

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
(INCA)**

**MINISTERIO DE LA AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HORTÍCOLAS
“Liliana Dimitrova”**

**Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas
como complemento de la nutrición mineral del tomate
(*Lycopersicon esculentum* Mill.)**

***TESIS
PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE
MASTER EN CIENCIAS AGRÍCOLAS***

Autor: Ing María Isabel Hernández Díaz

Tutor: Dra. Marisa Chailloux Laffita

La Habana

2000

RESUMEN

En el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" se desarrolló el presente estudio, durante los años 1996-1999 en un suelo Ferralítico Rojo compactado. En la fase de semillero se realizó un screening con el objetivo de seleccionar las cepas de micorrizas arbuscular (MA) y rizobacterias más eficientes para el cultivo del tomate ('HC 38-80'), así como las mejores combinaciones, empleando para ello 3 especies de MA (*G. mosseae*, *G. Manlhoti* y *G. fasciculatum*) y 5 rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (*P. cepacia*, *P. fluorescens*, *A. lipoferum*, *A. brasilense* y *A. chroococcum*), para un total de 15 combinaciones, se utilizaron además 3 tratamientos con fertilización mineral. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con 3 réplicas y las evaluaciones se realizaron a los 25 días de establecido el semillero. Los mayores valores en cuanto a altura, diámetro del tallo, masa seca y fresca total y foliar, correspondieron a las plantas inoculadas con las cepas *Glomus mosseae*, *Glomus fascicu/atum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*. Estos tratamientos pasaron a la fase de campo donde se incluyeron 3 variantes con fertilización mineral (50-0-0, 100-0-0, 100-25-50 kg NPK/ha). Los tratamientos inoculados recibieron 50 kg N/ha y se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con 4 réplicas. Se determinaron algunos componentes del rendimiento y calidad biológica así como se cálculo el rendimiento total del cultivo. Se evaluó el estado nutricional de la planta y se determinó el porcentaje de perdidas de masa por actividad fisiológica durante 20 días postcosecha. El rendimiento y sus componentes se beneficiaron con la aplicación de niveles óptimos de fertilizantes, mientras que para los tratamientos inoculados las mayores valores correspondieron a *Glomus mosseae*, *Glomus moseeae* + *Pseudomonas flourescens* y *Glomus moseeae* + *Azospirillum brasliense* combinadas con el 50 % de la fertilización nitrogenada. La biofertilización con estos microorganismos logró incrementos en el rendimiento agrícola del cultivo entre 8.42 y 14.70 % con relación a la aplicación de niveles óptimos de fertilizantes permitiendo reducir los contenidos de nitratos presentes en los frutos y las pérdidas que se producen durante el período postcosecha. La biofertilización con *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirfillum braslense* en fase de campo puede utilizarse como complemento de los fertilizantes minerales. Su empleo en el cultivo del tomate reduce las necesidades de nitrógeno en un 50 % y permiten obtener beneficios netos de 874.44, 617.49 y 588.69 \$/ha respectivamente.

I- INTRODUCCION.

Satisfacer las necesidades alimenticias de una población que crece a ritmo acelerado es uno de los desafíos esenciales del siglo venidero. Esta población ya alcanza más de 6000 millones de habitantes y se estima que para el 2025 aumente a 8000 millones. En el centro de este reto se encuentra la agricultura, fuente de gran parte de los alimentos, fibras y otras materias primas (IPGRI, 1999).

Cada año, la agricultura de todo el mundo se enfrenta a la tarea de alimentar a 80 millones de personas más con 24 mil millones de toneladas de capa superficial menos que el año anterior. Sin embargo, se estima que el 76 % de las necesidades alimenticias futuras tendrán que garantizarse mediante el incremento de la productividad de los cultivos (Altieri, 1997).

Dentro de la producción mundial de alimentos las hortalizas ocupan un lugar destacado. Su consumo a escala mundial cobra cada día mayor importancia, derivado del papel que desempeñan en la dieta familiar. Se calcula que una dieta balanceada debe incluir la ingestión diaria de 300 g de hortalizas, lo cual equivale a un consumo per cápita anual de 110 kg (Casanova y Savón, 1995).

El tomate constituye una de las hortalizas más importantes. Se cultiva en un amplio rango de latitudes que van desde el ecuador hasta casi los círculos polares, es tolerante a las variaciones climáticas y puede desarrollarse en climas tropicales de altura, subtropical y templado. Su alta aceptación y preferencia se debe a sus cualidades gustativas, a las amplias posibilidades de su uso en estado fresco o elaborado y a su relativo aporte en vitaminas y minerales (Padovani, 1989 y Santiago *et al.*, 1998).

La producción de tomate a escala mundial mantuvo una tendencia creciente hasta 1998. Tomando como base el volumen medio de producción del trienio 1979/1981, la oferta aumentó en casi 36 millones de toneladas en poco más de 18 años, la superficie de cultivo se amplió a 760 000 ha en el mismo período de tiempo y el rendimiento experimentó un crecimiento del 29.3 % debido, entre otros factores, a un aumento en el consumo de fertilizantes químicos. Tal es así, que se estima que un aproximado del 50 % de los incrementos de la producción agrícola durante el último decenio, en los países desarrollados, se debe a la utilización de los fertilizantes minerales (FAO, 1990 y FAO, 1997).

Introducción

Los fertilizantes químicos pueden y deben jugar un *papel* importante en la nutrición de los cultivos, aplicados de forma racional mantienen la fertilidad de los suelos y elevan el rendimiento de las cosechas. Otra cosa bien diferente son los inconvenientes de su mal uso y abuso que ocasiona bloqueo de determinados elementos nutritivos, salinización del **suelo**, contaminación **de las aguas** subterráneas y eutroficación de las superficiales, reducción en la actividad microbiológica del suelo, **carencias** que determinan estados patológicos de los cultivos y consumo excesivo de nutrientes por **las plantas** (Fuentes, 1993).

En Cuba, en el año 1988 se aplicaron 800 000 toneladas de fertilizantes minerales (FAO, 1996) y el tomate fue uno de los cultivos hortícolas más favorecidos. Sin embargo, el arribo de los 90 trajo nuevas concepciones acerca de la nutrición vegetal, condicionada por una preocupación creciente por el entorno a escala internacional y por una aguda crisis en la economía cubana, tal es así, que a partir de 1991 la aplicación de fertilizantes en los cultivos de importancia económica cae abruptamente hasta niveles de un 30 %.

El estado cubano siempre concedió a la ciencia un lugar prioritario y desde hace 3 décadas científicos cubanos vienen desarrollando nuevas tecnologías con una menor dependencia de los insumos contaminantes y que pudieron ser introducidas rápidamente en la práctica productiva después de un breve proceso de validación. En este sentido, los **sistemas de** inoculación y manejo cultural de microorganismos con propiedades biofertilizantes constituyeron tecnologías racionales y aparecieron como una de las prácticas más promisorias e innovativas para los sectores agrícolas y forestales (Martínez y Hernández, 1995).

Así lo demuestra las palabras pronunciadas por Fidel Castro en la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 ***"Se han ido poniendo en práctica aceleradamente algunos resultados de las investigaciones científicas realizadas en los últimos años, de los cuales los que más se destacan por su valor ecológico y grado de generalización son el uso de los biofertilizantes... El ritmo de intensificación de estas soluciones solo es posible por la acumulación del conocimiento. Su convergencia ecológica no es tampoco casual, sino responde a una estrategia definida de desarrollo que ha sabido armonizar el cuidado del medio con el progreso económico y social"***

Dentro de los biofertilizantes se destacan **las bacterias** rizosféricas y los hongos micorrizos, su utilización como inoculantes microbianos en la agricultura incrementan la productividad de los cultivos, intervienen en la fijación biológica del nitrógeno, aumentan

la disponibilidad de nutrientes debido a su efecto en la solubilización y absorción de elementos minerales, estimulan el crecimiento vegetal e intervienen en el control de patógenos mediante mecanismos de antibiosis (Guerrero, 1996).

Actualmente en el país se dispone de una numerosa información sobre la temática de nutrición y biofertilización del tomate y se ha demostrado la posibilidad de utilizar diferentes microorganismos como alternativas biológicas en la nutrición de este cultivo hortícola en una amplia gama de suelos. No obstante, las bacterias rizosféricas y las micorrizas arbusculares constituyen hoy en día un importante renglón de investigación pues aún se desconocen aspectos esenciales de su funcionamiento y desempeño que posibiliten su completa adopción en la práctica productiva.

Por todo lo anterior se propone la siguiente **hipótesis**: La inoculación de bacterias rizosféricas y micorrizas arbusculares en el cultivo del tomate puede constituir una alternativa nutricional económicamente viable que permitirá obtener adecuados niveles de rendimiento y calidad del producto cosechado, con la consiguiente reducción de fertilizantes químicos, contribuyendo de esta forma a una agricultura más respetuosa con el entorno.

De acuerdo a la hipótesis planteada se proponen los siguientes objetivos:

- Seleccionar las especies de micorrizas, rizobacterias y las combinaciones más promisorias para la obtención de plántulas de calidad en el cultivo del tomate en fase de semillero.
- Conocer el efecto de los biofertilizantes seleccionados y la fertilización mineral en el estado nutricional de la planta, el rendimiento del tomate, sus componentes y la calidad organoléptica de los frutos que permitan una mayor sostenibilidad.
- Evaluar la posibilidad de complementar la nutrición mineral del cultivo con el uso de los biofertilizantes para las condiciones de suelo Ferralítico Rojo.

II.- REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1. El cultivo del tomate.

2.1.1 Origen y evolución.

El tomate es una planta de origen americano, al parecer de la zona que hoy comparten Chile, Colombia, Bolivia, Perú y Ecuador, su nombre se deriva de la lengua Nahuatl y de los términos Aztecas "Tomalt", "Xitomate" y "Xitotomate", que se aplicaron a plantas que presentaban frutos globosos o bayas, con muchas semillas y pulpa acuosa (Maroto, 1992). El centro de domesticación del tomate se ubica en las zonas correspondientes al México precolombino y los cambios ocurridos en su nomenclatura son consecuencia de su distribución por el mundo. Fue llevado a Europa en el siglo XVII donde se utilizó con fines ornamentales, tal es así, que figura entre las especies ornamentales que aparecen en el catálogo de Andrieux-Vimorin de 1760 (Jones et al., 1997).

Fueron necesarios 200 años para que su cultivo se extendiese con fines alimenticios, comenzando su desarrollo industrial en Italia. En principio se consideró como una planta venenosa por su parentesco con ciertas plantas tóxicas como la hierba mora (*Solanum nigrum*) y la belladona (*Atropa belladonna*). Sin embargo, la tomatina, alcaloide que se encuentra en grandes proporciones en hojas, tallos y frutos, se degrada en compuestos inertes durante el proceso de maduración de los frutos (Porras et al., 1990).

Además de su proximidad a plantas tóxicas existieron juicios que hicieron aún más difícil el desarrollo de esta hortaliza. Entre ellos figuran los del Herborista Mathias de L'Obel quien en 1581 se expresó de la siguiente forma: "Algunos italianos se comían estas manzanas como si fueran melones, pero el fuerte hedor que desprendían da suficiente información de lo insalubres y perniciosas que resultan en la alimentación".

Esta situación se mantuvo en países como Alemania hasta principios del siglo XIX. En este sentido, Quer (1792-1884) en el V volumen de "La flora Española" comenta: "... Los más de los autores antiguos y algunos modernos, especialmente los septentrionales, no convienen todavía en las virtudes del tomate, antes al contrario son de la opinión que mejor se debe colocar en el número de plantas venenosas que en el número de las medicinales..." (Nuez, 1995).

A partir del siglo XVIII (1785) comienza a adquirir popularidad y primacía como fuente de alimento iniciándose entonces un proceso de incremento de las áreas destinadas a su cultivo y llegó a convertirse en años más tarde en el cultivo más importante en el contexto hortícola de un gran número de países (Maresi, 1996).

2.1.2. Taxonomía.

Desde el punto de vista botánico la mención más antigua de la planta de tomate aparece en el herbario del naturalista Italiano Maithiolus en el año 1554 a la que llamó "Pomodoro", sin embargo el vocablo tomate se introdujo en la lengua castellana en 1532 (Metwally, 1992). Concretamente pertenece al Orden Solanales, Familia Solanaceae. El género es *Lycopersicon* y la especie *Lycopersicon esculentum* Mill (Porrás et al., 1990).

En la actualidad se utilizan otras nomenclaturas como *Solanum lycopersicon* L. y *Lycopersicon lycopersicum* L., no obstante, la más empleada es la propuesta por Miller en 1978 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Jones et al., 1997).

2.1.3. Importancia alimenticia y económica.

El tomate representa uno de los componentes más frecuentes de la dieta alimenticia. Basta revisar los anuarios estadísticos para constatar que es mundialmente consumido y apreciado, su empleo está generalizado en el arte culinario por su color, aroma y sabor. (Porrás et al., 1990 y Biechi, 1991).

Uno de los mayores atractivos de cualquier producto frente al consumidor es su diversidad y el tomate es una hortaliza que alcanza una gama de tipos muy extensa. Existen variedades con distinto aspecto interior y exterior, destinadas a consumo en fresco o procesado industrialmente y dentro de estos usos, múltiples especializaciones del producto (De Armas et al., 1992 y Siviero et al., 1996).

El valor nutritivo del tomate es inferior al de muchas hortalizas y según López (1994), el tomate ocupa el lugar 20 en cuanto a concentración relativa de un grupo de 10 vitaminas y minerales. No obstante, por su apetencia y alto nivel de consumo se considera una de las principales fuentes de vitaminas y minerales de muchos países. Desde el punto de vista alimenticio no puede considerarse como alimento energético, aunque 1 kg de fruto puede

proporcionar 176 calorías, su aroma estimula el apetito, es rico en vitaminas C, A, B1, B2 y 66, es abundante en potasio y bajo en energía calorífica (Padovani, 1989 y Santiago et al., 1998).

La producción mundial de tomate se sitúa alrededor de las 88 millones de toneladas métricas en 3 167 000 ha con un rendimiento promedio de 27.8 t/ha. No obstante, no todas las zonas geográficas alcanzan altas producciones. En América por ejemplo, mientras Estados Unidos y Canadá llegan a 65 y 57 t/ha respectivamente como rendimiento promedio mesoamérica y El Caribe logran solo 18 t/ha. De la misma forma, el consumo per cápita en los países desarrollados es 4 veces mayor al de los países en vías de desarrollo (FAO, 1997 y Jones et al., 1997).

Entre los países de América Latina y El Caribe, Cuba se ubica en el lugar 29 en cuanto a rendimiento, en el sexto lugar en superficie cosechada y en el décimo lugar en cuanto a producción en toneladas métricas (FAO, 1997). Se destaca entre los países de Latinoamérica por su consumo per cápita (27 kg/habitantes/año), calificado como uno de los mayores consumidores de tomate conjuntamente con México y República Dominicana (Nuez, 1995).

En Cuba, el cultivo del tomate representa alrededor del 36 % de las áreas destinadas al cultivo de hortalizas y entre estas ocupa el primer lugar en importancia. Su alta demanda no es sólo por sus propiedades nutritivas, sino también, por el buen sabor que le imparte a las diferentes especialidades de la cocina cubana. La producción de este cultivo además de destinarse al consumo fresco de la población, constituye una de las materias primas principales de la industria conservera (Cuba MINAG, 1997).

La producción nacional alcanzó en la campaña agrícola 1998/1999 un aproximado de 262 570 toneladas métricas en un área de 22 500 ha con un rendimiento promedio de 11.67 t/ha. Esta producción es la segunda más alta de la historia pero es aún insuficiente; se encuentra limitada fundamentalmente por factores ambientales y agrotécnicos desfavorables para el buen desarrollo del cultivo y por la incidencia de nuevas plagas y enfermedades como el complejo geminivirus-mosca blanca (Cuba MINAG, 1999).

2.2. Nutrición mineral del tomate.

2.2.1. Función del nitrógeno.

El estudio del nitrógeno abarca un vasto periodo en la historia de la química, que cubre desde la época de los alquimistas hasta la moderna era de la síntesis química del siglo XX. Forma parte de la materia viva y es un constituyente de los más importantes compuestos y complejos organo-minerales de la planta como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, amidas y aminos. La clorofila, componente esencial en la fotosíntesis, es una sustancia nitrogenada (Domínguez, 1989).

La deficiencia de nitrógeno, en el cultivo del tomate, produce retardo en el crecimiento vegetativo, las hojas adquieren tonalidades que van desde el verde pálido hasta el amarillo, los folíolos se toman pequeños, con sus nervaduras arrosadas y con tonalidades púrpuras. (Silva, 1989 y Siviero, 1996).

Matamoros (1990) y Subbiah (1994) establecieron que el exceso de nitrógeno provoca una serie de inconvenientes como: vegetación excesiva, retraso y prolongación de la floración, escaso cuajado de los frutos, frutos blandos con pobre coloración, frágiles, con menor riqueza en azúcares y menor resistencia a la conservación.

Resulta evidente que el nitrógeno tiene notable incidencia tanto en el desarrollo vegetativo como en la productividad del cultivo. En este sentido, Mohamed *et al.* (1987) detectaron aumentos en los contenidos de aminoácidos libres, clorofila, proteínas y actividad fotosintética en las hojas a medida que las dosis nitrogenadas se hicieron mayores, mientras que Batista y Felipe (1990) observaron incrementos ligeros en el peso seco foliar, área foliar/planta y área foliar/m² con dosis por encima de los 100 g de N/m² en condiciones de semillero.

Csiznszky (1994) obtuvo aumentos en el tamaño de los frutos y número de frutos comerciales con niveles adecuados de nitrógeno. Por su parte, Vicente y Rene (1998) encontraron que altas concentraciones del elemento provocaron reducción en el número de frutos por planta y como consecuencia en la producción del cultivo.

La fuente de fertilizante nitrogenado que se utiliza para satisfacer las necesidades del cultivo y un exceso de nitrógeno en la planta permiten aumentar la susceptibilidad del vegetal a determinadas enfermedades. En este sentido, Spiegel *et al.* (1982) y Rodríguez (1990) encontraron que las formas nítricas incrementan la tolerancia de la planta al ataque de

nemátodos en el cultivo del tomate. Por su parte, Maroto (1992) en áreas del litoral valenciano, detectó una mayor sensibilidad a los ataques del Virus del Mosaico del Tabaco en determinadas variedades de tomate fertilizadas con una sobre dosis de nitrógeno.

2.2.2. Función del fósforo.

El fósforo forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos, de las coenzimas NAD y NADP y lo que es especialmente importante, como parte integrante del ATP. En los tejidos meristemáticos de las regiones de la planta que son sede de un activo crecimiento se encuentran fuertes concentraciones de fósforo (Arzola *et al.*, 1981).

Según Domínguez (1989), el fósforo participa en el proceso de reproducción y en la constitución genética de las plantas por ser un componente de los ácidos nucleicos. Interviene además en muchas reacciones bioquímicas relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas en las que obra como intermediario, donando o aceptando energía en reacciones específicas.

