogen fertilization and green manure in continuous monoculture and crop rotation on the inoculum potential of winter wheat. **Plant and Soil**. 107: 279-284, 1988.
- ❖ Barbosa, V. Nutrição e educação de tomate rasteiro .I. Simposio sobre nutrição y abonado de Hortalizas. Jaboticabal, Piracicaba. 1993.
- ❖ Barea, J. M., C. Azcón-Aguilar, J. A. Ocampo y R. Azcón. Morfología, Anatomía y Citología de los MVA. Fijación Biológica de Nutrientes. Madrid: CSIC, 159-173, 1991.
- ❖ Barea, J.M., C. Azcón-Aguilar. y R. Azcón. The role of vesicular-arbuscular mycorrhizae in improving plant acquisition from soil as assessed with ¹⁵N. In: Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies: Proc. Symp. Vienna. Ed. Anonymous. Pp. 209-216, 1992.
- ❖ Barrera, J. L. El papel de las Micorrizas en la nutrición vegetal. **Agrotecnia** Ltda. Sevilla. Pág. 6. 1995.
- ❖ Bar-Tal, A. *et al.* Root restriction and N-NO₃⁻ solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. **Scientia Horticulturae**. 63: 195-208. 1995.

- ❖ Batista, B. y E. Felipe. Densidad de siembra y nivel de fertilización en almácigos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) **Revista Facultad de Agronomía** 16 (2): 115 – 132, 1990.
- ❖ Bayne, H. y G. J. Bethlenfalvay. The Glycine- Glomus- Rhizobium symbiosis: IV. Interactions between mycorrhizal and nitrogen- fixing endophytes. **Plant Cell Environ.** 10: 607-612, 1987.
- ❖ Becar, G. y Y. Piché. New aspects on the acquisition of biotrophic status by a vesicular-arbuscular fungus. *Gigaspora margarita*. **New Phytologist**. 112: 77-83, 1989.
- ❖ Bell, T., J. Pate y D. Kingsley. Nutrient response and mycorrhization of South-west western Australian Epacridaceae. P: 71. In Abst. of Oral and Poster presentation of the 9th North American Conf. on Mycorrhizae. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 1994.
- ❖ Berry, S.Z. y M. Uddin. Effect of high temperature on fruit set in tomato cultivars and selected germoplasm. **Hortic. Scienc.** 23: 606-608, 1988.
- ❖ Bertha, A. *et al.* Morphogenetic modifications induced by the mycorrhizal fungus Glomus strain E 3 in the root system of *Allium porrum* L. **New Phytologist**. 114: 207-215, 1990.
- ❖ Bethlenfalvay, G. *et al.* Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybean in relation to water use and phosphate uptake. **Physiol. Plant.** 72: 565-577, 1988.
- ❖ Bethlenfalvay, G. J. and J. A. Linderman. Mycorrhizae and crop productivity. Horticultural Crops Research Laboratory. USDA – ARS. (1 – 27). 1992.
- ❖ Bethlenfalvay, G. y W. Newton. Agro-ecological aspect of the mycorrhizal, nitrogen fixing legume symbiosis. In. P.B. Cregan and D.L. Keister (ed). **The Rhizosphere and plant growth**. Proc. Beltsville Symposium XIV: 8-11. 1989.
- ❖ Biricolti, S. *et al.* VAM fungi and soil lime content. Influence rootstock growth and nutrient content. **Amer. Jour. Enol. Vitic.** 48(1): 93-99, 1997.
- ❖ Blaschke, H. Multiple mycorrhizal associations of individual calcicole host plants in the Alpine grass-heath zone. **Mycorrhiza**. 1: 331-34, 1991.
- ❖ Bolan, N. S. A critical review of the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. 134: 189-207, 1991.