En el cultivo del tomate, la insuficiencia de fósforo se asocia con el raquitismo, la maduración tardía, el retardo de la floración y la caída de las flores y frutos. El síntoma más común que aparece en las hojas viejas es un verde negruzco o azulado que puede estar acompañado con tintes bronceados o púrpuras (Arzola *et al.*, 1981; Maroto, 1990 y Wilcox, 1996).

Giaconi y Escaff (1993) afirman que la presencia del elemento es indispensable para la buena fecundación de las flores, estimula el desarrollo del sistema radical y aumenta la resistencia del vegetal a las enfermedades. Es uno de los nutrientes que regula los efectos derivados de la presencia de un exceso de nitrógeno.

En las condiciones edafoclimáticas de Cuba, Maestrey (1986) plantea que cuando el nivel de fósforo en el suelo es bajo (3 mg/100 g de suelo por Oniani) el desarrollo vegetativo y la producción del cultivo se reducen hasta niveles de un 85 %. En tanto, Díaz *et al.* (1984) en un suelo Pardo Grisáceo del Escambray, encontraron una respuesta significativa del tomate a la fertilización fosfórica (60 kg P₂O₅/ha) con incrementos de casi 14 t/ha sobre el tratamiento testigo, similares resultados obtuvieron González *et al.* (1984) en un suelo Aluvial de textura arenosa con dosis de 80 kg P₂O₅/ha.

La carencia de fósforo se produce no solo por un contenido inadecuado de este nutriente en el suelo, niveles elevados de aluminio por encima de 2 ppm interfieren drásticamente en el metabolismo del fósforo, inducen una precipitación más intensa del fosfato de aluminio en el

espacio libre aparente de la raíz y trae como consecuencia una menor disponibilidad de este elemento para su absorción, transporte y asimilación (Méndez y Ribeiro, 1990 y Chude, 1994).

De igual forma, este nutriente resulta ser el principal elemento limitante de la producción en suelos salinos (Moyano, 1990). En este sentido, Maestrey et al. (1992) encontraron que la aplicación de fertilizantes fosfóricos provocó aumentos crecientes en los rendimientos del tomate en suelos con altos contenidos de sales en relación a la no aplicación del elemento.

2.2.3. Función del potasio.

A diferencia de otros elementos esenciales el potasio no entra en la composición de los constituyentes importantes de los vegetales que se relacionan con el metabolismo como las proteínas, los carbohidratos y la clorofila. Se destaca entre los demás elementos por su movilidad y solubilidad dentro de los tejidos, propiedades que explican, sin dudas, la rapidez con que puede ser reutilizado cuando está deficiente (Yagodin, 1986).

La importancia del potasio en la vida de las plantas es diversa, influye en el intercambio de carbohidratos, en la síntesis de proteínas, regula la actividad de otros elementos minerales, participa en la activación de múltiples enzimas como la piruvato quinasa que interviene en el proceso de respiración y coordina los movimientos de apertura y cierre de los estomas con lo cual regula el régimen hídrico de las plantas (Kemmler, 1988).

Según Silva (1989), cuando existe deficiencia de potasio en el cultivo del tomate se observa acortamiento de los entrenudos del tallo, en las hojas aparecen tonalidades amarillas por los bornes con manchas necróticas de color marrón pálido, los frutos adquieren un color rosado y son menos resistentes a la conservación. Behboudian y Anderson (1990) plantean que la deficiencia de potasio trae como consecuencia reducciones en el potencial hídrico y en la capacidad fotosintética en las plantas de tomate.

El potasio posee una influencia marcada en el tamaño del fruto y en la firmeza que determina la vida postcosecha del cultivo, aumenta el contenido de sólidos solubles totales y vitamina C, así como el sabor y el color del fruto (Bajaj, 1990 y Bhargava y Singh, 1991).

Desde finales de siglo se conoce de los efectos beneficiosos que sobre la salud de las plantas ejerce el potasio, un reporte de 1988 mostró que de los 170 vegetales estudiados el 63 % presentó cierta resistencia al ataque de enfermedades con aplicaciones de potasio y el tomate fue uno de los cultivos que más se favoreció (Sen, 1991).

La nutrición potásica actúa positivamente sobre el desarrollo del cultivo en condiciones salinas. Maestrey et al. (1992) encontraron que la fertilización con potasio disminuyó el consumo y posterior acumulación de sodio en los tejidos vegetales en un 13.79 % en relación a la no aplicación del elemento. Por su parte, Sattle et al. (1994) y Sattle y López (1994) observaron que la adición de potasio a un medio salino tuvo efectos positivos en la altura de la planta, la floración y fructificación del tomate cuando se comparó con la ausencia del elemento.

2.2.4. Absorción y acumulación de nutrientes por el cultivo.

La absorción de las sustancias nutritivas no es igual en los diferentes períodos de desarrollo de los cultivos. La información acerca de la variación de las concentraciones de nutrientes en los vegetales es necesaria como criterio para el análisis de planta con fines de diagnóstico, para el estimado de la extracción de nutrientes con las cosechas, como índice de los requerimientos de fertilizantes y como dato complementario acerca del valor potencial del vegetal en elementos proteicos y minerales para la dieta humana (Cuevas, 1998).

Cardoza et al. (1985) encontraron que las plantas durante los primeros 40 días absorbían menos de un 5 % del total de los nutrientes extraídos durante el ciclo del cultivo, en tanto, Maestrey et al. (1987) calcularon para este período un consumo diario aproximado de 6.73, 1.3 y 9.66 mg/planta de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, mientras que de los 30-70 días este fue de 19.7, 3.5 y 28.3 mg/planta. Estos autores señalan que durante el período de maduración de los frutos, a finales del ciclo, el consumo de nutrientes disminuye.

La extracción y acumulación de nutrientes por el cultivo del tomate aumenta conforme se incrementa el crecimiento de esta, de tal manera que la absorción antogénica de elementos corresponde con la curva de crecimiento de la planta (Cerdas et al., 1989).

La floración y fructificación son las etapas donde se producen los cambios más acentuados en la absorción de los nutrientes en el tomate. Cerdas et al. (1989) plantean que la absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio se incrementa intensamente a partir de la floración (45 días) y hasta el inicio de la maduración de los frutos (90 días). Por su parte, Hideaki et al. (1993) indican que la tasa máxima de acumulación de nutrientes ocurre a los 90 días, siendo el potasio el elemento que en mayor proporción toma la planta ya que aproximadamente el 73.8 % se absorbe en el proceso de fructificación.

Resultados similares obtuvo Wilcox (1996), al estudiar la variación en la composición mineral del cultivo en diferentes estadios de crecimiento. Este autor encontró que en el momento de la cosecha (105 días) los frutos habían acumulado 68 %, 70 % y 75 % de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente.

Las extracciones de macronutrientes que realiza la planta de tomate están relacionadas con las condiciones de desarrollo del cultivo (suelo, clima y técnicas de cultivo), con el destino de la producción, con la variedad sembrada y el rendimiento agrícola. Por eso no es extraño que en la bibliografía se encuentren informaciones muy diversas acerca de las extracciones que realiza el cultivo para producir una tonelada de fruto (Tabla 1).

Tabla 1.- Cantidades de nutrientes extraídas para producir una tonelada de frutos.

<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i> <i>Kg/t</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>S</i>	Fuente	País
2.28	0.91	5.53	-	-	-	Cardoza <i>et al.</i> (1984)	Cuba
5.16	0.86	5.62	-	-	-	Rodríguez <i>et al.</i> (1984)	Cuba
1.04	0.138	1.72	0.123	0.092	0.046	Menezes dos Santos (1992)	Chile
2.81	0.79	4.90	-	0.87	-	Maroto (1992)	España
2.67	1.01	5.3	1.168	-	-	Bennett (1996)	USA

2.2.5. Requerimientos de fertilizantes.

Muchos de los cultivos que se intercalan en una rotación hortícola tienen un ciclo muy corto frente a exigencias nutritivas relativamente grandes, ello exige del suelo un suministro puntual en los momentos críticos en los que se producen demandas muy elevadas de nutrientes (Miele, 1996).

En el cultivo extensivo existe la idea de que la fertilización es uno de los factores de producción más importantes y que el volumen que se utiliza se relaciona directamente con la cantidad de la cosecha que se obtiene. Esto hace que sea muy frecuente la aplicación excesiva de fertilizantes minerales lo que provoca, no solo prejuicios económicos, sino que también se pueden producir daños considerables sobre el entorno donde se asiente el cultivo, trayendo como consecuencia la contaminación de suelos y aguas y la acumulación de altos niveles de nitratos en los productos agrícolas que constituyen una importante fuente de fitotoxicidad para el hombre (Nuez, 1995 y Siveiro *et al.*, 1996).

Las aplicaciones de fósforo y potasio son importantes para lograr niveles de rendimiento satisfactorios, sin embargo, en el 50 % de los suelos dedicados al cultivo del tomate estos elementos se encuentran en cantidades suficientes para obtener la máxima productividad y calidad biológica, por lo que la respuesta a la fertilización nitrogenada es el aspecto de la nutrición que más se estudia en la mayor parte de las áreas destinadas al cultivo del tomate a escala mundial (Peet, 1998).

En este sentido, Pedroza (1984) propone aplicar 100 kg N/ha para alcanzar rendimientos máximos equivalentes a 20.11 t/ha. Por su parte, Matamoros (1990) recomienda la dosis de 60 kg de N /ha como la más idónea para garantizar los mejores resultados en el cultivo del tomate, dando lugar a una maduración más precoz y a una mejor relación entre el desarrollo vegetativo y productivo de la planta.

En Cuba, la fertilización nitrogenada del tomate se efectúa considerando el tipo de suelo. Cardoza *et al.* (1992) en la variedad Campbell 28 cultivada en suelos Ferralíticos Rojos obtuvieron los mejores rendimientos con dosis de 80 a 120 kg N/ha, mientras que en un suelo arenoso con bajo contenido de materia orgánica Fonseca *et al.* (1992), encontraron rendimientos óptimos con aplicaciones de 120 kg N/ha. Adhanoboun *et al.* (1996) en un suelo Ferralítico Rojo con altos contenidos de fósforo y potasio obtuvieron una dosis económica de 158 kg N/ha para el cultivo del tomate.

Para la fertilización fosfórica y potásica puede ser de gran utilidad el análisis de suelo. Silva (1989) obtuvo rendimientos máximos con 230 Kg P₂O₅/ha y 130 kg K₂O/ha en suelos con bajos contenidos de estos elementos. En similares condiciones, Matamoros (1990) recomienda 150 y 200 Kg/ha de fósforo y potasio respectivamente. Por su parte, Faria y Pereira (1993) señalan como dosis óptima 180 kg P₂O₅/ha para un suelo con 1.7 ppm de fósforo disponible.

En Cuba, González *et al.* (1984) encontraron los mayores incrementos en el rendimiento con aplicaciones de 80 kg P₂O₅/ha y 100 kg K₂O/ha, en un suelo arenoso de Pinar del Río. En tanto, Almaguer *et al.* (1985) en un suelo Pardo Grisáceo señalaron como dosis más adecuada 52 y 136 Kg/ha de fósforo y potasio respectivamente, mientras que Fonseca *et al.* (1992), en un suelo Aluvial con bajo contenido de P₂O₅, alto en K₂O y bajo en materia orgánica, encontraron que niveles de 79.19 kg P₂O₅/ha y 100 kg K₂O/ha produjeron los mejores rendimientos.

Maestrey (1986) al determinar la efectividad de la fertilización con fósforo y potasio para el tomate de primavera, recomendó las dosis teniendo en cuenta los contenidos de fósforo y potasio presentes en el suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Dosis de fósforo y potasio a aplicar al cultivo del tomate según los contenidos presentes en el suelo.

Suelo	Contenidos en suelo		Dosis	
	P206	K20	P206	K20
	(mg/100 g de suelo)		(kg)	
Fenaltico Rojo	19	26	30	50
Fenalftico Rojo	90	31	0	0
Pardo Grisáceo	3	8	70	190

Fuente: Maestrey (1986)

No es necesario insistir en el papel importante que en la nutrición de las plantas desempeñan los fertilizantes minerales para mantener y aumentar la producción agrícola. Sin embargo, en la naturaleza los compuestos orgánicos, los inorgánicos y los productos derivados de la actividad de los microorganismos del suelo coexisten y constantemente se encuentran en interacción. Esta realidad permite prever los resultados positivos del uso combinado de la fertilización mineral con las fuentes orgánicas y biológicas en el marco de un "Sistema integrado de nutrición de las plantas" (SINP) (Tandón, 1992).

Roy (1992) en un amplio análisis de la documentación sobre el tema estableció, como aspectos esenciales a considerar en el SINP, las posibilidades de la complementación de la nutrición mineral mediante el uso de fuentes orgánicas y biológicas. Este autor plantea que además de mejorar el estado físico y microbiológico del suelo, los efectos sinérgicos entre las fuentes permiten incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes.

Este enfoque no es nuevo, desde hace años se practica el empleo simultáneo y complementario de fertilizantes químicos y abonos orgánicos en diversas partes del mundo, se siguen elaborando prácticas y sistemas de cultivo para conservar y mejorar la fertilidad de los suelos, han surgido nuevas tecnologías y métodos para la producción y empleo de los fertilizantes, para la reutilización de materias orgánicas y para potenciar el uso general de los biofertilizantes.

2.3. La fertilización biológica en una agricultura sostenible.

Ciertos microorganismos del suelo pueden incrementar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, otros producen compuestos como vitaminas, hormonas y antibióticos que contribuyen a la salud vegetal y a la obtención de altos rendimientos. El hombre con el desarrollo tecnológico aplicó métodos microbiológicos para estudiar estos microorganismos y utilizarlos posteriormente, bajo el nombre genérico de biofertilizantes, en las prácticas agrícolas contemporáneas. (Campagnoni, 1997 y Guet, 1997).

Desde 1972, con la fundación de la IFOAM (Internacional Federation of Organic Agriculture Movements) se estableció que la agricultura orgánica debía aumentar la fertilidad de los suelos y su actividad microbiana e incrementar el reciclaje de los nutrientes. En la década de los 90, los biofertilizantes se convirtieron en un punto común de investigación teniendo en cuenta los serios problemas ambientales causados con la aplicación irracional de los fertilizantes químicos (IFOAM, 1998).

Desde el punto de vista ecológico, la aplicación correcta de estos productos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes. En adición, mantienen la capacidad productiva del sistema, preservan la biodiversidad y contribuyen con una producción más estable y sostenida a largo plazo en equilibrio con el entorno. Constituye una tecnología racional, que responde a la Agenda 21 de la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo firmada en Río de Janeiro en junio de 1992 (Mesa et al, 1995) y da cumplimiento a algunos postulados de su Capítulo 3 como son:

- Encontrar sustitutos o mejoras ecológicamente racionales de los procesos de producción que son nocivos para el medio ambiente.
- Elaborar aplicaciones para reducir al mínimo la necesidad de insumos químicos sintéticos insostenibles y para utilizar al máximo productos ecológicamente adecuados incluidos los naturales.

a Elaborar nuevas tecnologías para la selección rápida de organismos que puedan tener propiedades biológicamente útiles.

El uso actual de los biofertilizantes en Cuba no es una consecuencia del período especial, aunque hay que reconocer que esta situación promovió su utilización debido fundamentalmente a la reducción de las importaciones de fertilizantes provenientes de los países del campo exsocialista. Desde 1962 existía el convencimiento pleno de la gran utilidad que podía recibir el país mediante la manipulación de los microorganismos del suelo,

comenzaron entonces profundos estudios encaminados a obtener los conocimientos básicos sobre la microflora de los suelos cubanos y dados los positivos resultados que se han obtenido hasta el momento, cuando termine este periodo se mantendrá la trascendencia del uso de los biofertilizantes en la agricultura cubana (Martínez y Hernández, 1995).

2.3.1. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).

El término PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) se conoce desde 1978 y se acepta para describir a las bacterias que habitan en la rizosfera de las plantas y que pueden tener un efecto positivo sobre los cultivos (Dileep y Dubet, 1992).

Según Kloepper et al. (1989), el efecto beneficioso de las rizobacterias radica en diferentes mecanismos mediante los cuales ellas ejercen su acción. Bashan y Levanony (1990) plantean que los cambios más marcados de la inoculación ocurren en el sistema radical de las plantas, lo que conlleva posteriormente a un incremento en la adquisición de sustancias nutritivas y agua.

Según Fendrik et al. (1995) y Martínez et al. (1997), las bacterias rizosféricas son capaces de producir sustancias fisiológicamente activas como vitaminas, giberelinas, citoquininas, ácido- indo) -acético en cantidades importantes, las cuales mediante su acción conjunta estimulan la germinación de la semilla, aceleran el desarrollo de las plantas e incrementan el rendimiento de los cultivos. Por otra parte, Martínez y Dibut (1996) plantean que ciertos géneros bacterianos, fundamentalmente los de vida libre, fijan el nitrógeno atmosférico en proporciones considerables.

Goendi et al. (1995) encontraron que los géneros *Azospirillum* y *Azotobacter* producen polisacáridos extracelulares durante su crecimiento y proliferación. Estos compuestos son efectivos en la formación de agregados del suelo, lo que trae como consecuencias mejoras en el intercambio gaseoso y en la capacidad hídrica de los suelos.

Las PGPR intervienen en el control de patógenos mediante la producción de antibióticos, inducción de resistencia, activación de los mecanismos de defensa y producción de sideróforos; compuestos con alta afinidad por el Fe III, que son elaborados por una gran variedad de microorganismos, fundamentalmente por el género *Pseudomonas*. Estos metabólicos suprimen las enfermedades a través del secuestro de Fe convirtiéndolo en un factor limitante para el crecimiento de patógenos en la rizosfera de los cultivos (Miranda et al., 1998).

Aunque las propuestas anteriores están basadas en evidencias experimentales, son cuantitativamente insuficientes para soportar el hecho de que alguno de los mecanismos sea solo el responsable de los cambios que se producen en el crecimiento de las plantas.

Bashan (1993) propone una "Hipótesis Aditiva" donde, "probablemente más de un mecanismo participa en la asociación, ya sea simultánea o en sucesión. La suma de sus actividades en la condición ambiental específica resulta en los cambios observados en el crecimiento de las plantas.

Dentro del grupo de las PGPR se incluyen varios géneros bacterianos. Se destacan entre ellos los géneros ***Arthrobacter***, ***Bacillus***, ***Enterobacter*** y ***Serratia*** (Kloepper et al., 1989) ***Azospirillum***, ***Pseudomonas*** y ***Azotobacter*** constituyen candidatos ideales dentro de este grupo (**Bashan**, 1993).

2.3.1.1. El género *Azospirillum*.

Las primeras especies de ***Azospirillum*** se aislaron de un suelo pobre en nitrógeno en Netherland por Beijerinck en 1925. Inicialmente se le llamó ***Spirillum lipoferum***. (**Bashan** y **Levanony**, 1990). Este género está formado por bacterias diazotróficas, Gram negativas (**Summer**, 1990) y su nombre se deriva de los términos azo que significa capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y ***spirillum*** que significa movimientos espirales de la célula (**Coscatunca**, 1995 y **Bastelaere**, 1996).

No muchos reportes sucedieron a los trabajos que realizó Beijerinck, hasta que en 1970 el grupo de la Dra Johanna Dobbereiner redescubrió al género ***Azospirillum*** como resultado de las investigaciones realizadas en las rizosferas del maíz y ***Digitaria decumbens*** (**Dommelen**, 1998 y **Murphy**, 1998).

En el presente existen 5 especies que componen el género ***Azospirillum***, ellas son: ***Azospirillum brasilense***, ***Azospirillum lipoferum***, ***Azospirillum amazonense*** (aislado de algunas gramíneas en la zona amazónica del Brasil), ***Azospirillum halapmiferens*** (especie tolerante a la salinidad) y ***Azospirillum irakense*** (**Palazzo** et al., 1997).

Se caracterizan por su motilidad y respuesta a factores quimiotácticos y por permanecer durante un largo período en la rizosfera de los cultivos. Estas características le confieren al género facilidad competitiva con la microflora nativa. (**Patrikin**, 1983 y **Bashan**, 1991). Se puede encontrar en un gran número de suelos tropicales, incluso en tundras y sitios semidesérticos (**Bashan** y **Holguin**, 1997).

Las bacterias del género *Azospirillum* son organismos versátiles, capaces de usar una amplia gama de fuentes de carbono como malato, succinato, lactato y piruvato para la producción de energía y biomasa microbiana. Fijan el nitrógeno molecular en condiciones de microaerofilia (Dobereiner, 1992 y Moens, 1996), *Azospirillum brasilense*, por ejemplo, puede fijar nitrógeno en condiciones extremas de 0.05 a 0.1 atmósferas de oxígeno (Dommelen, 1998).

De todo el nitrógeno que fija la bacteria, menos del 5 % se incorpora al interior del vegetal, estas cantidades son insuficientes para explicar el incremento de N en plantas, además existen mutantes incapaces de fijar nitrógeno atmosférico (*Nif⁺*) que pueden promover el crecimiento vegetal hasta un 18 %. (Summer, 1990), por lo que está claro que la fijación biológica del nitrógeno no es el mecanismo principal que promueve el crecimiento vegetal (Bastelaere et al., 1993 y Moens, 1996).

En Cuba se dan pasos acelerados en la elaboración de biopreparados a base de *Azospirillum*, a partir de cepas aisladas de la rizosfera de los cultivos de interés económico como maíz y caña de azúcar. La obtención y caracterización de especies autóctonas a través de programas de prospección se realizan con la finalidad de seleccionar las de mejores potencialidades para su producción y de mayor eficiencia en campo (Pazos et al., 1996).

Los biopreparados a base de *Azospirillum* comenzaron a aplicarse en 1994 sobre 4000 ha de arroz, y se incluyeron los programas de biofertilización de la caña de azúcar (Martínez y Hernández, 1995) y aunque los estudios sobre el efecto del género en la promoción del crecimiento vegetal se realizan fundamentalmente en gramíneas y cereales como trigo, maíz y caña de azúcar, sus efectos beneficiosos también se manifiestan en otros cultivos como tomate, pimiento, girasol, boniato, papa yajo.

2.3.1.2 El género *Pseudomonas*.

Pseudomonas constituye uno de los principales grupos de rizobacterias con actividad promotora del crecimiento vegetal. Pertenece a la familia **Pseudomonadaceae** y se divide en dos grandes grupos que se determinan por la producción de pigmentos, encontrándose especies fluorescentes y no fluorescentes que pueden resultar beneficiosas o patógenas a plantas o animales. Se destacan dentro de este género las especies ***Pseudomonas fluorescens*** y ***Pseudomonas cepacia*** (Hernández et al., 1997).

Hernández et al. (1998) y Fernández *et al.* (1998) señalan que entre sus mecanismos de acción se destacan el aumento de la toma de agua y nutrientes por la planta, la producción de fitohormonas y el biocontrol de patógenos, por lo que es de gran importancia el aislamiento y caracterización de cepas que estén incluidas en esta clasificación y que puedan ser utilizadas como futuros biofertilizantes en los cultivos de interés agrícola.

El género ***Pseudomonas*** es capaz de producir auxinas durante su proceso metabólico. En un estudio de caracterización de 29 cepas bacterianas, Hernández et al. (1998) encontraron que ciertas cepas de ***Pseudomonas cepacia*** producían ácido-indol-acético. Similares resultados obtuvieron Santander *et al.* (1998).

Las bacterias pertenecientes al grupo de las fluorescentes, tales como, ***Pseudomonas fluorescens*** y ***Pseudomonas pulida***, pueden colonizar un amplio rango de cultivos y son antagonistas de varios patógenos que se encuentran asociados a las raíces de las plantas como ***Fusarium***, ***Phytophthora***, ***Rhizoctonia*** y ***Sclerotium*** (Tumbull et al., 1992 y Durkhead et al., 1995).

Pseudomonas fluorescens produce sideróforos del tipo catecol y ***Pseudomonas cepacia*** del tipo hidroxamato. Ambas especies producen una gran variedad de metabolitos fitotóxicos y sideróforos con propiedades antibióticas contra hongos y bacterias fitopatógenas (Fernández et al., 1998).

Actualmente en Cuba se investiga acerca del efecto de ***Pseudomonas*** como control biológico y como biofertilizante en maíz, garbanzo, cebolla, ajo, tomate, girasol, sorgo y vitroplantas de caña de azúcar. Los estudios sobre el género se encaminan fundamentalmente a la selección de especies autóctonas predominantes en las rizosfera de los cultivos (Hernández *et al.*, 1996 y Hernández *et al.*, 1998).

2.3.1.3. **El género *Azotobacter*.**

H. Jordin sugiere la existencia de microorganismos que fijan nitrógeno en 1862, sin embargo, no fue hasta 1896 que S. Winogradsky estableció de modo irrefutable la fijación no simbiótica del nitrógeno atmosférico al aislar ***Clostridium pasteurianum***. En 1901, M. W. Baierinck demostró que la fijación biológica del nitrógeno se realizaba también por bacterias aeróbicas pertenecientes al género ***Azotobacter***, aisló ***Azotobacter chmocoocum*** del suelo y ***Azotobacter agilis*** del agua. Poco tiempo después, en 1904, K. Lipman describió la especie

Azotobacter vinelandii y en 1966 surge *Azotobacter paspali* propuesta por Johanna Dobereiner (Martínez, 1986; Hasnain *etal*, 1993 y Murphy, 1998).

Las bacterias pertenecientes al género *Azotobacter* poseen un complejo enzimático capaz de reducir el nitrógeno del aire a amonio y que puede ser asimilado por las plantas. Bhattacharya y Chaudhuri (1993) plantean que fijan de 20 a 30 kg de nitrógeno/ha/año, sin embargo, en determinadas condiciones ambientales el efecto beneficioso de estas bacterias no se debe a la cantidad fijada, sino a la presencia de vitaminas y sustancias fisiológicamente activas que sintetizan (Dibut et al., 1994). Por ejemplo, *Azotobacter chroococcum* sintetiza tiamina (50-100 pg/g de sustancia celular seca), ácido nicotínico (240-260 pg/g), ácido patotelco (más de 500 pg/g), biotina (6-16 pg/g), vitaminas, aminoácidos y auxinas (FAO, 1986; Martínez, 1986; Martínez y Hernández, 1995 y Martínez y Dibut, 1996).

La capacidad para fijar nitrógeno atmosférico varía considerablemente en dependencia del medio nutritivo. Requieren fundamentalmente molibdeno y vanadio, microelementos que participan en la activación de la enzima nitrogenasa y de los genes (*Nif A*) que están involucrados en la biosíntesis de este sistema enzimático (Kennedy, 1998).

Azotobacter chroococcum es uno de los biofertilizantes que más se aplica e investiga en Cuba. Sus propiedades beneficiosas se ponen de manifiesto en una gran variedad de hortalizas, granos y viandas. Las cepas cubanas producen mayor cantidad de sustancias biológicamente activas que las indicadas para países templados. En este sentido, Dibut et al. (1992) determinaron 6 aminoácidos y 2 citoquininas más que las reportadas por la literatura internacional así como otras hormonas vegetales de los tipos auxinas y giberelinas que aún no están identificadas.

Actualmente se utilizan comercialmente cuatro biopreparados a base de distintas cepas de *Azotobacterchroococcum* aisladas de los suelos de Cuba. Biostin con la cepa INIFAT-12 utilizada para tomate, pimiento, tabaco, cucurbitáceas y hortalizas de hoja; Oniobiostin con la cepa INIFAT-9 que se usa para cebolla ajo y col; Azotoryza con la cepa INIFAT-17 aplicada a plátano y arroz y Azostín con la cepa INIFAT-6 que se utiliza para malanga (Tetro y Arzola, 1993).

De 1990 a 1991 se fabricaron en Cuba de 50 000 a 6 000 000 de litros anuales; desde entonces se producen aproximadamente 4 000 000 de litros para aplicarlos en unas 200 000 ha de hortalizas, viandas y cultivos diversos. En todos se obtienen respuestas efectivas, tanto en el ahorro de los fertilizantes nitrogenados como en la elevación de los rendimientos. (Martínez y Dibut, 1996).

2.3.2. Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA).

El término micorriza aparece por primera vez en 1885. Fue propuesto por el botánico Alemán Albert Bernard Frank y proviene del griego mico que significa hongo y del vocablo latín rhiza que significa raíz (Bonfante y Perotto, 1995 y LePage et al., 1997). Sin embargo, existen evidencias que indican la existencia de estas asociaciones desde hace 400 millones de años (Hass et al., 1994 y Taylor et al., 1995).

La mayoría de las plantas terrestres establecen en sus raíces al menos uno de los 7 tipos de asociaciones micorrizicas, siendo las del tipo arbuscular la simbiosis más extendida sobre el planeta, no solo por el número de plantas hospederas que son capaces de colonizar, sino también, por su amplia distribución geográfica (Morton et al., 1995; Rivas-Platero, 1997 y Shascha-Hill et al., 1998).

Más del 95 % de las especies vegetales existentes en el globo terráqueo se encuentran micorrizadas de forma nativa y a su vez, en el 95% de los casos, las micorrizas son del tipo arbuscular (Bever et al., 1995). Su nombre está asociado con estructuras especializadas denominadas arbusculos que se forman en las células corticales de la raíz como resultado de la interacción planta-hongo. Estas estructuras constituyen el punto de intercambio de metabólicos entre los dos participantes de la simbiosis (Ballestrini et al., 1996; Ayling et al., 1997 y Bago et al., 1998).

Las micorrizas arbusculares se ubican actualmente en el Orden Endogonales de la Clase Zigomicetes, Walker (1992) reconoce las siguientes familias y géneros.

***Familia* Gigasporaceae**

Géneros: *Gigaspora*

Scutellospora

***Familia* Acaulosporaceae**

Géneros: *Acaulospora*

Entrophospora

***Familia* Glomaceae**

Géneros: *Glomus*

Sclerocistes

La simbiosis micorrizica aumenta de forma marcada la absorción de nutrientes como el nitrógeno, potasio, calcio, zinc, magnesio y especialmente el fósforo (Smith, 1994; Merryweather y Fitter, 1996 y Alkaraki y Clark, 1998), mejora el transporte y absorción del agua en el vegetal así como la resistencia de la planta huésped a la sequía (Rivas -Platero, 1997, Alkaraki, 1998 y De la Noval et al., 1998), contrarresta el ataque de patógenos, ya sea por la ocupación previa del espacio de raicillas o por la estimulación de los mecanismos de defensa bioquímica (Chellemi et al., 1997 y Dassi et al., 1998) y contribuye a la formación de agregados de suelo (Cuenca et al., 1998)»

Las raíces de las plantas inoculadas con micorrizas presentan un micelio externo que se extiende a mayor distancia que los pelos radicales y se estima que 1 cm de raíz colonizada contiene entre 80-3000 cm de micelio extraradical. Además, las plantas micomzadas transfieren hacia el hongo entre el 6-12 % del carbono fijado en comparación con las no colonizadas, esto representa un notable aumento del carbono disponible para la actividad microbiana del suelo (Bethlenfalvay y Linderman, 1992).

Hasta hace pocos años el uso de los HFMA se encontraba restringido a aquellos cultivos que necesitan de una fase inicial de establecimiento y crecimiento antes de quedar definitivamente establecidos en el campo como semilleros de hortalizas, viveros de frutales y fase de adaptación en vitroplantas, en esos casos los volúmenes de inóculo eran aceptables, sin embargo no se recomendaban para cultivos de siembra directa aún cuando los efectos eran positivos (Blanco y Salas, 1997 y Fernández et al., 1997).

A partir de 1994, comenzó en Cuba a desarrollarse una tecnología novedosa y de bajo costo, con insumos nacionales, demostrada a nivel de campo y que consistía en revestir la semilla con cierta cantidad de inóculo microbiano capaz de establecer la simbiosis con la planta y garantizar la infección de las raíces, permitiendo un ahorro del 99 % del inóculo microbiano y entre un 25-50 % del fertilizante químico, dependiendo de la fertilidad del suelo y tipo de biofertilizante. El recubrimiento de semilla posibilita actualmente el uso de los HFMA en cultivos de siembra directa como pepino, calabaza, frijol, girasol, sorgo y maíz (Gómez et al., 1995 y Gómez et al., 1996).

2.3.3. Importancia de las coinoculaciones HFMA- rizobacteria.

Las endomicorrizas arbusculares favorecen la proliferación de microorganismos productores de antibióticos, fijadores de nitrógeno, solubilizadores y mineralizadores de nutrientes, incluso aquellos que se involucran en los procesos de agregación y estabilidad de los suelos. Mediante la red de micelio externo, pueden traspasar de forma más efectiva los productos de la actividad de las rizobacterias cuando se encuentran juntas en la rizosfera de los cultivos, por lo que las inoculaciones mixtas pueden crear interacciones sinérgicas entre los microorganismos biofertilizantes (Siqueira y Franco, 1988).

En este sentido, Gianinazzi-Pearson y Diem (1982) determinaron que las bacterias de vida libre como *Azotobacter* y *Azospirillum* aumentaron su población en la rizosfera de la planta hospedera al estar micorrizadas las raíces.

Al señalar los principales resultados obtenidos en el estudio de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y su relación con las micorrizas arbusculares, Barea y Azcón-Aguilar (1991) en inoculaciones conjuntas de microorganismos, encontraron que la infección micorrizica se incrementó con la presencia de *Azotobacter*.

La coinoculación *Micorriza-Azospirillum* es un ejemplo de interacción benéfica ya que la colonización de las raíces por los hongos estimula el flujo de carbohidratos desde el follaje hasta la raíz. Estos carbohidratos pueden constituir fuentes de carbono para el crecimiento de la bacteria, por otra parte, se ha comprobado que las hormonas vegetales que produce *Azospirillum* en medio de cultivo estimulan la formación y desarrollo de la simbiosis micorrizica en una diversa gama de plantas hospederas (Coscatunca, 1995).

Glandfor, (1994) y Cuevas y Rivas - Platero (1997) demostraron que la inoculación de *Pseudomonas fluorescens* en tomate estimula la colonización micorrizica en la raíz e incrementa significativamente la producción del cultivo. Por su parte, Guerrero et al. (1996) y Edwards et al. (1998) señalan que las micorrizas podrían captar los iones fosfatos que se liberan por acción de las bacterias solubilizadoras de fósforo, debido a la mayor capacidad que poseen para explorar el suelo a través de las hifas. Estos autores indican que la inoculación con *Azotobacter* y *Azospirillum* incrementa los niveles de colonización micorrizica y que las poblaciones de *Pseudomonas fluorescens* aumentan en presencia de los HFMA pertenecientes a la especie *Glomus mosseae*.

Son evidentes los efectos beneficiosos que pueden aportar las inoculaciones mixtas al sistema planta-suelo-microorganismo. Sin embargo, esta práctica puede conllevar a la

alteración de las poblaciones nativas del suelo por la introducción de una o más especies microbianas en un mismo ecosistema agrícola. Entre las consecuencias inmediatas y a largo plazo se destacan cambios en la composición de especies microbianas en el suelo y efectos antagónicos entre las poblaciones de dos o más biopreparados (Fernández, 1994).

2.3.4. Biofertilización del tomate.

La producción de posturas de tomate en semilleros a raíz desnuda representa en Cuba más del 95 % del total que se produce actualmente (Cuba MINAG, 1999). En esta primera fase la planta presenta un crecimiento pobre tanto foliar como radical. Sin embargo, su buena conducción y manipulación determinará la calidad del trasplante, el número de plantas por unidad de superficie y el éxito de la cosecha final. Por tales motivos, las prácticas agrícolas que se realizan en la fase de semillero deben estar encaminadas a promover el desarrollo vegetativo y la eficiencia del sistema radical que es por lo general poco profundo.

Estas particularidades permiten prever el posible efecto beneficioso de los HFMA y bacterias rizosféricas en el cultivo del tomate. Su utilización favorecerá la producción de posturas más vigorosas, con un sistema radical más desarrollado y por tanto mejor adaptadas a las condiciones de estrés que se producen durante el trasplante.

Los estudios en la temática de biofertilización en el cultivo del tomate son numerosos e incluyen tanto la inoculación individual de microorganismos como la coinoculación. En este sentido, Dibut *et al.* (1992) plantean que los efectos de la inoculación con *Azotobacter chroococcum* (cepa INIFAT-12) sobre el vigor general de la planta, la aceleración del desarrollo y el incremento de la floración, fructificación y el rendimiento en general se deben a la cantidad y la variedad de sustancias biológicamente activas que produce.

Resultados similares detectaron Acosta *et al.* (1992) al estudiar el efecto de *Azotobacter chroococcum* sobre el metabolismo, crecimiento y desarrollo en el cultivo del tomate. El área foliar y los contenidos de clorofila b y carotenoides fueron mayores en las plantas inoculadas al compararlas con las no inoculadas y su aplicación permitió aumentar el rendimiento agrícola entre 30 y 50%.

Martínez y Dibut (1996) encontraron que la inoculación con *Azotobacter* en semilleros de tomate permite obtener aumentos en la población de plántulas entre 30-40 %. Estos autores plantean que las sustancias activas elaboradas por las bacterias aceleran el crecimiento de las plantas. La fructificación ocurrió más temprano y el número de frutos por

planta fue 35 % superior en la época normal y 60 % fuera de época, el rendimiento aumentó en un 38-60 %.

En un suelo Pardo Grisáceo, la inoculación de la variedad Campbell 28 con *Pseudomonas fluorescens* incrementó el rendimiento en los tratamientos no fertilizados con fósforo sin igualar al testigo de producción, sin embargo, en un suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo rojizo lixiviado permitió ahorros de fertilizantes fosforados entre 50-75 % (retro y Arzola, 1993).

En un estudio de 8 cepas de micorrizas arbusculares Ferrer et al. (1992) encontraron efectos positivos sobre la altura, diámetro del tallo, número de flores y masa seca del follaje con la inoculación de *Glomus fasciculatum* y *Glomus manihoti*.