- ❖ Bonfante, P. y V. Bianciotto. Saprotrophic versus symbiotic phase in endomycorrhizal fungi: morphology and cytology. In: Hoch B, Varma A, eds. **Mycorrhizas: Molecular Biology and Biotechnology**. Berlin: Springer-Verlag: 229-247, 1995.
- ❖ Bonfante, Paola y Silvia Perotto. Strategia of arbuscular mycorrhizal fungi when infectin host plants. Transley Review. No. 82. **New Phytologist**. 130:3-21, 1995.
- ❖ Bonner, L.G y H.D. Dickinson. Anther dehiscense in (*Lycopersicon esculentum*, Mill): I. Structural aspec. **New Phytologist**. 115: 311-317, 1990.
- ❖ Botello, J. J. Y R. Ferrera – Cerrato. Efecto de la Endomicorrhiza VA sobre cebolla en un indosol de México.**Rev.Lat. Amer. Microbiol.** (29): 97- 102, 1987.
- ❖ Bowen, G. y S. E. Smith. The effects of mycorrhizas on nitrogen uptake by plants. In: “Terrestrial Nitrogen Cycles: Processes, Ecosystem strategies and management Impacts”. Eds. F.E. Clark and T. Rosswall. P405-426. **Ecological Bulleting**. 1981.
- ❖ Bronstein, J.L. Our current understanding of mutualism. **The Quarterly Review of Biology**. 69: 31-51, 1994.
- ❖ Brundrett, M. y B. Kendrick. The roots and mycorrhizas of herbaceous woodland plants.I. Quantitative aspects of morphology. **New Phytologist**.114: 457-468, 1990.
- ❖ Buwalda, J. G. *et al*. Increased uptake of onions by plants with vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Plant and Soil**. 71:463-467, 1983.
- ❖ Buwualda, J. y K. Goh. Host-fungus competition for carbon as a cause of growth depression in vesicular arbuscular mycorrhizal ryegrass. **Soil Biolog. and Biochemistry**. 14:103-106, 1982.
- ❖ Carling, D.E., R.W. Roncadori y R.S. Hussey. Interactions of arbuscular mycorrhizae, *Meloidogyne arenaria* and phosphorus fertilization on peanut. **Mycorrhiza**. 6: 9-13, 1996.
- ❖ Castilla, N. P. Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: El cultivo del tomate. Cap. 6. Edic. Mundi – prensa. (191 – 225) 1995.
- ❖ Collins, Nancy and F. L. Pfleger. Vesicular – arbuscular Mycorrhizae and cultural stresses. Universidad de Minesota. 71– 99, 1992.
- ❖ Collins, Nancy; R. Donald; D. Tilman and F. L. Pfleger. Dinamic of vesicular – arbuscular micorrhizae during old field succession. **Oecología** (86): 349 – 358, 1991.

- ❖ Coolber, P y C. Mc Gill. Effects of low temperature presowing treatment on the germination of tomato seed under temperature and osmotic stress. **Scientia Horticola**. 44(1-2), 1990.
- ❖ Cooper, A.J. Influence of rooting medium temperature on growth of *Lycopersicon esculentum*. **Ann. Applied Biol**. 74: 379-385, 1973.
- ❖ Corbera, J. y Annia Hernández. Evaluación de la asociación Rhizobium – MVA, sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de la soya. **Cultivos Tropicales**. 18 (1): 17 – 20, 1997.
- ❖ Coxwell, M.A. y C.R. Johnson. Effect of VAM and nitrogen source on growth and transport of aminoacid composition of *Pittosporum tobira*. **Journal of the Amer. Soc. Hort. Scien**. 100:800-803, 1985.
- ❖ Cuba. MINAGRI. Datos sobre la producción nacional de tomate en 1995. Centro de Cálculo, 1996.
- ❖ Cuevas, F. Evaluación Agronómica de la nutrición mineral con NPK y la aplicación de biopreparados en el cultivo del tomate (*Licopersicom esculentum* Mill) en un suelo Gley Nodular Ferruginoso. Tesis de Master en Nutrición de las plantas y Biofertilizantes. INCA.1998.
- ❖ Chambers,C. S. Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulation and growth of *Trifolium subterraneum*. **New Phytologist**. 85: 47-62, 1980.
- ❖ Chander, R.F. The potencial for breeding heat tolerant vegetables for the tropics./ R.F. Chander. Shanhua Asian Vegetables Res. Develp. Center. 10 p. 1983.
- ❖ De Acevedo, Sara y A. Arcia. Comportamiento de tres variedades de tomate en diferentes épocas de siembra. **Agronomía Tropical**. 3 (1): 83- 88, 1987.
- ❖ Dehne, H. W. Influence of soil, cultivation and host plant genotype on the ocurrence of VA mycorrhizal fungi in different crops. In: Abstracts, Second European Symposium on mycorrhizae. Institute of Landscape Ecology. Prague. (25-26), 1987.
- ❖ Dehne, H. W. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. **Phytopathology**. 72: 1115-1119, 1982.
- ❖ Del Pozo, P. Contribución al estudio del pasto Estrella (*Cynodum nlemfuensis*) bajo diferentes condiciones de manejo.Tesis de Dr. Ciencias Agrícolas. ISCAH. La Habana, 1998.

- ❖ Dell' Amico, J, E. Jerez y V. Bukin. Respuesta del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad L-72 al déficit hídrico moderado en distintas etapas de su desarrollo. **Cultivos Tropicales**. 7(2): 11-21, 1985.
- ❖ Dhillon A. Ampornpan. Influence of mycorrhizal association and inorganic nutrients on early growth of rice. **Int. Rice Res. Inst.** 15:16-18, 1990.
- ❖ Dhillon, S. y L. Ampornpan. The influence of inorganic nutrient fertilization on the growth, nutrient composition and vesicular – arbuscular mycorrhizal colonization of pretransplant rice plants. **Biology and Fertility of Soils** (91): 13 – 85, 1992.
- ❖ Diederich, Chr. Y A.M..Moawad. The potencial of VAM for plant nutrition in the tropic. **Angew.Bot.** 67:91-96, 1993.
- ❖ Domínguez, V.A. Abonado de hortalizas aprovechado por sus frutos. Ministerio de la Agricultura, Pesca y Alimentación, 1982.
- ❖ Domini, María E. Nueva estructura varietal de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill) para diferentes épocas de siembras. Tesis de maestria en Ciencias Agrícolas. La Habana. 1996.
- ❖ Doud, D. y N. Schenck. Relationship of colonization and sporulation by mycorrhizal fung to plant nutrient and carbohydrate contents. **New Phytologist**. 116: 621-627, 1991.
- ❖ F.A.O. Anuario de producción. 44. 1998.
- ❖ F.A.O. Los fertilizantes y su empleo. Guía de bolsillo para los extensionistas. Tercera Edición. Roma. 54 p., 1980.
- ❖ F.A.O. Mantengamos viva la tierra. Causas y remedios de la erosión del suelo. Boletín de suelos de la FAO.Nº 50. Roma, 1995.
- ❖ FAOSTAT. FAOSTAT data base results. 1998.
- ❖ Faria, C.M. *et al.* Niveis e parcelamento de nitrogeno em tomateiro rasteiro com plantio directo no submédio San Francisco. **Pesquisa Agropec. Brasileira**. 31(3): 181-186, 1996.
- ❖ Faria, C.M. y R. Pereira. Fontes, niveis e epocas de aplicação de nitrogênio na produtividae do tomateiro rasteiro. **Pesq. Agrop. Brasil**. 22(4): 381-385, 1987.

- ❖ Fernández, F. Uso, manejo y comercialización de los hongos micorrízicos VA. Conferencias impartidas en la maestría de Biofertilizantes y nutrición de las plantas. INCA. 27 p., 1997.
- ❖ Fernández, F., *et al.* The effect of comercial arbuscular mycorrhizal fungi(AMF) inoculants on rice (*Oryza sativa*) in differents types o soils. **Cultivos Tropicales**. 18(1): 5-9, 1997.
- ❖ Fernández, P.D. *et al.* Nutricae mineral de hortalizas. XXV Absorcao mineral de nutrientes pelo tomateiro. En Cultivoteiro. **Anais de Escola Superior de Agric. "Luis de Queroz"**. 32: 595-599, 1975.
- ❖ Fernández, R. Fructificación a bajas temperaturas en *Lycopersicon esculentum*, Mill. p. Tesis Doctoral. Univ. De Málaga. Fac. Ciencias. Sección Biológica. 156p. 1990.
- ❖ Fernández,F., *et al.* Caracterización de la efectividad de un nuevo inoculante micorrizógeno en Poaceas. **Cultivos Tropicales**. 20(2): 9-14, 1999.
- ❖ Ferrer, R., E. Furrazola, R. Herrera y M. García. Influencia de varias cepas de hongos MVA solas o combinadas sobre el crecimiento de tres variedades de tomate. VIII Seminario Científico del INCA Y I Taller de Biofertilizantes en los Trópicos. La Habana. p48, 1992.
- ❖ Fi, J.R y V. Pivovarov. Influencia de la radiación solar y la temperatura sobre la asimilación neta en dos variedades de tomate. **Ciencia y Técnica de la Agricultura**. 21:45-54, 1985.
- ❖ Fisher, J. y P. Nel. Water use, yield and quality of fresh market tomatoes(*Lycopersicon esculantum*, Mill) to two frecuencies of difficult drip irrigation on three soil types. **Applied Plant Sciece**. 3(2): 118-121, 1989.
- ❖ Fitter, A. H. The role and ecological significanceof vesicular- arbuscular mycorrhizas in temperate ecosystems. **Agric. Ecosystems. Envirom**. 29: 137-151, 1989.
- ❖ Furlan, V. y M. Bernier-Cardou. Effects of N,P and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral content of onion. **Plant and Soil**.113:167-174,1989.
- ❖ Ganmore-Neuman, R. y V. Kafkafi. Root temperature and porcentaje $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ effect on tomato plant development. I. Morphology and growth. **Agronomy Journal**. 72: 758-761, 1980.