Gómez et al. (1996) recomiendan la inoculación del tomate con *Glomus manihoti*, *Glomus mosseae*, *Azospirillum brasilense* y *Azospirillum lipoferum* con ahorros entre 25-100 % del fertilizante químico en dependencia de la fertilidad y tipo de suelo. Por su parte, Terry et al. (1997) encontraron que la inoculación con *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* en fase de semillero permitió incrementar la altura de las plántulas (97.60 y 99.20 %), el diámetro del tallo (50%), la longitud radical (36.70 y 24.60 %), la masa seca foliar (100 y 136 %) y la masa seca radical (55.50 y 66.60 %) en suelos con fertilidad de media a alta.

Llonin et al. (1998) indican que los beneficios de la fertilización mineral sobre el rendimiento del cultivo del tomate se potenciaron con la inoculación de la especie *Glomus fasciculatum* en un suelo Ferralítico Rojo compactado, su aplicación permitió incrementos de un 25 % en la producción total.

En un suelo Pardo con carbonatos y con el objetivo de conocer el efecto de la biofertilización con HFMA y *Azotobacter chroococcum* en el tomate, Alarcón et al. (1998) encontraron que los productos inoculados incrementaron el rendimiento del cultivo en un 38.68 % en comparación con el tratamiento testigo.

Medina et al. (1998) indican que la coinoculación con *Azospirillum* y hongos micorrizógenos fue capaz de producir plantas más vigorosas y se evidenció la capacidad de dichos hongos, de garantizar las necesidades nutricionales de las plantas en no menos de un 50 % ya sea de forma independiente o combinados con bacterias rizosféricas.

En cuanto a las dosis de aplicación, Ruiz (1994) propone aplicar en la siembra del semillero y después del trasplante una dosis de 20 Uha de la cepa *Azotobacter chroococcum* MB-23 en solución final de 400 Uha de H₂O (0.005 L/m²), mientras que Almenares et al. (1996)

llegaron a la conclusión de que los tratamientos correspondientes a 30 Uha en el momento de la prefloración y 15 L/ha en germinación + 15 L/ha en floración permitieron incrementar los rendimientos de un 9-37 % en el cultivo del tomate con relación al testigo de producción (30 L/ha en el trasplante).

Para el género *Azospirillum*, Moya et al. (1995) mostraron en experimentos de campo que las dosis más efectivas oscilan entre 20 y 40 L/ha en el momento del trasplante con incrementos en el rendimiento del tomate entre 62.5 y 100 %. Por su parte, Fraser et al. (1997) indican como satisfactoria la imbibición de las raíces de las posturas de tomate en una solución de agua y concentrado de inóculo de *Azospirillum lipoferum* en relación 1:1.

La inoculación de HFMA en semilleros de tomate se realiza utilizando tanto el método tradicional de inoculación al suelo a razón de 1 kg /m² como el de peletización de semillas. Este último método se recomienda también para *Azospirillum* y *Pseudomonas* que se comercializan en soporte sólido (Gómez et al., 1997). Para los HFMA, Ruiz et al. (1997), señalaron la utilización de una relación inóculo /semilla de 1 : 7.5 lo que equivale a aplicar el 13.3 % de inóculo con relación al peso de la semilla.

De lo antes expuesto queda demostrado las ventajas y beneficios de la aplicación de biofertilizantes en las condiciones de Cuba. Su utilización permite complementar la nutrición del tomate y lograr rendimientos satisfactorios. Los estudios sobre el tema deben continuar para disponer de mayores resultados que puedan ser transferidos a la producción y deben estar dirigidos fundamentalmente, a la selección e identificación de las especies autóctonas que predominan en la rizosfera de los cultivos en cada condición edafoclimática. Cabe destacar, que cualquier proyecto que pretenda manipular las poblaciones microbianas del suelo con vistas a su uso óptimo desde el punto de vista tanto vegetal como edáfico debe tener en cuenta los factores que afectan la interacción microorganismo-planta-suelo.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Condiciones naturales donde se realizaron las investigaciones.



Para cumplimentar los objetivos propuestos se llevó a efecto el presente estudio durante los años 1996-1999, en áreas del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", ubicado en el Municipio Quivicán, al sur de la provincia La Habana, a 22° 23' de Longitud Norte y 82° 23' de Latitud Oeste y a una

altura sobre el nivel del mar de 9-11 m. (IIHLD, 1997).

El material vegetal que se utilizó estuvo conformado por semillas sexuales de tomate (*Lycopersicon esculentum* Milj.), variedad HC 38-80, con adaptación climática a las condiciones del trópico. Esta variedad se caracteriza por poseer hábito de crecimiento determinado de tipo intermedio. Posee un ciclo vegetativo medio de 110 días, sus frutos son redondos, de tamaño grande y un peso promedio de 160 g, por su buen sabor son ideales para el consumo fresco. No presentan hombro verde antes de la maduración, tienen buena coloración y son multiloculados. La variedad puede alcanzar un rendimiento de 40 a 50 t/ha (Gómez *et al.*, 1992).

Los experimentos se desarrollaron en dos fases, semillero y campo. El cultivo se estableció durante los meses de diciembre a mayo de cada año en un suelo Ferralítico Rojo compactado (Instituto de Suelos, 1995) con altos contenidos de P₂₀₅ y K₂₀.

Para el análisis de suelo se tomaron 10 y 20 submuestras antes de la fase de semillero y campo respectivamente, con vistas a formar una muestra compuesta aproximadamente de 2.5 kg de suelo a una profundidad de 0-20 cm eliminando, previamente de la superficie, los restos orgánicos y otros materiales (Cuba MINAG, 1987). Las características agroquímicas iniciales en cada fase aparecen en las Tablas 3 y 4.

Las temperaturas máxima, mínima y media, la humedad relativa, las precipitaciones ocurridas durante los años en los que se realizó el estudio así como las horas de incidencia solar, aparecen en la Tabla 5. Según datos calculados por Hernández (1998) los valores encontrados en las condiciones en las que se desarrollaron los experimentos resultan típicos de la época y zona correspondientes. Las temperaturas se ubican dentro de los

rangos óptimos (18-30 °C) adecuados para garantizar la germinación, la emergencia, el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Tabla 3. - Características agroquímicas del suelo (fase de semillero) .

MO	PH	K'	CaP	Mg	P
(%)	H2O		(cmol/kg)		(ppm)
2.04	7.5	0.49	8.8	3.9	320
Walkley - Black	Potenciometría		Maslova		Bray - Kurtz

Tabla 4. - Características agroquímicas del suelo (fase de campo).

MO	PH	K'	Ca ^e	Mg	P
(%)	H2O		(cmol/kg)		(ppm)
1.36	7.6	0.37	11	1.0	250
Walkley - Black	Potenciometría		Maslova		Bray - Kurtz

Tabla 5.- Comportamiento promedio de algunas variables climáticas que caracterizaron los años evaluados.

	1996/1997	1997/1998	1998/1999
Temperatura máxima (°C)	29.70	28.20	28.18
Temperatura mínima (°C)	19.30	18.68	17.52
Temperatura media (°C)	24.50	23.43	22.85
Precipitaciones (mm)	96.44	75.98	108.10
Humedad Relativa (%)	79.30	78.23	78.20
Horas Luz	6.46	7.55	8.21

3.2. Fase de semillero.

En la fase de semillero se realizó un "screening" en el mes de diciembre durante las campañas 1996/1997 y 1997/1998, con el objetivo de seleccionar las cepas de micorrizas arbusculares (HFMA) y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal más eficientes para el cultivo del tomate, así como sus mejores combinaciones mediante la coinoculación HFMA-bacteria. Se emplearon para ello 3 especies de HFMA del género *Glomus* y 5 rizobacterias pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum* y *Azotobacter*

para un total de 15 combinaciones como muestra la Tabla 6. Se utilizaron además 3 **tratamientos** sin inocular (0-0-0, 30-0-0 y 30-25-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha).

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con tres réplicas en parcelas de 1.40 m² con 6 hileras sobre el cantero para una densidad aproximada de 350 plántulas/parcela.

Tabla 6.- Descripción de los tratamientos utilizados.

Micorrizas	Rizobacterias	Combinaciones
G. mosseae	P. (B) cepacia	G. mosseae + P.(B.) copada
G. manihoti	P. fluorescens	G. mosseae + P. fluorescens
O. fasciculatum	A. lipoferum (UAP-159)	G. mosseae + A. lipoferum
	A. brasilense (Sp7)	G. mosseae + A. brasiliense
	Az chroococcum (MB-23)	G. mosseae + Az chroococcum
		G. manihoti + P.(B.) cepacia
		G. manihoti + P. fluorescens
		G. manihoti + A. lipoferum
		G. manihoti + A. brasilense
		G. manihoti + Az. chroococcum
		G. fasciculatum. + P.(B.) cepacia
		G. fasciculatum. + P. fluorescens
		G. fasciculatum. + A. lipoferum
		G. fasciculatum. + A. brasilense
		G. fasciculatum. + Az. chroococcum

G.: Glomus

P. (B) : P. (Burkholderia)

P.: Pseudomonas

A.: Azospirillum

Az : Azotobacter

Los biopreparados fueron suministrados por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) (rizobacterias y HFMA) y el Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT) (*Azotobacterchroococcum*).

Los inoculantes a partir de HFMA presentaron una pureza de 80 % de la cepa correspondiente y un 75 % de infección de la planta hospedera utilizada para la reproducción del hongo. Las concentraciones microbianas de los inóculos bacterianos, determinada por conteo de viables en los medios diferenciales correspondientes a cada especie aparecen en la Tabla 7.

Tabla 7.- Concentración de las rizobacterias utilizadas en las investigaciones.

Rizobacterias	Concentración (UFC/mq)
<i>Pseudomonas (Burkholderia) cepacia</i>	2.1 x 10 ⁸ - 2 x 10 ⁹
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.9 x 10 ⁸ - 1 x 10 ¹⁰
<i>Azospirillum lipoferum</i>	1 x 10 ⁹ - 1.4 x 10 ⁹
<i>Azospirillum brasilense</i>	1.3 x 10 ⁸ - 1.5 x 10 ⁹
<i>Azotobacter chroococcum</i>	1 x 10 ¹⁰ - 1.1 x 10 ⁹

Las rizobacterias pertenecientes a los géneros ***Pseudomonas*** y ***Azospirillum*** se inocularon en el momento de la siembra mediante la metodología de recubrimiento de semilla propuesta por Gómez *et al*, (1995) a razón de 100 g de inóculante por kg de semilla (10 % del peso de la semilla) y para ***Azotobacter chroococcum*** se utilizó una dosis de 20 L/ha aplicada al suelo inmediatamente después de la siembra en solución final de 400 L H₂O/ha (1:20).

Para las especies micon-ílicas se empleo el método tradicional de inoculación al suelo que consiste en aplicar 1 kg de inóculo/m² en el fondo del surco. El producto proveniente de canteros multiplicadores consistió en una mezcla de suelo seco con esporas de la cepa correspondiente y raíces colonizadas de la planta hospedera.

La fertilización se realizó de forma localizada, al lado de las hileras, una vez germinadas las semillas. Se emplearon como portadores urea (46 % de N), superfosfato sencillo (20 % de P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % de K₂O). Las variantes inoculadas recibieron el 75 % del fertilizante nitrogenado.

Las evaluaciones se efectuaron a los 25 días de sembrado el semillero. Para ello se tomó una muestra al azar de 10 plántulas por parcela para determinar las siguientes variables:

- o Altura de las plántulas (cm) con regla graduada desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la planta.
- Número de hojas por plántula.
- Diámetro del tallo (cm) con Pie de Rey a 113 de la distancia entre el cuello de la raíz y las primeras hojas verdaderas.
- Longitud radical (cm) con regla graduada desde el cuello hasta el final de la raíz principal.
- **Masa fresca** foliar y radical (g) en balanza técnica.

o **Masa seca** foliar y radical (g) en balanza técnica después de eliminada el agua en estufa a una temperatura de 65 °C.

3.3. Fase de *campo*.

Luego de concluida la fase de semillero se procedió a extraer las plántulas para realizar el trasplante, para ello se escogieron las variantes que mejor se comportaron en la primera etapa y se combinaron con el 50 % de la fertilización nitrogenada, utilizando como dosis base 100 kg N/ha recomendada por Cardoza *et al.* (1992). Se incluyeron 3 tratamientos con fertilizante químico (50-0-0, 100-0.0 y 100-25-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha). Las plántulas de los tratamientos no inoculados procedieron de la variante 30-25-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha.

Las variantes a estudiar fueron las siguientes:

Ti. 50 kg N/ha

T2. 100 kg N/ha

T3. 100-25-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha

T4. *Glomus mosseae* + 50 kg N/ha

T5. *Glomus fasciculatum* + 50 kg N/ha

T6. *Azospirillum brasilense* + 50 kg N/ha

T7. *Azotobacter chroococcum* + 50 kg N/ha

T8. *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* + 50 kg N/ha

T9. *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* + 50 kg N/ha

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con 4 réplicas. El trasplante se realizó en parcelas de 21 m² (3 surcos de 5 m de largo a 1.40 m de camellón) con un área de cálculo de 7 m². Se empleó un marco de plantación de 1.40 x 0.30 m y las labores fitotécnicas se efectuaron según lo normado en el Instructivo Técnico del tomate (Cuba MINAG, 1988).

El fertilizante nitrogenado se aplicó de forma fraccionada, 1/2 en trasplante y 1/2 a los 30-35 días posteriores y todo el fósforo y el potasio en el trasplante. Se emplearon como portadores urea (46 % de N), superfosfato sencillo (20 % de P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % de K₂O).

Materiales y Métodos

Se realizó una segunda inoculación de *Azotobacter chroococcum* a razón de 20 L/ha, inmediatamente después del trasplante.

Se efectuaron un promedio de 3 a 4 cosechas por año antes de que concluyera el ciclo vegetativo del cultivo y se realizaron las siguientes evaluaciones:

- Se contaron los frutos de cada una de las 16 plantas correspondientes al surco central de la parcela experimental y se determinó el número promedio de frutos por planta.
- Se tomaron muestras de 10 frutos por parcelas al azar en las tres primeras cosechas para la determinación del diámetro polar y ecuatorial promedio (cm) y la masa promedio de los frutos (g).
- o Se tomaron muestras de la parte aérea de la planta (tercera o cuarta hoja del ápice foliar a 5 plantas por tratamiento) a los 45 días del trasplante (período de floración-fructificación) para determinar los contenidos foliares de nitrógeno, fósforo y potasio. Las muestras se pesaron y se secaron en estufa a 65 °C hasta peso constante, se molinaron y se determinaron los porcentajes de nitrógeno (microkjedahl), fósforo (colorimetría) y potasio (fotometría de llama).
- Se calculó además el rendimiento total en t/ha sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela.

3.3.1. Estudio de la conservación postcosecha.

La conservación postcosecha se realizó con frutos de la 2ª cosecha. Para el estudio se excluyó el tratamiento 3 (100-25-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha), por lo que las variantes quedaron ordenadas de la siguiente forma:

T1. 50 kg N/ha

T2. 100 kg N/ha

T3. *Glomus mosseae* + 50 kg N/ha

T4. *Glomus fasciculatum* + 50 kg N/ha

T5. *Azospirillum brasilense* + 50 kg N/ha

T6. *Azotobacter chroococcum* + 50 kg N/ha

T7. *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* + 50 kg N/ha

T8. *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* + 50 kg N/ha

Se tomaron muestras de frutos de tomate con un grado de madurez 6 (pintón) (Nuez, 1995) y se seleccionaron aquellos que no presentaban daños mecánicos, fisiológicos o fitopatológicos visibles. Posteriormente se lavaron con agua corriente y se introdujeron en cajas de cartón aireadas (utilizadas en la comercialización nacional). Cada caja representó una réplica formada por 10 frutos y los tratamientos constaron de tres réplicas. Una vez cerradas las cajas se almacenaron en condiciones ambientales a 23 °C de temperatura y 68 % de humedad relativa como promedio.

Se determinaron las pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF) a los 4, 8, 12, 16 y 20 días postcosecha. Los cálculos se realizaron mediante la siguiente expresión:

$$\text{PMAF} = \frac{\text{Mi} - \text{Mf}}{\text{Mi}} \times 100$$

Donde:

PMAF: Pérdida de masa por actividad fisiológica en porcentaje

MI: Masa inicial del fruto en el momento de la cosecha

Mf: Masa final del fruto (correspondiente a la masa en cada evaluación)

100: Expresión porcentual

3.3.2. Análisis de la calidad interna en frutos de tomate.

En la segunda cosecha y al finalizar el periodo de conservación postcosecha se determinaron algunas variables correspondientes a la calidad organoléptica de los frutos según lo establecido por Cuba MINAL (1981)

- Contenido de nitratos (método potenciométrico)
- Sólidos Solubles Totales (método refractométrico)
- Vitamina C (método volumétrico)
- Acidez titulable (por valoración)
- pH (método potenciométrico).

3.3.3. Análisis de la colonización radical por HFMA.

Al final de la fase de campo se tomó una muestra de raicillas (200 mg de raíces a 5 plantas/parcela) para determinar algunas variables micorrízicas. Las raíces fueron clarificadas y teñidas mediante la metodología de tinción de Phillips y Hayman (1975). El porcentaje de colonización micorrízica, el porcentaje de densidad visual y la masa del endófito arbuscular se determinaron según lo establecido por Herrera (1995), cuantificando en 100 raíces el grado de colonización de acuerdo a la siguiente escala:

Grado 0 Ausencia de HFMA

Grado 1 Baja intensidad de colonización

Grado 2 Indica un 2.5 % de ocupación radical

Grado 3 Indica un 13.5 % de ocupación radical

Grado 4 Indica un 35.5 % de ocupación radical

Grado 5 Indica un 47.5 % de ocupación radical

3.4. Procesamiento estadístico.

Para el procesamiento estadístico de la información se aplicaron análisis de varianza de clasificación simple y doble para ambos años y para el conjunto de los resultados. Las medias se compararon mediante la prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5 % de probabilidad en los casos que fue necesario (Duncan, 1955). Se aplicó el análisis de Cluster (Grau, 1994) a los valores medios de todas las variables de crecimiento evaluadas en la fase de semillero y al rendimiento y sus componentes en la fase de campo, utilizando el coeficiente de distancia y el método de ligamento no ponderado.

Se realizaron correlaciones múltiples entre el rendimiento y sus componentes y simples entre las variables micorrízicas y el rendimiento (modelo lineal). Los datos porcentuales se transformaron mediante el $\arcsen \sqrt{x}$ y las variables continuas mediante $\ln \sqrt{x}$.

Se utilizaron los paquetes estadísticos MST y MSTAT sobre MSdos y estadística sobre Windows.

3.5. Análisis económico.

Para la valoración económica de los resultados se utilizó la metodología propuesta por la FAO (1984). **Se calcularon los siguientes indicadores:**

- o Valor de la producción (\$)
- Valor del incremento del rendimiento (\$): Diferencia entre el valor de la producción de la variante base (fertilizada) y la variante nueva (biofertilizada).
- o Beneficio neto (\$): Diferencia entre el valor del incremento del rendimiento (\$) y el costo **de los fertilizantes (\$).**
- o Relación Valor/Costo (RVC): Cociente del valor del incremento del rendimiento (\$) y el costo de los fertilizantes (\$).

RVC > 1 indica que el fertilizante aportó una ganancia.