- ❖ Gemma, J.N. *et al.*, Seasonal Dynamics of selected species of VA mycorrhizal fungi in a sand dune. **Mycorrhizal Res.** 92: 317-321, 1989.
- ❖ Gent, M. Factors affecting harvest date of tomato grown under floating row cover. **Applied Agricultural Research.** (New Haven). 1990.
- ❖ Gerdenman, J.W and J.M Trappe. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoir. No. 5. The New York. Botanic Garden. New York. 1975.
- ❖ Gil, M. F. Relaciones Hídricas. Nutrición mineral. Metabolismo. En. Elementos de Fisiología Vegetal. Edic. Mundi- Prensa(Madrid- Barcelona- México). 1995.
- ❖ Gilmore. A. E. The influence of endotrophic mycorrhizae on growth of peach seedlings. **Journal Amer. Soc. Hort. Scien.** 96: 3-37, 1971.
- ❖ Giovannetti, M. y B. Mosse. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist. 84: 489-500, 1980.
- ❖ Giovannetti, M., G. Bagnoli y C. Leporini. La produzione di sporocarpi in *Glomus mosseae* in presenza di concentrazione crescente di azoto. **Micolog. Italy.**3: 25-28, 1981.
- ❖ Gómez, Olimpia *et al.* Obtención de una variedad de tomate adaptada a las condiciones de calor y humedad. **Agrotecnia de Cuba.** 20(2): 11-12, 1988.
- ❖ Gómez, R. y H. Muños. La biofertilización del ajo (*Allium sativa* L) en suelo Ferralítico Rojo compactado. **Cultivos Tropicales.** 19(2): 9-13, 1998.
- ❖ González, C. y R. Ferrera. Los hongos endomicorrizógenos en la producción de cultivos de interés ornamentales. Chapingo. **Serie Horticultura.** No. 1, 1994.
- ❖ González, María C. INCA-9-1. Nueva Variedad de Tomate para diferentes épocas de siembra/. Informe de Nuevas Variedades. **Cultivos Tropicales.** (18):82. 1997.
- ❖ Gore, A. La Tierra en juego. Ecología y Conciencia Humana. Emecé Editores. Argentina. 1993. 350 p.
- ❖ Graham, J.H., R. Leonard y J.A. Menge. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhizae formation. **Plant Physiology.**68: 548-552, 1981.
- ❖ Gryndler, M., *et al.* Colonization of maize roots by VAM-fungi under conditions of long-term fertilization of varying intensity. **Agric. Ecosyst. Environ.** 29: 183-186, 1990.

- ❖ Guenkov, G. Fundamentos de la horticultura cubana. Edit. Ciencia y Técnica. La Habana. 555p. 1969.
- ❖ Gúzman – Plazola, R. A., R. Ferrera – Cerrato. La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas. 119 P. Montecillo, México. 1990.
- ❖ Guzmán, J. *et al.* Fertilización de las hortalizas. Informe final del tema 03-21. Inst. Inves. Suelos y Agroq. Cuba. 1979.
- ❖ Hao, w., y X.G. Lin. Effect of phosphorus fertilization of mycorrhizal response under unsterilized soil condition. p.22. In. Mycorrhizae in the next decade-practical application and research priorities. Programas. 7 North Amer. Conf. on Mycorrhizae, Gainesville. Univ. Florida, Gainesville, 1987.
- ❖ Hard, J., B. Letrange y R. Mc May. The Horticultural Crops in Florida. 352P. Florida. USA, 1994.
- ❖ Hayman, D.S y B. Mosse. Improved growth of white clover in hill grassland by mycorrhizal inoculation. **Annals of Applied Biology**. 93: 141-148, 1979.
- ❖ Haynes, R.J., *et al.* Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press, INC. Orlando, Florida. USA. 1986.
- ❖ Hepper, Mc. Isolation and culture of VA mycorrhizal (VAM) fungi. In: VA Mycorrhizas., Powell, C.L and Bagyaraj, D. J., Eds., CRC Press, , Boca Raton, F.L, 95-112, 1983.
- ❖ Hernández, A. *et al.* Nueva versión de clasificación de los suelos de Cuba. 1995.
- ❖ Hernández, Annia *et al.* Evaluación de cepas de micorrizas arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal y sus combinaciones en el crecimiento del tomate. En: Resúmenes XI Seminario Científico del INCA. Cuba. 1998.
- ❖ Hernández, G. Zonificación de las necesidades de agua para el cultivo del tomate en Cuba. Tesis de Master en Riego y Drenaje. La Habana. 65p, 1998.
- ❖ Hernández, M. y F. Cuevas. Evaluación de diferentes cepas de micorrizas arbusculares en el cultivo del arroz en condiciones de inundación. **Cultivos Tropicales**. 20(4): 19-22, 1999.
- ❖ Hobbelink, H. *et al.* Tomato- global fame and corporate desire. **Seedling**. 14(1): 15-23, 1997.
- ❖ Holevas, C.D. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas on the uptake of soil phosphorus by strawberry (*Fragaria sp.*). **Journal Hort. Science**. 41: 57-64, 1976.