RVC = 2 indica un beneficio del 100 % con relación al dinero invertido en el fertilizante

RVC > 3 indica que la ganancia fue muy notable.

Para la valoración económica de los resultados se utilizó como base de cálculo el siguiente listado de precios:

- o 1 tonelada de tomate HC 38-80. \$ 240.00 (Gómez et al., 1992)
- Una tonelada de urea \$ 150.00 (Cancio, 1999: comunicación personal)
- o Una tonelada de SFS\$ 170.00 (Cancio, 1999: comunicación personal)
- Una tonelada de KCl\$ 120.00 (Cancio, 1999: comunicación personal)
- o Un kilogramo **de Azofer**.....\$ 15.00 (Listado oficial de precios INCA, 1998)
- Un kilogramo **de Ecomic** \$ 2.50 (Cuevas, 1998)
- 1 litro de **Azotobacter** \$ 3.50 (Listado oficial de precios INIFAT, 1999)

Azofert : Biofertilizante a partir de bacterias de los géneros *Azospirillum* y *Pseudomonas*.

Ecomic: Biofertilizante a partir de HFMA del género *Glomus*.

En el cálculo del beneficio neto y la relación valor/costo se incluyeron las aplicaciones de **fertilizantes realizadas tanto en la fase de semillero como en la fase de campo.**

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización en la fase de semillero.

4.1.1. Influencia sobre el vigor de las plántulas de tomate.

La fase de semillero en las hortalizas representa un período importante que influye en el desarrollo posterior del cultivo y en su rendimiento final. Constituye una excelente etapa para la inoculación de micorrizas y rizobacterias.

El comportamiento de las variables de calidad de las plántulas en la fase de semillero, ante la aplicación de fertilizantes y biofertilizantes, siguió una tendencia similar en los dos años de estudio por lo que se discuten solamente los resultados del análisis conjunto.

En la Tabla 8 aparecen los valores correspondientes a la altura de las plántulas, número de hojas, diámetro del tallo y longitud radical. Los resultados de las evaluaciones de altura indicaron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque no todos presentaron valores comprendidos entre los rangos establecidos por Cuba MINAG (1988) (16-20 cm de altura). Para las variantes no inoculadas, las alturas fueron significativamente superiores en las plantas que recibieron la fertilización mineral.

La biofertilización con las especies *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* lograron los mayores valores para esta variable, mientras que la inoculación con las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* y las coinoculaciones con *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* tuvieron alturas similares a la de las plántulas que recibieron solamente la fertilización mineral.

La variable número de hojas no reflejó significación estadística y el diámetro del tallo se comportó de forma similar a la altura tanto para los tratamientos no inoculados como para los inoculados.

En las variantes no inoculadas la mayor longitud radical se obtuvo en el tratamiento 0-0-0, debido posiblemente a que la planta al no tener suficientes elementos disponibles estuvo obligada a desarrollar un sistema radical más profundo para explorar una mayor área de suelo que le permitiera satisfacer sus necesidades nutritivas. A medida que la cantidad de fertilizantes aplicados fue mayor la longitud radical disminuyó, por lo que el menor valor

Resultados y Discusión

correspondió al tratamiento 30-25-50. Para las variantes inoculadas las diferencias no fueron tan marcadas y de forma general, sus longitudes radicales fueron estadísticamente similares a la de los tratamientos 30-0-0 y 30-25-50.

Tabla 8. Efecto de los tratamientos sobre la altura, número de hojas, diámetro del tallo y longitud radical en plántulas de tomate (conjunto de dos años).

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Número de hojas	Diámetro del tallo (mm)	Longitud radical (cm)
T1.0-0-0	14.08 kl	4.63	2.41 h	7.02 a
T2.30 kg N/ha	17.06 cd	4.10	3.23 bcd	6.57 abcde
T3. 30-25-50 kg N- P205- K201ha	18.12 bcd	4.65	3.44 ab	5.69 g
T4. <i>Giomus mosseae</i>	20.26 a	4.80	3.87 a	6.78 abc
T5. <i>Glomus manihoti</i>	16.28 efgh	4.60	3.02 cdefg	6.25 bcdefg
T6. <i>Glomus fasciculatum</i>	19.83 a	4.83	3.88 a	6.87 ab
T7. <i>Pseudomonas(B.) copada</i>	14.98 ghijkl	4.63	2.79 defgh	6.51 abcde
T8. <i>Pseudomonas fluorescens</i>	16.38 efg	4.57	2.65 gh	6.33 bcdefg
T9. <i>Azospirillum lipoferum</i>	16.28 efgh	4.77	2.94 cdefg	6.10 cdefg
T10. <i>Azospirillum brasilense</i>	17.79 cd	4.90	3.25 bc	6.62 abcde
T11. <i>Azotobacter chroococcum</i>	16.78 def	4.83	3.18 bcde	6.68abcd
T12. <i>G. mosseae</i> + <i>P.(B.) copada</i>	15.01 ghijkl	4.40	2.76 efgh	5.81 fg
T13. <i>G. mosseae</i> + <i>P. fluorescens</i>	18.34 bc	4.47	3.14 bcdef	6.09 defg
T14. <i>G. mosseae</i> + <i>A. lipoferum</i>	14.83 hijkl	4.50	2.45 h	6.42 abcdef
T15. <i>G. mosseae</i> + <i>A brasilense</i>	19.25 ab	4.73	3.50 ab	6.30 bcdefg
T16. <i>G. mosseae</i> + <i>Az. chroococcum</i>	16.02 efghi	4.97	2.73 efgh	6.14 cdefg
T17. <i>G. manihoti</i> + <i>/? (B.) cepacia</i>	14.93 ghijkl	4.40	2.99 cdefg	6.54 abcde
T18. <i>G. manihoti</i> + <i>P. fluorescens</i>	15.64 efghij	4.23	2.93 cdefg	6.60 abcde
T19. <i>G. manihoti</i> + <i>A. lipoferum</i>	14.28 jkl	4.85	2.84 cdefgh	6.28 bcdefg
T20. <i>G. manihoti</i> + <i>A brasilense</i>	14.68 ijkl	4.57	2.79 efgh	5.96 efg
T21. <i>G. manihoti</i> + <i>Az. chroococcum</i>	15.30 ghijk	4.63	2.77 efgh	6.04 defg
T22. <i>G. fascicuiatum</i> + <i>P.(B.) cepacia</i>	15.29 ghijk	4.50	2.72 fgh	6.12 cdefg
T23. <i>G. fasciculatum</i> + <i>P. fluorescens</i>	13.541	4.47	2.59 gh	6.15 cdefg
T24. <i>G. fascicuiatum</i> + <i>A. lipoferum</i>	15.16 ghijk	4.53	2.66 gh	6.08 defg
T25. <i>G. fascicuiatum</i> + <i>A brasilense</i>	14.52 ijkl	4.70	2.63 gh	6.23 bcdefg
T26. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Az. chroococcum</i>	15.50 fghijk	4.83	2.80 defgh	6.31 bcdefg
Esx	0.461***	0.268 ns	0.133***	0.198***
CV(%)	13.66	12.12	10.97	7.67

a...l Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955).

Resultados y Discusión

La masa fresca foliar y la masa fresca total (Tabla 9) reflejaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, mientras que la masa fresca radical no reflejó significación estadística. En las variantes sin inocular se obtuvieron valores superiores de masa fresca foliar y masa fresca total con la fertilización mineral.

Tabla 9 . Efecto de los tratamientos sobre la masa fresca de piñtulas de tomate (conjunto de dos años).

Tratamientos	masa fresca follar (g)	Masa fresca radical (g)	Masa fresca total (g)
T1.0-0-0	17.21 hi	1.77	18.98 g
T2. 30 kg N/ha	20.67 defg	1.85	25.85 bcd
T3.30-25-50 kg N-P205-K20/ha	25.35 abc	1.94	27.29 abc
T4. <i>Glomus mosseae</i>	27.75 a	2.12	29.88 a
T5. <i>Glomus manihoti</i>	23.18 bcde	2.05	25.23 cd
T6. <i>Glomus fasciculatum</i>	25.94 ab	2.01	27.95 abc
T7. <i>Pseudomonas(B) cepacia</i>	23.28 bcd	1.65	24.93 cde
T8. <i>Pseudomonas fluorescens</i>	19.20 ghi	1.73	20.94 fg
T9. <i>Azospirillum lipoferum</i>	22.41 cdef	1.94	24.35 cdef
T10. <i>Azospirillum brasilense</i>	25.69 ab	2.16	27.85 abc
T11. <i>Azotobacter chroococcum</i>	27.62 a	2.01	29.63 ab
T12. <i>G. mosseae</i> + <i>P.(B.) cepacia</i>	20.22 defgh	1.88	22.11 defg
T13. <i>G. mosseae</i> + <i>P. fluorescens</i>	27.12 a	2.15	29.27 ab
T14. <i>G. mosseae</i> + <i>A. lipoferum</i>	17.43 ghi	1.87	19.319
T15. <i>G. mosseae</i> + <i>A. brasilense</i>	28.21 a	2.09	30.29 a
T16. <i>G. mosseae</i> + <i>Az. chroococcum</i>	23.30 bcd	1.96	25.26 cd
T17. <i>G. manihoti</i> + <i>P.(B.) cepacia</i>	18.90 ghi	1.96	20.85 fg
T18. <i>G. manihoti</i> + <i>P. fluorescens</i>	18.60 ghi	1.89	20.48 fg
T19. <i>G. manihoti</i> + <i>A. lipoferum</i>	20.07 efgh	2.03	22.11 defg
T20. <i>G. manihoti</i> + <i>A. brasilense</i>	16.99 hi	1.70	18.69 g
T21. <i>G. manihoti</i> + <i>Az. chroococcum</i>	17.22 hi	1.72	18.94 g
T22. <i>G. fasciculatum</i> + <i>P.(B.) cepacia</i>	19:14 ghi	1.82	20.96 fg
T23. <i>G. fasciculatum</i> + <i>P. fluorescens</i>	16.68 i	1.65	18.34 g
T24. <i>G. fasciculatum</i> + <i>A. lipoferum</i>	18.93 ghi	1.69	20.63 fg
T25. <i>G. fasciculatum</i> + <i>A. brasilense</i>	20.14 defgh	1.72	21.86 defg
T26. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Az. chroococcum</i>	19.30 fghi	1.88	21.18 efg
Esx	0.986***	125 ns	0.123***
CV (%)	11.20	16.21	12.75

a...l Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955).

Resultados y Discusión

Entre los tratamientos con biofertilizantes se destacaron los HFMA *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*, las bacterias rizosféricas *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* y las combinaciones de *Glomus mosseae* con las bacterias *Pseudomonas fluorescens* y *Azospirillum brasilense*. Se observó además cierta estimulación en las plantas inoculadas con *Glomus manihoti*, *Pseudomonas(8) cepacia*, *Azospirillum lipoferum* y *Glomus mosseae* + *Azotobacter chroococcum* cuyos valores en cuanto a masa fresca foliar y total igualaron a los tratamientos con fertilización mineral y superaron a los de la variante 0-0-0.

La Tabla 10 refleja los resultados correspondientes al comportamiento promedio de la masa seca foliar, radical y total de las plántulas de tomate. Para estas variables se observaron diferencias altamente significativas entre las variantes estudiadas.

La variable masa seca foliar siguió una tendencia similar a la que se obtuvo para la masa seca total, tanto para los tratamientos no inoculados como para los inoculados, por lo que la discusión se basará en el comportamiento de la masa seca total ante las diferentes variantes. Para la masa seca radical no se encontraron diferencias entre los tratamientos testigos y los mayores valores se obtuvieron en las variantes inoculadas con *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*.

Al analizar los tratamientos sin inocular se encontró que los valores para la masa seca total fueron significativamente superiores en las variantes donde se utilizó la fertilización mineral. Los tratamientos 30-0-0 y 30-25-50 reflejaron incrementos de 22.06 y 33.8 % respectivamente con relación a la variante 0-0-0, lo que demuestra la importancia de la fertilización mineral para la obtención de plántulas vigorosas en este tipo de suelo.

Entre los tratamientos inoculados de forma individual o combinada se encontraron diferencias significativas. Para las plántulas inoculadas con HFMA los mayores valores en cuanto a masa seca total correspondieron a *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*, mientras que las especies *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* se destacaron entre las bacterias rizosféricas. Estos tratamientos fueron significativamente diferentes a la aplicación exclusiva de fertilizantes y se calcularon incrementos de 51.9 - 38.5 % y 34.6 - 22.8 % para los hongos micorrizógenos y de 23.46 - 12.60 % y 24.23 - 13.3 % para las rizobacterias con relación a los tratamientos 2 y 3 respectivamente.

Resultados y Discusión

El análisis de Cluster permitió la agrupación de los tratamientos en 4 grupos o Gases cuyo comportamiento fue similar para las distintas variables incluidas en el análisis (Tabla 11). Los menores valores en la mayoría de las variables evaluadas correspondieron al tratamiento 0-0-0 (clase 1).

Tabla 11.- Agrupación de los tratamientos según el análisis de Cluster.

Variables	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	
					Grupo I: T1
Altura (cm)	14.08	15.31	18.05	20.04	
Diámetro del tallo (cm)	2.41	1.81	3.30	3.87	Grupo II: T5, T7, T8, T9, T12, T14, T16, T17, T18, T19, T20, T21, T22, T23, T24, T25 y T26
Longitud radical (cm)	7.02	6.24	6.28	6.82	
Número de hojas	4.63	4.59	4.61	4.83	
Masa fresca foliar (g)	17.21	19.75	16.79	26.59	
Masa fresca radical (g)	1.77	1.83	2.07	2.06	Grupo III: T2, T3, T10, T11, T13 y T15
Masa fresca total (g)	18.98	21.77	28.86	28.91	Grupo IV: T4 y T6
Masa seca foliar (g)	1.58	1.76	2.63	3.04	
Masa seca radical (g)	0.55	0.46	0.62	0.68	
Masa seca total (g)	2.13	2.22	3.24	3.72	

Los mayores valores se lograron con la inoculación de *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* (grupo IV) seguida por la clase III que incluye las variantes no inoculadas 100-0-0 y 100-25-50 y las inoculadas con *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*. Estas agrupaciones confirman los resultados obtenidos hasta el momento. En orden decreciente le sigue la clase II donde se agrupan el resto de los tratamientos con biofertilizantes. Este grupo a pesar de presentar valores inferiores a las clases IV y III supera ligeramente al grupo 1, por lo que al parecer, la inoculación o la fertilización mineral provocaron ligeros incrementos en las variables evaluadas.

Según los resultados obtenidos, la fertilización mineral favoreció la producción de plántulas de tomate en la fase de semillero. De igual forma, resulta promisorio la inoculación con los HFMA *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*, con las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* y con las combinaciones *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*.

Estas variantes mostraron valores superiores en la mayoría de las variables estudiadas, fundamentalmente en la altura, diámetro del tallo, masa fresca foliar, masa fresca total y masa seca foliar, radical y total, llegando a superar o a igualar a los tratamientos con fertilización mineral. La utilización de estos biopreparados, al parecer, permite sustituir en un 25 % las necesidades de nitrógeno en el cultivo del tomate en fase de semillero.

En el análisis individual del efecto de los HFMA en la obtención de plántulas vigorosas se observó que por lo general la especie *Glomus mosseae* mostró cierta superioridad a la inoculación con *Glomus fasciculatum*, mientras que para *Glomus manihoti* el efecto no fue tan marcado cuando se comparó con los tratamientos fertilizados. Sin embargo, en investigaciones sobre biofertilización en tomate en suelos con características similares al estudiado se recomienda la especie *Glomus manihoti* con resultados satisfactorios (Gómez *et al.*, 1997; Novella y Medina, 1998 y Terry *et al.*, 1998).

El comportamiento de *Glomus manihoti* pudo deberse a la etapa parasítica que atraviesa la simbiosis en la cual no hay intercambio de metabolitos hacia la planta. Se produce el drenaje de carbono hacia el hongo y ocurre una disminución en la velocidad de crecimiento del hospedero (Bever *et al.*, 1995 y Dodd *et al.*, 1996). Esta fase parasítica tiene una duración aproximada de cuatro semanas y depende de los factores que afectan la interacción hongo-planta, iniciándose con posterioridad la fase mutualista, por lo que al parecer, la especie *Glomus manihoti* en estas condiciones necesita más tiempo para establecerse en la raíz y comenzar el proceso simbiótico.

En este sentido, Cuevas (1998) no encontró respuesta a la inoculación del tomate con *Glomus manihoti* y *Glomus fasciculatum* en fase de semillero, sin embargo señaló que la colonización se hizo efectiva en la fase de trasplante donde el hongo comenzó a ejercer su efecto simbiótico con la planta.

Teniendo en cuenta las evidencias anteriores puede constatar que el corto tiempo que medió entre la siembra y la evaluación incidió en que los valores para *Glomus manihoti* en las diferentes variables estudiadas no fueran mayores. Al parecer *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*, en estas condiciones, poseen una mayor capacidad para promover efectos beneficiosos en el cultivo del tomate.

Los resultados positivos de la inoculación con *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* en la calidad de las plántulas de tomate en fase semillero puede sustentarse en el hecho de que estos hongos son capaces de modificar la arquitectura del sistema radical a través del desarrollo de las hifas en el suelo. De esta forma transfieren hacia la planta elementos

Resultados y Discusión

minerales, agua, y otras sustancias importantes para el crecimiento vegetativo (Khalil et al., 1994) y aunque el efecto más consistente y de interés práctico es el incremento en la absorción del fósforo (Eissenstat et al., 1993), también es importante la acción que ejercen sobre la nutrición nitrogenada de los cultivos, Dominique (1998) y Azcón y Tobar (1998) encontraron que las cantidades de nitrato en el interior de la raíz así como las enzimas glutamida sintetasa y nitrato reductasa eran mayores en plantas inoculadas con HFMA.

Estos resultados sugieren la influencia directa que sobre la absorción, traslocación y asimilación del nitrógeno ejercen las micorrizas de ahí la importancia de su utilización como sustitutos de los fertilizantes nitrogenados, hecho que coincide con los resultados obtenidos ya que los indicadores de calidad se lograron con el 25 % menos del fertilizante nitrogenado que se suministró a los tratamientos testigos que fueron fertilizados.

Para el caso de las bacterias rizosféricas, Dibut et al. (1995), Terry et al. (1996) y Martínez et al. (1997) plantean que la inoculación con especies de los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum* pueden provocar cambios significativos en varios parámetros del crecimiento vegetal como en la masa seca total de la planta, en el número de hojas, en la germinación de la semilla, así como en el desarrollo del sistema radical.

Al igual que para los hongos micorrizógenos, las rizobacterias *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasilense* permiten complementar la nutrición nitrogenada en un 25 % debido posiblemente a la capacidad que poseen estos microorganismos de fijar el nitrógeno y suministrarlo a la planta a través de la fijación biológica (Dibut et al., 1994; Gómez et al., 1997 y Teny et al., 1997). Además, para el caso de *Azospirillum brasilense* se plantea que su inoculación incrementa la absorción de nitratos por un aumento en la actividad nitrato reductasa (Dommelen, 1998).

Sin embargo, la fijación biológica del N atmosférico no es el único mecanismo que justifica los efectos positivos de las rizobacterias. La producción de fitohormonas que estimulan el desarrollo radical y como consecuencia la absorción del agua y nutrientes minerales son aspectos a considerar en la promoción del crecimiento vegetal (Vande, 1994 y Dommelen 1998).

Las inoculaciones mixtas de los hongos micorrizógenos *Glomus manihoti* y *Glomus fasciculatum* con las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, en las condiciones de estudio, no mostraron resultados alentadores. El comportamiento satisfactorio de la inoculación simple con la especie *Glomus fasciculatum* no se mantuvo al combinarse

con las bacterias rizosféricas y solo se obtuvieron efectos positivos sobre los indicadores evaluados con la coinoculación de *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*.

Kloepper et al. (1989) y Guerrero et al. (1996) plantean que la eficiencia de la bacteria y del hongo depende de su capacidad para competir con la microbiota del suelo y multiplicarse abundantemente en las raíces de las plantas. Estos aspectos, se hacen más evidentes cuando se utiliza la combinación de microorganismos con mayor capacidad competitiva, lo cual no quiere decir que no se encuentren presentes en la inoculación simple donde participa la flora nativa del suelo. Por tales motivos, no se puede inferir, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la fase de semillero, que estas coinoculaciones no son efectivas en el cultivo del tomate sino que se hace necesario evaluar su comportamiento en fase de campo donde pueden manifestarse los efectos sinérgicos o antagónicos de los biopreparados utilizados.

Terry et al. (1998) observaron que la inoculación mixta con *Glomus manihoti* + *Azospirillum brasilense* mostró efectos positivos en la producción de plántulas más vigorosas en un suelo Ferralítico Rojo con fertilidad de media a alta. Por lo que el comportamiento de los biofertilizantes depende de otros factores como son : las condiciones edafoclimáticas y la variedad utilizada.

Como resultado del screening realizado en fase de semillero, se proponen para evaluar en campo las micorrizas *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum*, las rizobacterias *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* y las combinaciones *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*, teniendo en cuenta el efecto positivo de la biofertilización sobre la producción de plántulas de tomate.

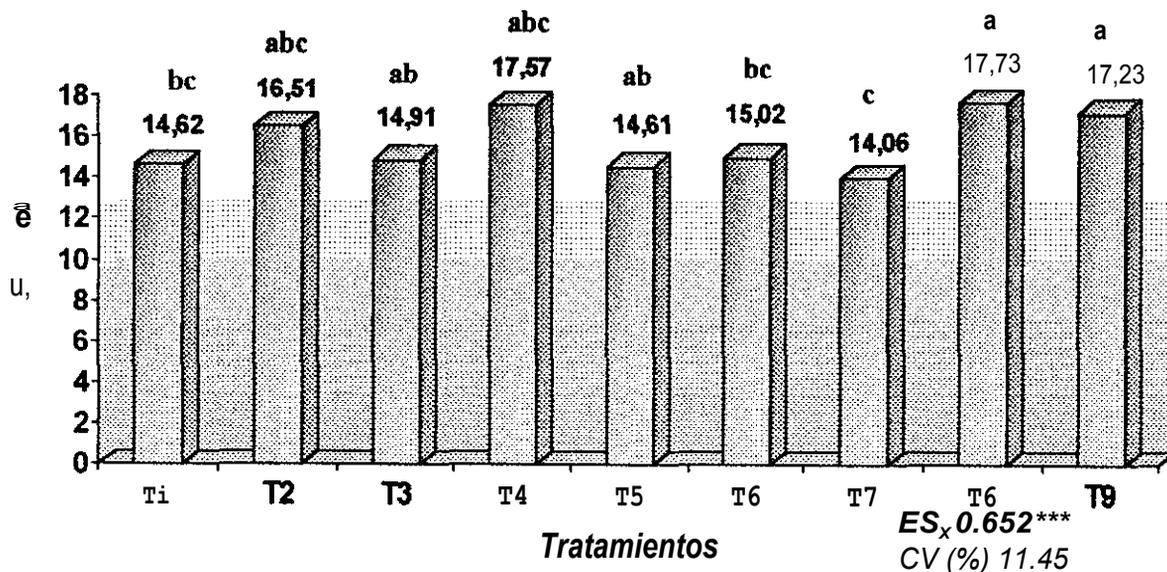
4.2. Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización en fase de campo.

4.2.1. Influencia sobre el rendimiento del tomate y sus componentes.

Son varios los estudios que hacen referencia al efecto de los biofertilizantes en la productividad de los cultivos, por lo que los componentes del rendimiento y el rendimiento son variables adecuadas para conocer la efectividad que sobre los mismos puede ejercer las variantes en estudio.

Debido a que el efecto de los tratamientos sobre los componentes del rendimiento fue similar para los dos años de evaluación, se discuten solamente los resultados que se obtuvieron en el análisis conjunto. En la Figura 1 se refleja la respuesta de la variable número de frutos por planta para las diferentes variantes en estudio. Este componente mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos. Aunque el número de frutos por planta fue estadísticamente similar para las variantes no inoculadas, si se observó una tendencia de aumento en las plantas que recibieron un nivel óptimo de fertilizante nitrogenado (T2 y T3) con relación a la aplicación de 50 kg N/ha (T1).

Fig 1. Efecto de los tratamientos sobre el número de frutos por planta en el cultivo del tomate (conjunto de 2 años)



Leyenda:

T1 - 50 kg N/ha
T2.-100 kg N/ha
T3.- 100 kg N-P₂O₅ - K₂O/ha
T4.- *Glomus mosseae*

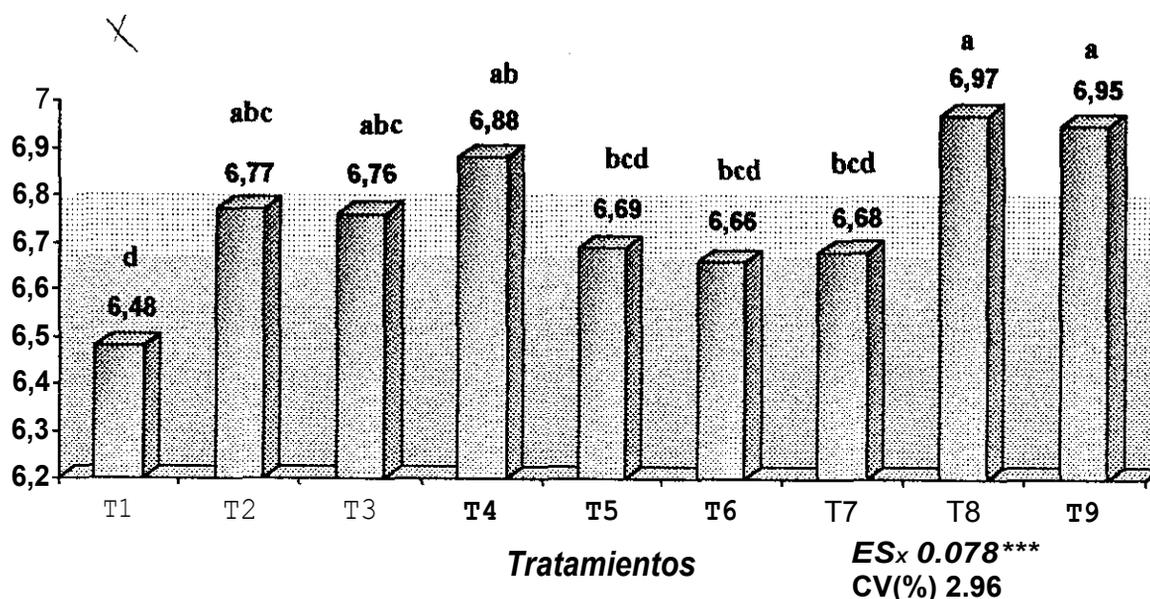
T5.- *Glomus fasciculatum*
T6.- *Azospirillum brasilense*
T7.- *Azotobacter chroococcum*
T8.- *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens*
T9.- *Glomus mosseae* + *A. brasilense*

Entre los biofertilizantes estudiados no se encontraron diferencias significativas cuando se compararon con las variantes 100-0-0 y 100-25-50. No obstante, el número, de frutos por planta fue mayor cuando se inoculó con *Glomus mosseae* (T4), *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* (T8) y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* (T9) cuyos valores fueron significativamente superiores a la aplicación de 50 kg N/ha (T1).

Resultados y Discusión

El diámetro polar promedio del fruto (Figura 2) reflejó significación estadística entre tratamientos. Al analizar las variantes no inoculadas se observó que a diferencia del componente anterior (número de frutos por planta), los frutos de las variantes que recibieron las dosis más altas de fertilizantes (T2 y T3) mostraron valores de diámetro polar significativamente superiores a los que se obtuvieron con 50 kg Niha.

Fig 2. Efecto de los tratamientos en el diámetro polar promedio en frutos de tomate (conjunto de dos años)



Leyenda:

T1.- 50 kg N/ha

T2.- 100 kg N/ha

T3.- 100 kg N-P₂O₅ - K₂O/ha

T4.- *Glomus mosseae*

T5.- *Glomus fasciculatum*

T6.- *Azospirillum brasilense*

T7.- *Azotobacter chmocoocum*

T8.- *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens*

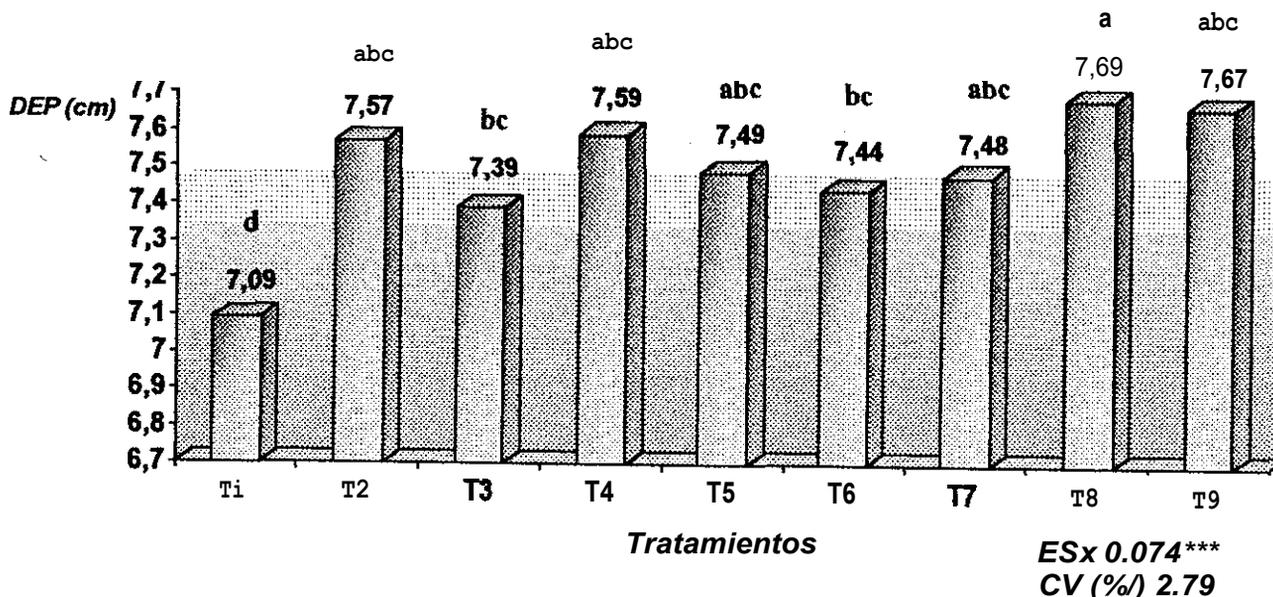
T9.- *Glomus mosseae* + *A. brasilense*

El diámetro polar, para los tratamientos biofertilizados, fue estadísticamente similar al que se obtuvo en las variantes 100-0-0 y 100-25-50 (T2 y T3) y los mayores valores correspondieron a la inoculación con *Glomus mosseae* (T4), *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* (T8) y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* (T9). Estas variantes fueron significativamente superiores a la aplicación de 50 kg Niha.

En la Figura 3 aparecen los datos correspondientes al diámetro ecuatorial promedio en frutos de tomate, para esta variable se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos. De forma general, el comportamiento en las variantes sin inocular fue

similar al que se observó para el diámetro polar, por lo que los valores en los tratamientos 100-0-0 y 100-25-50 fueron significativamente diferentes a la aplicación de 50 kg N/ha.

Fig 3. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro ecuatorial promedio en frutos de tomate (conjunto de dos años)



Legenda:

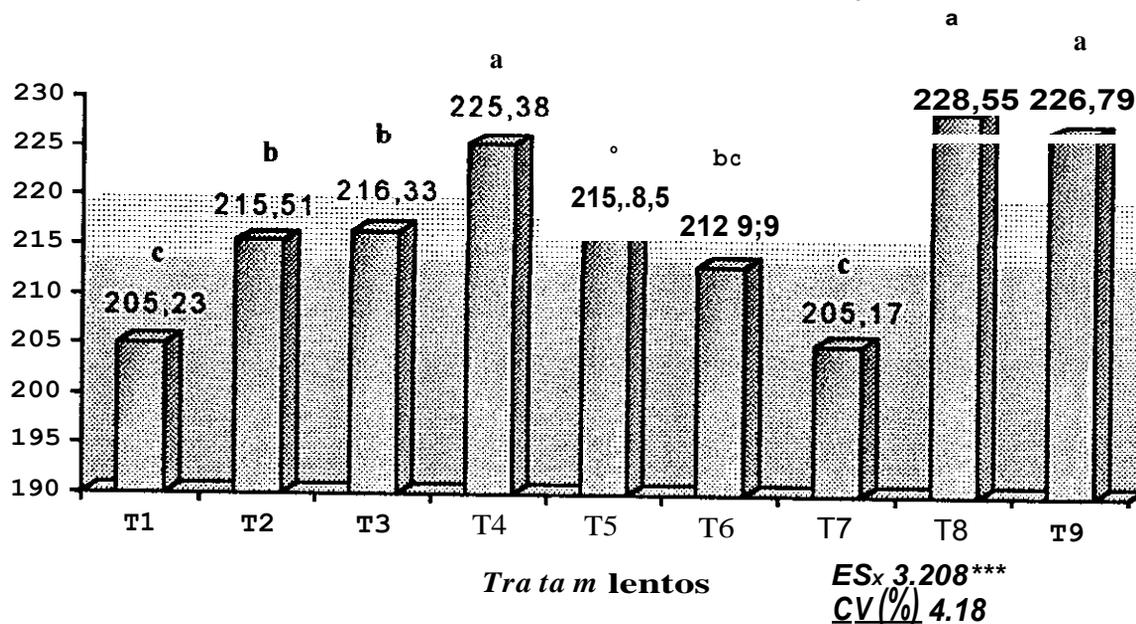
Ti.- 50 kg N/ha
T2.- 100 kg N/ha
T3.-100 kg N-P205 - K20/ha
T4.- *Glomus mosseae*

T5.- *Glomus fasciculatum*
T6.- *Azospirillum brasilense*
T7.- *Azotobacter chroococcum*
T8.- *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens*
T9.- *Glomus mosseae* + *A. brasilense*

Al igual que para el diámetro polar, las plantas que se inocularon con algún biopreparado mostraron valores de diámetro ecuatorial estadísticamente similares a las plantas que recibieron niveles adecuados de fertilizantes y en todos los casos las diferencias fueron significativamente superiores a la aplicación de 50 kg N/ha.

En la Figura 4 aparecen los datos correspondientes a la masa promedio del fruto. Para esta variable, al igual que para el diámetro polar y el diámetro ecuatorial, se encontraron diferencias marcadas entre los tratamientos que recibieron las dosis más altas de fertilizantes (T2 y T3) y la variante con 50 kg N/ha. Este componente del rendimiento se favoreció con la inoculación de *Glomus mosseae* (T4), *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* (T8) y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* (T9), cuyos valores fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos.

Fig 4. Efecto de los tratamientos sobre la masa promedio del fruto de tomate (conjunto de 2 años)



Legenda:

T1.- 50 kg N/ha
T2.- 100 kg N/ha
T3.- 100 kg N-P2O5 - K20/ha
T4.- *Glomus mosseae*

T5.- *Glomus rasciculatum*
T6.- *Azospirillum brasilense*
T7.- *Azotobacter chroococcum*
T8.- *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens*
T9.- *Glomus mosseae* + *A. brasilense*

De forma general al comparar los tratamientos no inoculados, se observó que los mayores valores para los diferentes componentes del rendimiento se lograron con la aplicación de las dosis más altas de nutrientes. Los componentes que más se favorecieron fueron el diámetro polar promedio, el diámetro ecuatorial promedio y la masa promedio del fruto, lo que demuestra la importancia de la fertilización en la formación de frutos con mayor tamaño.

La mayoría de los autores coinciden en plantear que la fertilización mineral conduce a la obtención de indicadores de calidad favorables. En este sentido, Grela (1991) al estudiar diferentes niveles de nitrógeno en un suelo Ferralítico cuarcítico amarillento encontró que el número de racimos y frutos por planta, masa promedio del fruto, longitud del fruto y diámetro promedio aumentaron a medida que las dosis de fertilizantes nitrogenados se

hicieron mayores. Similares resultados obtuvieron Da Costa (1994) y Adhanoboun et al. (1996) en suelos Ferralíticos Rojos con altos contenidos de fósforo y potasio.

En los tratamientos inoculados los mayores valores para los componentes del rendimiento se lograron con la inoculación de *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*.

El rendimiento agrícola del tomate tanto para los dos años de estudio como para el análisis conjunto (Tabla 12) reflejó diferencias altamente significativas. La producción del cultivo fue mayor, para todas las variantes, en el segundo año de evaluación debido a que las variables climatológicas fueron más favorables para el cultivo del tomate en la campaña 1998/1999. Las temperaturas fueron ligeramente más bajas, las precipitaciones fueron mayores y existió mayor cantidad de horas luz por día.

Tabla 12. Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización sobre el rendimiento agrícola del tomate

Tratamientos	Rendimiento (t/ha)		
	1996/1997	1998/1999	Conjunto
T1. 50 kg N/ha	18.01 c	35.35 f	26.68 c
T2. 100 kg N/ha	20.06 abc	39.65 d	29.85 b
T3-100-25-50 kg N-P2Os-K2O /ha	20.12 abc	40.17 cd	30.15 b
T4. <i>Glomus mosseae</i>	21.72 a	46.80 a	34.26 a j-
T5. <i>Glomus fasciculatum</i>	18.63 bc	41.85 bcd	30.24 b
T6. <i>Azospirillum brasilense</i>	18.34 bc	39.01 de	28.67 bc
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i>	17.54 c	37.24 ef	27.39 e
T8. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	22.22 a	44.17 b	33.19 a
T9. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Azospirillum brasilense</i>	21.30 ab	44.85 ab	33.07 a -
Es.	0.944***	1.095***	0.703***
CV(%)	9.65	6.37	6.67

a...f Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955)

Al analizar el comportamiento de la variable rendimiento para los dos años de estudio se observó que para la, primera campaña (1996/1997) no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos no inoculados, aunque la aplicación de dosis mayores de fertilizantes tendieron a aumentar ligeramente la producción, mientras que para la

Resultados y Discusión

segunda campaña (1998/1999) los rendimientos en las variantes 100-0-0 y 100-25-50 fueron significativamente superiores a los encontrados con la aplicación de 50 kg N/ha.