- ❖ Howeler, R. H. *et al.* Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. **Plant and Soil**. 100: 249-283, 1987.
- ❖ Huang, R.S., *et al* . Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth, water relations and leaf orientation in *Leucaena leucophela*. **New Phytol**. 99: 229-241, 1985.
- ❖ Huerres, Consuelo y Nelia Carballo. Horticultura. La Habana: Pueblo y Educación. 192p, 1991.
- ❖ INCA. Listado oficial de precios. 1998.
- ❖ Izquierdo, I. *et al.* Efecto de la aplicación de nueve cepas de hongos MVA sobre la nutrición de plantas de cítricos en viveros. XVII Reun. Latinoam. de Rhizobiología. Prog. y Res. La Habana. Cuba. 1994.
- ❖ Izquierdo, J. y G. Paltrineri. Hortalizas: Situación del sector e importancia de su desarrollo en América Latina y el Caribe. En: Producción, Poscosecha, Procesamiento y Comercialización de Ajo, Cebolla y Tomate. Cap. 1. 23 – 41, 1992.
- ❖ Jaen, C. D. y R. Ferrera- Cerrato. Efecto de la inoculación de 8 cepas de hongos endomicorrízicos sobre el desarrollo de *Chrysanthemum morifolium* L. XV Cong. Nac. de Fitopatología. Xalapa, Veracruz. Pp 13, 1988.
- ❖ Janerette, C. A. An introduction to mycorrhizae. **The Amer. Biolog. Teacher**. 53: 14-19, 1991
- ❖ Jensen, A. y I. Jakobsen. The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza in barley and wheat grown in some Danish soils with different fertilizer treatments. **Plant Soil**. 55: 403-414, 1980.
- ❖ Johansen, A.; I. Jakobsen y E. S. Jensen. Hyphal N Transport by a Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus associated with cucumber grown at three nitrogen levels. **Plant and Soil**. (160) 1-9. 1994.
- ❖ Johnson, C.R., W. Harrell. y A. Menge. Influence of ammonium nitrate ratio and solution pH on mycorrhizal infection, growth and nutrient composition of *Chrysanthemum moriflorum* var. Circus. **Plant and Soil**. 7: 151-157, 1984.
- ❖ Johnson, N.C. Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? **Ecology Applic**. 3: 749-757, 1993.
- ❖ Johnson, N.C. Plant and soil regulation of mycorrhizae in natural and agricultural ecosystem. Ph.D. Univer. of. Minnesota. USA. 1991.

- ❖ Koide, R., M. J. Lewis. y C. Irby. Role of mycorrhizal infection in the growth and the reproduction of wild vs. Cultivated planted. I. Wild vs. Cultivated oats. **Oecología**. 77:537-543, 1988.
- ❖ Konning, A.M. Long-term temperature integration of tomato growth and development under alternating temperature regimes. **Scientia Horticole**. 45 (1-2): 117-127, 1990.
- ❖ Kruckelmann, H.W. Effects of fertilizers, soils, soil, soil tillage, and plant species on the frequency of Endogone Chlamydospores and mycorrhizal infection in arable soils.p. 511-525. In. B.Mosse *et al.* (ed). **Endomycorrhizas**. Academic Press, New York. 1995.
- ❖ Lambert,D. H., D. Baker y H. J. Cole. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. **Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.** 43:976-980, 1979.
- ❖ Lu, S., P. Braunberger y M.H. Miller. Response of vesicular-arbuscular mycorrhizas of maize to varius retes of P addition to different rooting zones. **Plant and Soil**.158:119-128, 1994.
- ❖ Lu, X. y Koide, R. The effects of mycorrhizal infection on components of growth and reproduction. **New Phytol.** 128: 211-218, 1994.
- ❖ Llonín, Desiré *et al.* Participación de fuentes y dosis de fósforo, con dos cepas de HMA en la nutrición y producción del tomate. En: Resúmenes XI Seminario Científico del INCA. Cuba. 1998.
- ❖ Maestrey, Albina, H. Cardoza, Maritza Chailloux y W. Alarcón. Extracción de nutrientes por el cultivo del tomate cultivado en primavera. II. Consumo de Nitrógeno, Fósforo y Potasio durante el ciclo del cultivo. **Ciencia y Técnica de la Agricultura**. 10 (2): 17-22, 1987.
- ❖ Maestrey, Albina. Fertilización del tomate cultivado en primavera / Albina Maestrey Boza. Tesis de Grado Científico. La Habana, 1986.
- ❖ Magalhaes, J., F. Silva. y G. Wilcox. Desenvolvimento do tomateiro em substrato de areia e turfa, sub efeito de formas de N, pH e intensidade de luz. **Rev. Bras. Cienc. Solo**. 11: 299-303, 1987.
- ❖ Maroto, J. V. Horticultura Herbácea especial. Parte sexta. Hortalizas aprovechables por sus frutos. Tomate. Edic. Mundi – prensa. 335 – 371, 1989.

- ❖ Marrero, P. Influencia de algunos factores ecológicos sobre el crecimiento y desarrollo del tomate. MES. ISCAH. Monografía. 36 p., 1986.
- ❖ Martí, A. y A.Lewis. Estudio de diferentes niveles de nitrógeno sobre la productividad y la calidad del tomate Campbell 28. IV Forum Nac. De Estud. Univ. en Cienc. Agrop. ISCAH. 1979.
- ❖ Martínez, R. V. El uso de los biofertilizantes. Curso de Agricultura Orgánica. ICA. La Habana, 1994.
- ❖ Martínez, V.R. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo. Edit. Científico Técnica. La Habana. 152p. 1986.
- ❖ Matthew, P.R., E. Elmer y G. Thomas. Photosynthesis at night temperature in tuber-bearing solanum species. **Plant Physiol.** 93(2): 791-797, 1990.
- ❖ Medina, N. La biofertilización como alternativa nutricional del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). VII Reunión Latinoamericana de Rizobiología. Programa y Resúmenes, La Habana, 1994.
- ❖ Medina, N., María de los Angeles Pino. Evaluación de diferentes especies de bacterias y hongos MVA y sus combinaciones como biofertilizantes para el tomate cultivado fuera de época. VIII Seminario Científico del INCA. P38, 1992.
- ❖ Medina, O. A., M. Sylvia y E.Kretschmer. Response of sitrato to vesicular-arbuscular Mycorrhizal fungi. Efficacy of selected VAH at different phosphorus levels. **Soil. Sci. Soc. Amer. Jour.** 52: 420-423, 1988.
- ❖ MINAGRI. Carta Tecnológica del Cultivo del Tomate, 1994.
- ❖ MINAGRI. Informe a las direcciones provinciales del PCC sobre los resultados productivos del ministerio. 1996.
- ❖ MINAGRI. Instructivo técnico para el cultivo del tomate. 1992.
- ❖ MINAGRI. Resumen del dictamen de las comisiones de trabajo que revisaron las tecnologías de los cultivos de viandas y hortalizas en La Habana. La Habana. 41p. 1991.
- ❖ MINAGRI. Metodología para la interpretación de análisis de suelo. La Habana. 1980.
- ❖ Mount, R. The news variety of tomato for industry. **Acta Horticola.** 274: 234-241, 1992.

- ❖ Moyabén, R. G. Germination of citrus and tomato seed in relation to temperature. **Journal. Hort. Scienc.** 55: 291-297, 1980.
- ❖ Muñiz, O. Conferencia del curso de postgrado Fertilización de los Cultivos. Maestría Nutrición de las plantas y Biofertilizantes. INCA .La Habana.1996.
- ❖ Muttonl, L. *et al.* Two stages of pollen development and particular sensitive to low temperature. **TGR Report.** 37: 56-57, 1987.
- ❖ Nardo *et al.* . Efecto del uso combinado de tres cepas de hongos micorrizógenos y la *Pseudomona cepacea* como biofertilizantes en el crecimiento de posturas de *Citrus amblicarpa* y *Citrus volkameriana*. Prog. y Res. X Seminario Cient. INCA. La Habana,1996.
- ❖ Nasarajah, P. y A. Nawawi. Effect of temperature on germination and growth of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. In: Mycorrhizae in the Next Decade. Practical Applications and Research Priorities, 7th NACOM. Eds D.M Sylvia; L Hung and J. Graham. P: 214, Inst. of Food Agriculture Science. Univ. of Florida. Gainsville. Florida, 1987.
- ❖ Nelsen, C.E. y G. Safir. Increased drought tolerance of mycorrhizal onion plants caused by improved phosphorus nutrition. **Planta.** 154: 407-413, 1982.
- ❖ Nguyen, O. V y P. Mazliak. Chilling injuri is accompanied by galactolipid degradation in tomato pericarp. **Plant Physiol. and Biochemistry.** 28(2): 283-291, 1990.
- ❖ Nielsen, I. y A. Jensen. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and uptake of varius nutriens as well uptake radio of fertilizer P for Lucerne (*Medicago sativa*). **Plant and Soil.**85: 375-383, 1983.
- ❖ Nogueira, S.S. *et al.* Gronwth analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L). **Scientia Agricola.** 51(3), 1994.
- ❖ Nuez, F. Desarrollo de nuevos cultivares. En: El cultivo del tomate. Cap. 16. Edic. Mundi – prensa. 626 – 669, 1995.
- ❖ Nye, P. H. P.B. Tinker. Solute movement in the Soil-Root Systems. Blackwell, Oxford. 1977.
- ❖ Organización de Naciones Unidas. Nuestro Futuro Comun. En: Declaración Final de la Cumbre de Río. 1987.