La baja respuesta a la fertilización mineral en la campaña 1996/1997 pudo deberse a que la variedad no experimentó todo su potencial de rendimiento por lo que las necesidades nutrimentales de la planta para lograr producciones de aproximadamente 20 t/ha fueron menores al compararlas con la segunda campaña en la cual los rendimientos fueron adecuados y característicos de la variedad (40 -50 t/ha).

El rendimiento promedio derivado del análisis conjunto de ambos años para los tratamientos no inoculados fue significativamente superior cuando se aplicaron niveles superiores de fertilizantes minerales (100-M y 100-25-50). Para estas variantes se calcularon incrementos de 11.88 y 13.00 % respectivamente en relación a la dosis de 50 kg N/ha.

Tanto para los dos años de estudio como para el conjunto, la variante que recibió N-P205-K2O (T3) no mostró rendimientos significativamente superiores a T2 (100 kg N/ha). Estos resultados demuestran que el nitrógeno es el elemento que más influye en el rendimiento agrícola del tomate sobre todo si se trata de un suelo con elevados tenores de P2O5 y K2O y bajos contenidos de materia orgánica como el estudiado.

En este sentido, Grela (1991) señaló que la fertilización nitrogenada ejerció una acción directa y positiva sobre el rendimiento total en el cultivo del tomate en un suelo Ferralítico Cuarcítico amarillento.

Al estudiar diferentes niveles de nitrógeno en el cultivo del tomate en un suelo Ferralítico Rojo enriquecido con fósforo y potasio, Da Costa (1994) encontró que, para la variedad Criollo Quivicán, el rendimiento se favoreció con las dosis más altas del elemento (60 kg N/ha). Por su parte, Cuevas (1998) al evaluar diferentes relaciones intemutrientes en un suelo Gley Nodular ferruginoso señaló que el número de frutos por planta y la producción del cultivo fue mayor en las combinaciones en las que estaba presente el nitrógeno.

En los tratamientos con biofertilizantes se obtuvo, que para el primer año, los mayores valores en cuanto a rendimiento correspondieron a las variantes *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* aunque de forma general, al compararse con los tratamientos sin inocular, solo fueron significativamente superiores a la aplicación de 50 kg N/ha (T1).

Resultados y Discusión

Para el segundo año, se encontró que la inoculación con *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* mostró rendimientos significativamente superiores a las variantes 100-0-0 y 100-25-50, en tanto, los tratamientos con *Glomus fasciculatum* y *Azospirillum brasilense* tuvieron rendimientos similares a estas últimas variantes.

Para el conjunto, las mayores producciones correspondieron a las plantas inoculadas con *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*. Para estas variantes se calcularon con incrementos significativos en el rendimiento de 14.70 -13.63 % , 9.51 - 8.42 % y 10.79 - 9.68 % respectivamente con relación a los tratamientos 100-0-0 y 100-25-50. La inoculación de *Glomus fasciculatum* obtuvo rendimientos similares a los logrados en los tratamientos 2 y 3, mientras que *Azospirillum brasilense* mostró ligeros incrementos con relación a 50 kg N/ha (7.45 %).

El análisis de Cluster (Tabla 13) confirma matemáticamente los resultados que se analizaron en el presente acápite, permitiendo la formación de 3 grupos donde los miembros de cada grupo o clase presentaron un comportamiento similar para las variables número de frutos por planta, diámetro polar promedio, diámetro ecuatorial promedio, masa promedio de los frutos y rendimiento agrícola.

Tabla 13.- Agrupación de los tratamientos según el análisis de Cluster.

Grupo	Tratamientos	# F/planta	DPP(cm)	DEP (cm)	MPF (g)	Rend (t/ha)
I	7 y 1	14.32	6.58	7.29	205.20	27.03
II	2, 3, 4 y 5	15.96	6.72	7.47	215.17	29.72
III	4, 8 y 9	17.51	6.93	7.65	227.34	33.50

F/planta: Número promedio de frutos por planta
DPP: Diámetro polar promedio
DEP: Diámetro ecuatorial promedio

MPF: Masa promedio del fruto
Rend: Rendimiento agrícola

Al analizar las medias de cada variable, para las diferentes clases se encontró que el grupo III (*Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*) obtuvo los mayores valores en el 100% de las variables seguido por el grupo II (100-0-0, 100-25-50, *Glomus fasciculatum* y

Azospirillum brasilense) que resultó ser superior a la clase 1 (50-0-0 y *Azotobacter chroococcum*).

La inoculación con los biofertilizantes incluidos en los grupos II y III permite aprovechar más eficientemente los nutrientes provenientes de la fertilización nitrogenada, por lo que pueden considerarse como complemento de la nutrición mineral en el cultivo del tomate. Su utilización permitió reducir las necesidades nitrogenadas en un 50 %, lográndose rendimientos superiores o similares a los encontrados con las dosis de fertilizantes recomendadas para el cultivo en este tipo de suelo.

Resultados similares obtuvieron Caballero y Martínez (1995), quienes indicaron que la inoculación con *Glomus mosseae* al cultivo del tomate superó al testigo en cuanto a rendimiento en un 11.49 %. Dominic et al. (1997) y Gómez et al. (1997) establecen como promisorias la combinación *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* con incrementos en el rendimiento de 4-10 % y 11.44 - 13.25 % respectivamente sobre el testigo de producción. Los mecanismos mediante los cuales los biofertilizantes promueven el desarrollo y producción de los cultivos se ha discutido ampliamente en acápites anteriores.

La cepa *Glomus mosseae* tiende a mantener cierta eficiencia en el cultivo del tomate, ya sea por su efecto individual o combinado con otros biofertilizantes. Sin embargo, Ferrer et al. (1992) establecen como promisorias la inoculación con los HFMA *Glomus manihoti* y *Glomus fasciculatum* y como poco productiva a *Glomus mosseae*, lo que demuestra que la efectividad de estos microorganismos depende de otros factores, como el tipo de suelo y la variedad empleada.

En la Tabla 14 aparece la matriz de correlación derivada del análisis de Regresión Múltiple para el rendimiento y sus componentes en los dos años de estudio. Las variables que más influyeron sobre la producción de tomate en orden descendente fueron la masa promedio de los frutos, el número de frutos por planta y el diámetro polar. Vallejo (1994), Caballero y Martínez (1995) y Moya et al. (1996) plantean que la producción de la planta y/o productividad del cultivo depende de sus dos componentes primarios, el número de frutos por planta y la masa promedio de los frutos.

Tabla 14.- Matriz de correlación entre el rendimiento y sus componentes.

	# F/planta	MPF (g)	DPP (cm)	DEP (cm)	Rend (t/ba)
# F/planta	1.000 ***				
MPF (g)	0.931***	1.000***			
DPP (cm)	0.804***	0.839***	1.000***		
DEP (cm)	0.087ns	0.073 ns	0.211 ns	1.000***	
Rend (t/ba)	0.959***	0.968***	0.816***	0.083 ns	1.000'

Coeficiente de determinación (r^2) = 0.962

E_{sX} 2.174***

F/Planta: Número promedio de frutos por planta DEP: Diámetro ecuatorial promedio (cm)
 MPF: Masa promedio del fruto (g) Rend: Rendimiento agrícola (kg/ha)
 DPP: Diámetro polar promedio (cm)

Contrario a lo esperado se observó una relación positiva entre la masa promedio del fruto y el número de frutos por planta, Álvarez (1987) y Moya *et al.* (1996) plantean que aunque estas características influyen significativamente en el rendimiento del tomate, entre ellas existe una alta correlación negativa, por lo que al parecer, en este caso, no existió afectación de un componente sobre otro. Este comportamiento es característico de la variedad de tomate HC 38-80 en la cual, desde el punto de vista genético, existe una buena relación o compromiso entre el número de frutos por planta y el peso promedio del fruto (Gómez, 1999: comunicación personal). Ambas variables correlacionaron significativamente con el diámetro polar.

4.2.2. Influencia sobre el estado nutricional de la planta.

En la Tabla 15 se muestran los contenidos aéreos de N, P y K por tratamiento en el cultivo del tomate. Silva (1989) y Bennett (1996) estiman que valores de 3.0 - 5.0 %, 0.70 - 1.30 % y 3.16 - 6 % de N, P y K foliar respectivamente son adecuados para el tomate en fase de campo, rangos que se corresponden con los encontrados en el presente estudio.

Para el caso del nitrógeno se obtuvo que la aplicación de 100 kg/ha (T2 y T3) incrementó significativamente el contenido del elemento en las hojas de las plantas con relación a la

Resultados y Discusión

dosis de 50 kg N/ha. Estos valores fueron estadísticamente similares a los encontrados en las plantas inoculadas y coinoculadas con los hongos micorrizógenos.

El contenido de fósforo presentó diferencias significativas entre los tratamientos estudiados y los mayores porcentajes correspondieron **a las plantas** inoculadas con los HFMA ***Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum***. Estas especies mostraron un comportamiento similar a las variantes 2 y 3 (100-0-0 y 100-25-50) y a las biofertilizadas **con *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense***. Para el potasio no se encontraron diferencias estadísticas.

De forma general, la inoculación con HFMA y su coinoculación con bacterias rizosféricas influyó de manera positiva en la absorción de nitrógeno y fósforo. Estos resultados avalan los efectos de la biofertilización en la producción del cultivo, que se traduce en un mejor estado nutricional de la planta y en un incremento del rendimiento y aunque el fósforo es el principal elemento traslocado por la micorriza, es importante también el papel decisivo que desempeña en el proceso de absorción del nitrógeno ya que una planta micorrizada puede tomar y traslocar este elemento a través de las hifas del hongo (Dominique, 1998).

Tabla 15. Efecto de la fertilización mineral y la biofertilización sobre el estado nutricional de la planta.

Tratamientos			
	N(%)	P(%)	K(%)
T1. 50 kg N/ha	3.33 b	0.66 b	3.90
T2. 100 kg N/ha	3.54 a	0.67 b	3.96
T3. 100-25-50 kg N-P ₂ O ₅ K ₂ O /ha	3.53 a	0.76 ab	3.95
T4. <i>Glomus mosseae</i>	3.54 a	0.86 a	3.96
T5. <i>Glomus fasciculatum</i>	3.51 a	0.88 a	3.96
T6. <i>Azospirillum brasilense</i>	3.33 b	0.66 b	3.89
Ti. Azotobacter chroococcum	3.18 c	0.67 b	3.90
T8. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	3.59 a	0.80 ab	3.86
T9. <i>Glomus. mosseae</i> + <i>Azospirillum brasilense</i>	3.48 a	0.78 ab	3.98
Es _x	0.446**	0.110**	0.134 ns
CV(%)	4.86	8.68	9.66

a...f Medias con letras Iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955)

Llonin (1999) encontró que la micorrización influyó positivamente sobre el estado nutricional de las plantas de tomate, generando incrementos de 37 y 50 % en los contenidos de N, P y K con relación al testigo de producción y a la no aplicación de fertilizantes minerales, lo que evidenció una estrecha relación entre la eficiencia simbiótica, el rendimiento del cultivo y la absorción de nutrientes.

4.2.3. Influencia sobre la conservación postcosecha.

Las pérdidas que se producen durante el período postcosecha de los frutos dependen de múltiples factores donde juegan un papel fundamental las condiciones inadecuadas de desarrollo y la fertilización mineral (Subbiah, 1994 y Wilcox, 1996).

Las pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF) de los frutos de tomate (Tabla 16) aumentaron con el tiempo de conservación, los mayores valores se obtuvieron a los 20 días postcosecha, comportamiento lógico desde el punto de vista fisiológico ya que según Fernández y Rivera (1990) y López (1992), una vez cosechado, el fruto depende únicamente de sus reservas, continúa viviendo, respira, transpira y está sujeto a continuos cambios que determinan la declinación de la calidad interna y externa. Este proceso de senescencia consiste esencialmente en una serie de eventos irreversibles que conducen a la desorganización celular y a la muerte de los tejidos y dependen de determinados factores biológicos y ambientales.

Entre las variantes estudiadas existieron diferencias significativas a los 4 y 12 días postcosecha, las mayores pérdidas correspondieron a la aplicación de 50 kg N/ha para ambas evaluaciones. Entre los tratamientos biofertilizados y la variante con 100 kg N/ha no se encontraron diferencias estadísticas. Las pérdidas postcosecha a los 8, 16 y 20 días no mostraron diferencias significativas, aunque los mayores valores se lograron con la dosis de 50 kg N/ha.

Tabla 16.- Efecto de la nutrición nitrogenada y la biofertilización en las pérdidas de masa por actividad fisiológica durante la conservación postcosecha en frutos tomate.

<i>Tratamientos</i>	<i>Pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF (%))</i>				
	4	8	12	16	20
	Días				
Ti. 50 kg N/ha	5.017a	5.75	7.92a	7.74	9.03
T2. 100 kg N/ha	1.167 b	2.89	4.18 b	4.89	7.41
T3. <i>Glomus mosseae</i>	1.607 b	2.25	4.83 b	5.38	5.09
T4. <i>Glomus fasciculatum</i>	1.057 b	2.15	4.42 b	5.16	5.80
T5. <i>Azospirillum brasillense</i>	1.037 b	1.71	4.17 b	5.97	6.41
T6. <i>Azotobacter chroococcum</i>	9.70 b	2.09	3.72 b	4.39	5.22
T7. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.29 b	2.36	3.05 b	4.31	5.49
T8. <i>Glomus. mosseae</i> + <i>Azospirillum brasillense</i>	1.03 b	2.61	4.95 b	5.65	6.46
Esx	7.08**	8.66 ns	7.15**	8.24 ns	6.56 ns
CV(%)	7.85	5.25	9.33	8.11	7.89

a,b Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955)

Locassio et al. (1984) señalan que la vida postcosecha del tomate puede afectarse tanto por un exceso como por un déficit de N ya que en ambos casos se producen desequilibrios nutricionales que alteran el crecimiento general de la planta y como consecuencia la composición del fruto y su resistencia a la conservación. En este caso, la aplicación de dosis unilaterales de nitrógeno y por debajo de lo recomendado para el cultivo del tomate provocó las mayores pérdidas postcosechá.

Los biofertilizantes al parecer contrarrestan este efecto debido al papel beneficioso que desempeñan en la nutrición de los cultivos, no sólo en la absorción de elementos mayores sino también en la absorción de microelementos y otras sustancias que mejoran la producción y permiten una nutrición más balanceada.

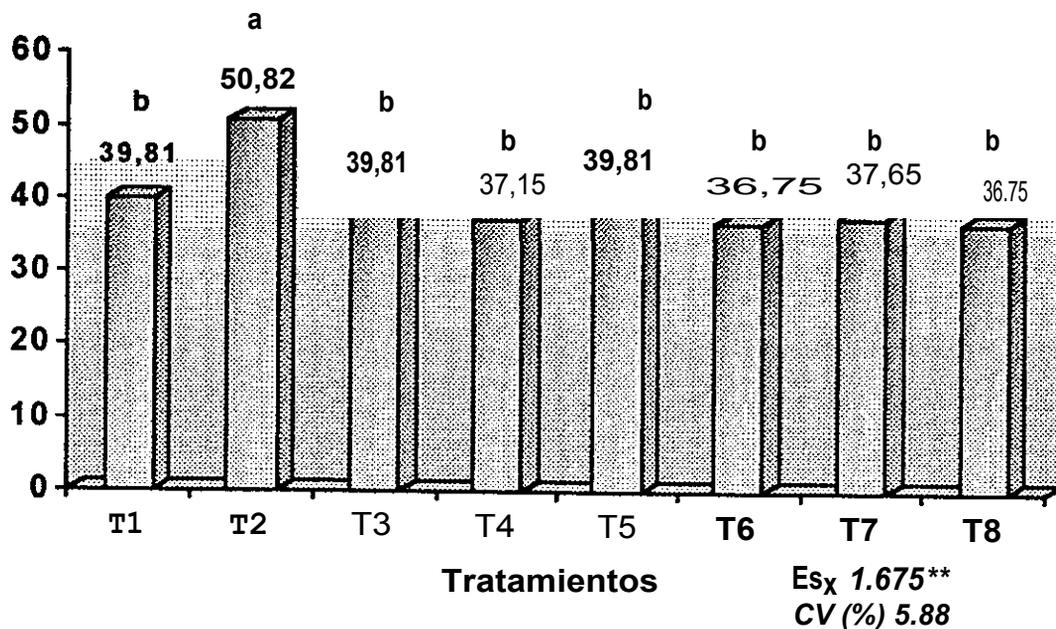
De forma general, la información disponible acerca del efecto de la nutrición nitrogenada en la conservación postcosecha es bastante limitada y la mayoría de las investigaciones se refieren, fundamentalmente, al efecto del exceso de nitrógeno más que al déficit del elemento.

4.2.4. *Influencia sobre la calidad interna de los frutos.*

En la Figura 5 se reflejan los contenidos de nitratos presentes en frutos de tomate en el momento de la cosecha. Esta variable mostró diferencias significativas entre los tratamientos y los valores estuvieron por debajo del límite permisible de 150 mg /kg de fruto según lo establecido por García-Roche y Grillo (1991) para el tomate que se cultiva a campo abierto en las condiciones de Cuba.

Fig 5: *Efecto de la fertilización nitrogenada y la biofertilización en el contenido de nitratos en frutos de tomate*

En el lateral izquierdo de la tabla la U. Medida es mg/100g



Leyenda:

T1.- 50 kg N/ha

T2.-100 kg N/ha

T3.- 100 kg N-P205 - K20/ha

T4.- *Glomus mosseae*

T5.- *Glornus tasclulatum*

T6.- *Azospirillum brasilense*

T7.- *Azotobacter chroococcum*

T8.- *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens*

T9: *Glomus mosseae* + *A. brasllense*

En las variantes con fertilización mineral (T1, T2 y T3) se observó que el tenor de nitratos se elevó significativamente al incrementarse las dosis de nitrógeno, por lo que se pone de manifiesto el efecto marcado que ejercen los niveles de nitrógeno en el suelo sobre las cantidades de nitratos presentes en los frutos.

En las variantes biofertilizadas se obtuvieron valores estadísticamente similares a 50 kg N/ha y significativamente inferiores a 100 kg N/ha, lo que sugiere que la aplicación combinada de biofertilizantes y fertilización mineral puede contribuir a la reducción de nitratos en frutos de tomate, debido fundamentalmente a la utilización de menores cantidades de fertilizantes nitrogenados.

En este sentido, Heredia y Machado (1992) observaron que la combinación de *Azotobacter chroococcum* con la fertilización mineral disminuyó los contenidos de nitratos en la variedad de tomate Floradel, mientras que Terry et al. (1998) apreciaron una ligera disminución en los tratamientos donde se utilizó la inoculación de *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum* y *Glomus manihoti* con el 75 % del fertilizante recomendado para el cultivo del tomate.