- ❖ Ortas, J., P.J. Harris. y D.L Rowell. Effect of nitrogen form and phosphorus ammendment on rhizosphere pH and phosphorus uptake in mycorrhizal and non-mycorrhizal plants. **New Phytol**. 132. 123-129. 1993.
- ❖ Owusu- Bennoah, E, y B. Mosse. Development of VA mycorrhiza (E3 and YV) in plants fed with nutrient solution in sand and nutrient film culture. Annual Report of Rothamsted Experimental Station. Harpenden, Hertfordshire, England. 1979.
- ❖ Pakovsky, R. S. Micronutrient uptake and distribution in mycorrhizal and phosphorus fertilized soybean. **Plant and Soil**. 95: 379-388, 1986.
- ❖ Paneque, V. M. Comunicación personal, 1998.
- ❖ Papadopoulos, A. P.; Cropping in soil with drip irrigation. Growing greenhouse tomatoes in soil and soilless media. 1991.
- ❖ Pearson, J. *et al*. Mediation of competition between two colonizing VA mycorrhizal fungi by the host plant. **New Phytol**. 123: 93-98, 1993.
- ❖ Pearson, J. N. y J. Jakobsen. Intrasympiotic exchange of carbon and phosphorus between cucumber and three arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytol**. 124: 481-488, 1993.
- ❖ Pérez-Valenzuela, B. y J. Erquiaga. Respuesta del tomate al sitio y a la fertilización. **Pesq. Agrop. Brasileira**. 32(11),1997.
- ❖ Peterson, R. L y M. L. Farquhar. Mycorrhizas. Integrated development between roots and fungi. **Mycologia**. 86: 311-326, 1994.
- ❖ Pickolo, A.S. Caracterización de somaclones de tomate(*Lycopersicon esculentum*, Mill) provenientes del cv. Campbell 28. Trabajo de Diploma. ISCAH. La Habana. 24 p. 1994.
- ❖ Pino, María A. *et al*. Cultivos Tropicales. 21(2): 33-36, 2000.
- ❖ Pirelli, M. La conximazione delle principale culture. **L` Informatore Agrario**. 43(2): 67-83, 1987.
- ❖ Plenchette, C.H., y I. Corpron. Influence of P K fertilization of VA mycorrhizal fungi population.p.35. In. Mycorrhizae in the next decade-practical application and research priorities. Programas. 7 North Amer. Conf. on Mycorrhizae, Gainesville. Univ. Florida, Gainesville,1987.
- ❖ Possingham, J. y J. Groot Obbink. Endrotropic mycorhiza and the nutrition of grape vine. *Vitis*.10: 120-1130, 1994.

- ❖ Prendergast, I.A. Carbon asimilation and partitioning in heat tomato genotypes. **Dess.Interv.** 43(7): 2109-2112, 1983.
- ❖ Rachel, H. y K. Cockshull. Effects of humidity on growth and yield of glasshouse tomatoes. **Journ. Hort. Scienc.** 65(1): 31-39, 1990.
- ❖ Rao, K.P. y D. Rains. Nitrate absortion by barley. I. Kinetics. *Plant Physiology*. 57: 55-58, 1976.
- ❖ Rashid, A. Cell Physioly and genetic of higher plants. Vol. 1. CRC Press, Boca Raton. 1988.
- ❖ Read, D.J. Mycorrhizas in ecosystems. **Experientia**. 474: 376-390, 1991.
- ❖ Reeves, R. Mycorrhizal responsivenes and ecology of VAM and arid and semiarid ecosystems. In: Proceeding of the 7th North Americ . Confer. On Mycorrhizae. Florida. P 136-138. 1987.
- ❖ Rick, C.M. Genetic resources in *Lycopersicon*. En. Nevins, D.J and R. A Jones (eds). **Tomato Biotechnology**. Alain R. Liss. Inc., (New York). 1987.
- ❖ Rivera, R., *et al.* Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos y bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de posturas de cafeto. **Cultivos Tropicales**. 18(3): 15-23, 1997.
- ❖ Robinson, R.W y T. Echim. Genetic difference in pollen germination and tube development in relation to fruit set at low temperature. **TGC Report**. 16: 33-35, 1988.
- ❖ Robson, B. *et al.* Benefits of VA mycorrhizas inagricultural and horticultural production. 1993. P: 76. In Abst. of Oral and Poster presentation of the 9th North American Conf. on Mycorrhizae. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 1993.
- ❖ Rodríguez, A. Carga y transporte a granel de tomates para la elaboración de concentrados. Factores que influyen sobre las pérdidas de producto y de calidad y modelos para su estimación. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid. 1992.
- ❖ Rosendahl, S. *et al.* Quantification of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus* spp. in roots of leek *Allium porrom* on the basic of activity of diagnostic enzymes after polyacrylamide gel electrophoresis. **Soil Biol. Biochem.** 21: 519-522, 1989.

- ❖ Ruiz, L. El uso de micorrizas, la fosforina y el Azotobacter como estimuladores del crecimiento en vitroplantas de plátano(*Musa spp*). **Agrotecnia de Cuba**.27(1):104-106,1997.
- ❖ Sam, Ofelia y Lourdes Iglesias. Caracterización del proceso de floración – fructificación en variedades de tomate en dos épocas de siembra. **Cultivos Tropicales**. 15(2): 34-43, 1994.
- ❖ Sánchez, M. P. Evaluación de la distribución de nutrientes en las plantas de tomate en dos estados de su ciclo vegetativo. **Anales de Edafología y Agrobiología**, 41: 2-4, 1982.
- ❖ Sánchez, V.J. *et al*. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia de hongos endomicorrízicos en la flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* L). Memorias XXV Cong. Nac. Soc. Mex. de la Ciencia del Suelo, Acapulco, 1992.
- ❖ Sanders, I.R., A.H. Fitter. The ecology and functioning of vesicular-arbuscular mycorrhizas in co-existing grassland species. II. Nutrient uptake and growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal plants in a semi-natural grassland. **New Phytol**. 120: 525-533, 1992.
- ❖ Scott, A., A.G. James y M. Garay. Photosynthesis at night temperature stress during maturation of wheat. **Plant Physiol**. 92(3): 654-658, 1990.
- ❖ Schweiger, A.; D. Rodson and N. T. Barrow. Root hairs length determines beneficial effect of *Glomus* species on shoot growth of some pasture species. **New Phytol**. (131): 247 – 254, 1995.
- ❖ Sieverding, E., Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit. (GTZ) GMBH, Federal Republic of Germany. 371p, 1991.
- ❖ Silvia Junior, A. y V. Vizzoto. Efeito da adubação mineral e orgânica sobre la productividad e tamanho de fruto de tomate. **Hortic. Bras**. 8(1): 17-19, 1990.
- ❖ Simon, L. *et al*. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. **Nature**. 363: 67-68, 1993.
- ❖ Siqueira, J. O. et A. A. Franco. Biotecnología do solo. Fundamentos e Perspectivas. MEC-ESAL-ABEAS. Brasília D.F. 235p 1988.

- ❖ Siqueira, J. O. Importancia e potencial das associacoes micorrizicas para e agriculture./J.O. Siqueira. Minas Gerais. Empresa de Pesquisa Agropecuaaria. 20 p.1985.
- ❖ Siqueira, J. O., *et al.* Significance of phenolic compounds in plant-soil microbial systems. CRC Critical Reviews in Plant Sciences, Boca Raton. 10: 63-121, 1991.
- ❖ Smith, F. A. y S. E. Smith. Mutualism and parasitism: diversity in funtion and structure in the arbuscular mycorrhizal simbiosis. **Advances in Botanical Research**. 22: 1-43, 1996.
- ❖ Smith, J.L. y K.L. Smith. Cycling of nitrogen though microbial activity. Soil Biology. 47:91-112,1994.
- ❖ Smith, S.E. Mycorrhizas of autotrophic higher plants. **Biological Reviews**. 55: 475-510, 1980.
- ❖ Strullu, D.G. Les Mycorrhizes des abres et plantes cultivees technique et Documentation Lavoisier. Paris. 1991.
- ❖ Taíz, L., y E. Zeiger. Plant physiology. Benjamin/ Cummings. Pub. Co. Inc., Redwood City. 1991.
- ❖ Talukdar, N.C. y J.J. Germida. Growth and yield of lentil and wheat inoculated with three *Glomus* isolates from Saskatchewan soils. **Mycorrhiza**. 5: 145-152, 1994.
- ❖ Terry, E.,M.A .Pino y N. Medina. Uso y manejo de biofertilizantes en el cultivo del tomate(*Licopersicum esculentum* Mill). Programas y Res. X Seminario Cient. INCA. 1998.
- ❖ Terry, Eleín. Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate./ Eleín Terry Alfonso. Tesis de Master en Ciencias Agrícolas. ISCAH. 1998.
- ❖ Thompson, J. B. Soilless culture of vesicular-arbuscular mycorrhizae of cereals: effects of nutrient concentration and nitrogen source. Canadian Journal of Botany. 64: 2282-2294, 1986.
- ❖ Tommerup, I.C. Temperature relations of spore germination and hyphal growth of vesicular mycorrhizal fungi in soil. Trans. Br. Mycol. Soc.81: 381-387, 1983.
- ❖ Toovey, L. y V. Galea. Glasshouse investigation of mycorrhizal dependency of carrot, onion & tomato. P.138. In Abst. of Oral and Poster presentation of the 9th North American Conf. on Mycorrhizae. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 1993.

- ❖ Torres, W. Curso de postgrado de Fisiología Vegetal. INCA. La Habana. 1996.
- ❖ Torres, W. Metodología del análisis del crecimiento en plantas aplicado al estudio de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L) en diferentes fechas de plantación. Tesis de Dr. Ciencias Agrícolas. ISCAH. La Habana.1985.
- ❖ Trent, J.O., T. Svejcar y S. Christiansen. Effects of fumigation on growth, photosynthesis, water relations and mycorrhizal, development of winter wheat in the field. Canada Journ. **Plant. Sciec.** 69: 535-540, 1989.
- ❖ Tsai, S.M., y D. Phillips. Flavonoids released naturally from alfalfa promote development of symbiotic *Glomus* spores in vitro. **Appl. Environ. Micobiology.**57:1485-1488, 1991
- ❖ VINI. The development of tomato in Asia. **TVIS Newsletter.** 1996.
- ❖ Vivekanandan, M.,y P. Fixen. Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth and phosphorus uptake of corn. **Soil. Soc. Amer. Journal.**55: 136-140,1991.
- ❖ Walker, T.L., G.R. Safir. y S. Stephenson. Evidence for sucesion of mycorrizae fungi in Michigan Asparagus fields. **Acta Horticultural.** 271: 273-279, 1990.
- ❖ Wilson, J. M. Competition for infection between three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytol.** 97: 427-435, 1984.
- ❖ Zornosa, P. y O. Carpena. Effect of light intensity on NH_4^+ tolerance in tomato plants. **Plant and Soil.**102: 93-97, 1987.