Este aspecto constituye hoy en día una problemática de actualidad para los vegetales que se consumen en estado fresco y que se someten a aplicaciones inadecuadas de fertilizantes nitrogenados. Los biofertilizantes, como alternativa en la nutrición integrada de los cultivos, pueden contribuir a su reducción, siempre y cuando se encuentren dentro de los límites permisibles que se recomiendan para cada especie.

En la Tabla 17 se reflejan algunas variables de calidad en los frutos de tomate en el momento de la cosecha y a los 20 días postcosecha (inicio y final del periodo de conservación).

De forma general, los contenidos de SST se encuentran dentro de los rangos establecidos por Onsuná (1983), Cuartero y Fernández (1996) y Santiago et al. (1998) quienes recomiendan como valores adecuados aquellos que están por encima del 4 %.

Con relación a la acidez, los valores se encuentran dentro del rango de 0.4 - 0.5 % de acidez titulable señalado por Villareal (1982). Esta característica no sólo es importante como componente principal del sabor, sino que también juega un papel fundamental en el procesamiento industrial, conjuntamente con los SST, aunque hay que destacar que la variedad HC 38-80 se destina fundamentalmente al consumo fresco de la población por lo que en este caso los SST y la acidez tienen un papel decisivo en el sabor del fruto.

Los valores para la vitamina C, son bajos y variables (7.10 - 13.00 mg /100 g de fruto). Se conoce que el tomate no posee altos contenidos de la misma y la mayoría de los autores coinciden en plantear que este es uno de los componentes de la calidad interna del fruto que más varía según la variedad, el clima y la localidad (Morales et al., 1996).

Resultados y Discusión

Tabla 17.- Efecto de los tratamientos sobre la calidad organoléptica y su comportamiento en relación con el tiempo de conservación postcosecha.

Tratamientos	S. S. T. (%)		Acidez titu/able (%)	
	Inicio	Final	Inicio	Final
Ti. 50 kg Niha	4.05 bc	4.20 b	0.42 cd	0.42
T2. 100 kg N/ha	4.10 b	4.30 ab	0.36 e	0.44
T3. Gomus mosseae	4.35a	3.80e	0.49a	0.46
T4. Giomus fasciculatum	4.45 a	3.95 d	0.46 ab	0.48
T5. Azosp/rillum. braslense	4.40a	4.10c	0.48a	0.46
T6. Azotobacter chroococcum	4.35 a	4.25 ab	0.40 d	0.43
T7. Glomus. mosseae + Pseudomonas fluorescens	4.30 a	3.75 e	0.47 ab	0.50
T8. Giomus mosseae + Azospirillum brasilense	4.40 a	4.35 a	0.44 bc	0.41
Esx	0.518''''	0.052''	0.012'''	0.022 ns
Cv(%)	1.73	1.79	3.41	6.84
	Vit. C (mg/100g)		pH	
	inicio	Final	Inicio	Final
T1.50 kg N/ha	11.63 ab	13.80 b	4.40a	4.42
T2. 100 kg N/ha	13.00a	15.94a	4.14b	4.40
T3. Gomus mosseae	7.10 de	11.12c	4.14b	4.40
T4. Glomus fascicu/atum	11.25ab	11.12c	4.15b	4.43
T5. Azospirillum. braslense	9.64 bc	12.06 c	4.12 b	4.42
T6. Azotobacter chroococcum	10.05 bc	14.34 b	4.17 b	4.39
T7. G/omus. mosseae + Pseudomonas fluorescens	10.16bc	11.94c	4.14b	4.42
T8. Giomus mosseae + Azospirtilum braslense	8.84cd	11.79c	4.13b	4.41
Esx	0.670 ''	0.378	0.023	0.007 ns
CV(%)	9.76	4.05	0.73	0.24

a...e Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955)

El pH no sobrepasó el valor de 4.5 según lo planteado por Villareal (1982), quien establece esta cifra como indeseable debido a que aumenta los problemas con los microorganismos termófilos, dificultando la obtención de un producto sano ,con las técnicas normales de elaboración.

Resultados y Discusión

Al analizar los valores promedios de las variables de calidad en el momento de la cosecha se pudo observar que los frutos de las plantas que recibieron el nivel más alto de nitrógeno mostraron ligeros incrementos en vitamina C con relación a 50 kg N/ha. La acidez y el pH fueron significativamente menores en el tratamiento con 100 kg N/ha, lo que indica que la aplicación de niveles óptimos de nitrógeno permite obtener frutos con una mejor calidad organoléptica.

En este sentido Grela (1991) demostró que la cantidad de nitrógeno añadido al suelo contribuye a mejorar el contenido de vitamina C y los sólidos solubles totales presentes en los frutos. Los mayores valores de brix y ácido ascórbico, así como la menor acidez los obtuvo con la dosis más alta de nitrógeno.

Para todas las variantes inoculadas el contenido de SST fue significativamente mayor al compararse con la fertilización mineral, mientras que el pH mostró valores estadísticamente similares a los obtenidos con la aplicación de 100 kg N/ha. No obstante, en el momento de la cosecha los frutos de tomate en las plantas biofertilizadas tuvieron significativamente menor contenido de vitamina C y mayor acidez titulable que los frutos de las plantas fertilizadas con 100 kg N/ha.

A los 20 días postcosecha solo se encontraron diferencias para los SST y la vitamina C. Los SST no mostraron una tendencia similar a la que se obtuvo en el momento de la cosecha y los mayores valores correspondieron a los tratamientos con *Azotobacter chroococcum* y *G/omus mosseae* + *Azospirillum brasilense*, mientras que la vitamina C se favoreció con la aplicación de 100 kg N/ha en los tratamientos no inoculados. Los menores contenidos se encontraron con la inoculación de los biofertilizantes.

Los valores de las variables de calidad organoléptica en frutos de tomate son similares a los encontrados por otros autores cubanos. Morales *et al.* (1996) establecen para la variedad Campbell 28 índices de acidez, SST y vitamina C de 0.27-0.43 %, 3.35-4.90 % y 7.75-18.60 mg/100g de fruto respectivamente, mientras que González (1997) al realizar la caracterización de la variedad INCA 9-1 calcularon valores de 0.28 %, 4.3 % y 16.6 mg/100g de fruto para la acidez, SST y vitamina C respectivamente.

Los SST disminuyeron con el tiempo de conservación, mientras que la vitamina C y el pH aumentaron y el porcentaje de acidez no mostró variación (Tabla 18). Este comportamiento se debe a que durante el período postcosecha se producen una serie de cambios en los ácidos orgánicos, proteínas y aminoácidos en los frutos de tomate. Al respecto, López (1992) plantea que el contenido de vitamina C aumenta durante la

Resultados y Discusión

conservación del fruto y que por lo general se incrementa el contenido de azúcares, mientras que los ácidos orgánicos tienden a disminuir.

Tabla 18.- Comportamiento de la calidad interna del fruto de tomate al inicio y final del período postcosecha

Momento	SST (% brix)	Acidez titulable (%)	Vit C (mg/100g)	pH
Inicial (momento de la cosecha)	4.23 a	0.41	9.71 b	4.17 b
Final (20 días postcosecha)	4.08 b	0.40	13.26 a	4.70 a
Es.	0.004 ***	0.043 ns	0.193***	0.0057***
CV(%)	0.88	2.60	6.73	0.54

a,b Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955)

4.2.5. Influencia sobre la colonización micorrízica.

En los estudios con biofertilizantes a partir de HFMA, las variables micorrízicas son utilizadas como criterio para explicar el funcionamiento de estos microorganismos y su relación con el crecimiento vegetal.

En la Tabla 19 aparecen los índices de colonización micorrízica. Para el porcentaje de colonización se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. De forma general, las variantes inoculadas mostraron valores significativamente superiores al ser comparadas con las no inoculadas, en las cuales, los porcentajes de colonización corresponden a la miconización nativa.

Tabla 19.- Efecto de los <i>tratamientos</i> sobre las <i>variables miconízicas</i>.			
<i>Tratamientos</i>	Colonización	Densidad	Masa
	(%)	visual (%)	endófito (mg/g de raíz)
T1. 50 kg N/ha	33.00 d	1.33 d	2.86 d
T2. 100 kg N/ha	34.00 d	2.36 bc	3.60 c
T3. 100-2550 kg N - P₂O₅ - K₂O/ha	36.00 d	1.96 cd	3.92 bc
T4. <i>Glomus mosseae</i>	47.50 c	3.24 a	6.48 a
T5. <i>Glomus fasciculatum</i>	50.00 bc	2.28 c	4.32 b
T6. <i>Azospirillum brasiliense</i>	49.00 bc	2.23 c	4.45 b
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i>	54.00 bc	2.22 c	4.43 b
T8. <i>Glomus mosseae</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	54.00 bc	3.22 a	6.99 a
T9. <i>Glomus. mosseae</i> + <i>Azospirillum brasilense</i>	56.00 ab	3.15 ab	6.33 a
Esx	0.239***	0.590***	0.239***
CV (%)	7.01	8.68	7.39

a...d Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente según Duncan (1955).

Los porcentajes de colonización en los tratamientos biofertilizados fueron superiores a los encontrados por Ruíz *et al.* (1997) y Terry *et al.* (1998). Estos autores indican como positivos valores entre 30-40 % para las plantas de tomate inoculadas con HFMA.

El mayor porcentaje de colonización correspondió a la coinoculación de *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* la cual superó significativamente a la inoculación simple de la micorriza. Cabe destacar que la ocupación de las raíces por los hongos nativos se favoreció con la inoculación de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*. El porcentaje de colonización en estos tratamientos fue significativamente superior a los no inoculados, aunque era lógico esperar valores similares ya que en estas variantes están presentes las miconizas nativas del suelo.

Estos resultados coinciden con lo planteado por Guerrero *et al.* (1996) quienes señalan que la presencia de *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum* incrementan los niveles de colonización micorrizica, debido posiblemente a que la competencia que encuentran estos hongos en la rizofera del cultivo es mayor cuando se inoculan microorganismos con alta capacidad competitiva, por lo que las micorrizas en presencia de estas bacterias tuvieron que aumentar su actividad y proliferación como mecanismo de

Resultados y Discusión

defensa en su lucha por el sitio de colonización, manifestándose en un mayor porcentaje de raíces colonizadas.

Sin embargo los más bajos rendimientos en el cultivo del tomate se obtuvieron con estas variantes. Por lo que a pesar de que los hongos nativos incrementaron su infectividad fueron poco efectivos en promover la absorción de los nutrientes, su traslocación y el crecimiento y productividad del cultivo. Siqueira y Franco (1988) definen como infectividad **a la capacidad para establecer la asociación que no debe confundirse con la efectividad o eficiencia simbiótica que es la capacidad del hongo para promover efectos beneficiosos de cualquier tipo.**

El porcentaje de densidad visual y la masa del endófito mostraron diferencias significativas y un comportamiento similar. En los tratamientos no inoculados se encontró que las variantes 100-0-0 y 100-25-50 presentaron los mayores valores cuando se compararon con la aplicación de 50 kg N/ha.

Entre los tratamientos inoculados se destacaron ***Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense***, cuyos valores fueron significativamente superiores al resto de los tratamientos. La masa del endófito se favoreció con la inoculación de ***Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense* y *Azotobacter chroococcum*.**

En las Figuras 6, 7 y 8 aparecen las rectas de tendencia y ecuaciones de regresión entre **las variables** micorrízicas y la producción del cultivo. Se observó una correlación significativa entre el rendimiento y las variables densidad visual y masa del endófito arbuscular con coeficientes de determinación de 0.89 y 0.86 respectivamente. Para el porcentaje de colonización este coeficiente estuvo por debajo de 0.50 (0.178 ns) por lo que al parecer las variables micorrízicas relacionadas con la ocupación del hongo dentro de la raíz son las que más se correlacionan con el rendimiento del cultivo debido posiblemente a que es dentro de este órgano donde se produce el intercambio de metabolitos entre los **participantes de la simbiosis, conllevando a incrementos en el crecimiento del hongo y la producción de la planta siempre y cuando la colonización sea eficiente.**

Según Herrera (1995), el indicador más representativo para evaluar el comportamiento de **la colonización micorrízica es la masa del endófito, tomando en consideración niveles visuales de ocupación fúngica en el interior de la raíz. Estas variables expresan la intensidad infectiva del simbiote a diferencia del simple cálculo de los porcentajes de**

Resultados y Discusión

colonización que solo tienen en cuenta la presencia o no del microorganismo en la raíz, sin cuantificar la magnitud de la colonización.

Fig 6.- Líneas de tendencia y coeficiente de determinación entre el porcentaje de colonización micorrízica y el rendimiento del cultivo

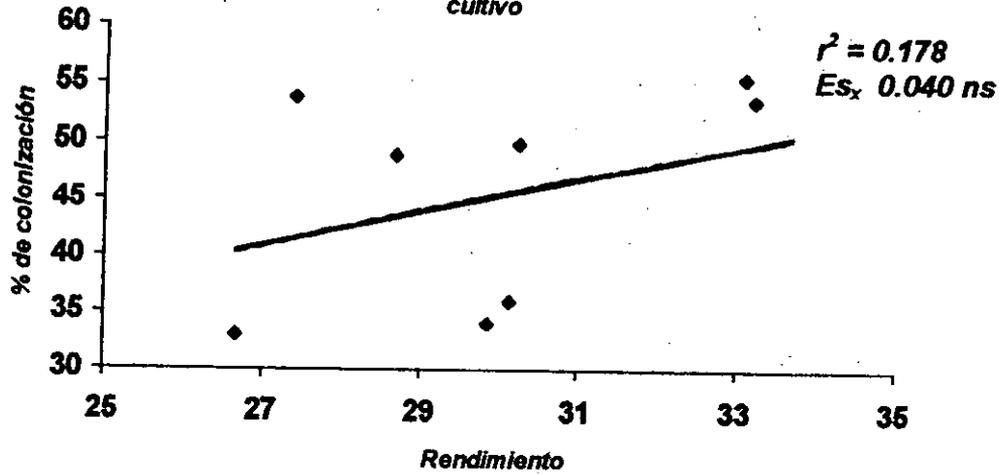


Fig 7.- Línea de tendencia y coeficiente de determinación entre el porcentaje de densidad visual (% de DV) y el rendimiento del tomate

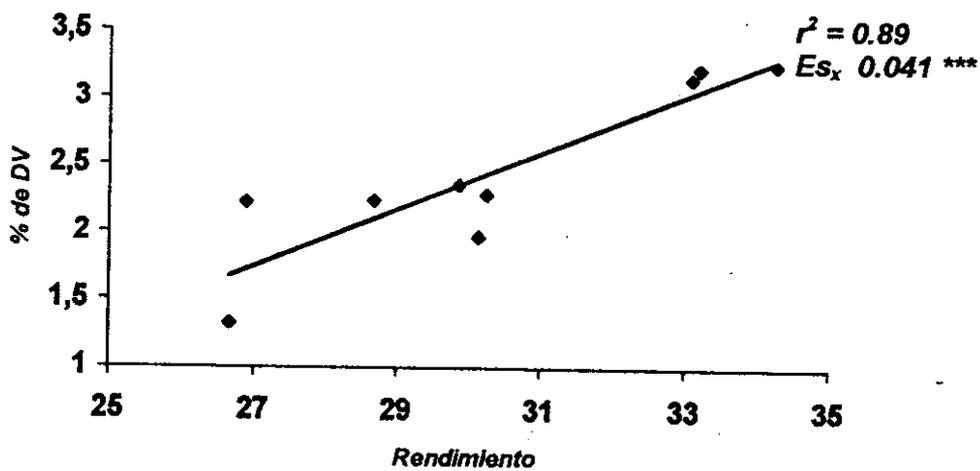
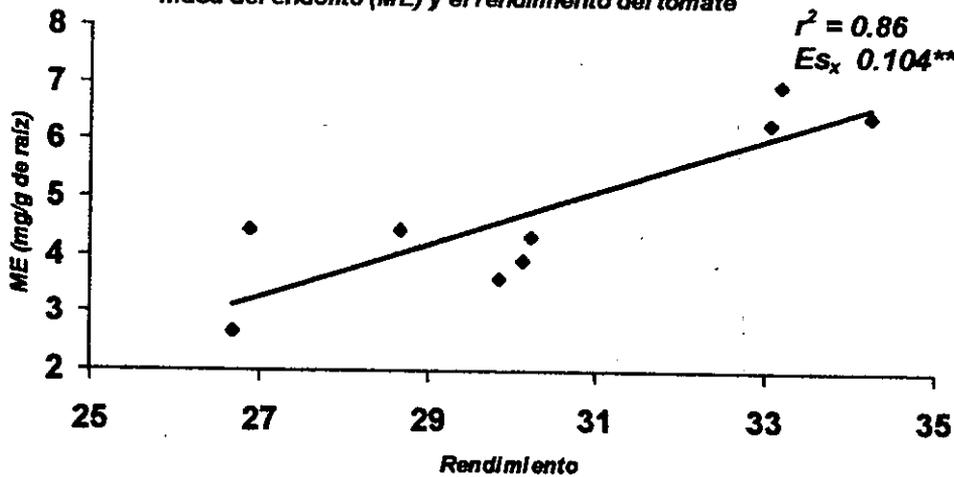


Fig 8.- Línea de tendencia y coeficiente de determinación entre la masa del endófito (ME) y el rendimiento del tomate



4.3. Valoración económica.

El enfoque económico concebido (Tabla 20) se fundamenta en la relación entre una variante base con aplicación de fertilizante (100-0-0) y una variante nueva con la inoculación de biofertilizantes, para analizar a partir del valor de la producción y el costo de los fertilizantes y biofertilizantes el beneficio neto que se obtiene con el incremento del rendimiento.

Para los tratamientos no inoculados, el beneficio neto que se obtuvo con la aplicación de fósforo y potasio no fue significativo (9.91. \$) y la relación valor/costo no llega a 2. En este sentido FAO (1984) indica que por causa del elemento riesgo la gran mayoría de los agricultores no emplean fertilizantes a no ser que la relación valor/costo sea al menos 2.

Tabla 20.- Valoración económica de los resultados según metodología propuesta por FAO (1984).

Tratamientos a comparar	Rend. (t/ha)	ValorP (\$)	CAF (\$)	CAB (\$)
T2. 100 kg N/ha	29.85	7164.00	32.60	
T3. 100-25-50 kg NPK	30.15	7236.00	62.09	
T4. <i>Glomus mosseae</i> + 50 kg N/ha	34.26	8222.40	16.46	167.50
T5. <i>Glomus fasciculatum</i> + 50 kg N/ha	30.24	7257.60	16.46	167.50
T6. <i>Azospirillum brasilense</i> + 50 kg N/ha	28.67	6880.80	16.46	0.15
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i> + 50 kg N/ha	26.89	6453.60	16.46	140
T8. <i>G. mosseae</i> + <i>P. fluorescens</i> + 50 kg N/ha	33.19	7965.60	16.48	167.65
T9. <i>G. mosseae</i> + <i>A. brasilense</i> + 50 kg N/ha	33.07	7938.80	16.46	187.65
<i>Tratamientos a comparar</i>	CAF + CAS	VIR	SN	RVC
	(\$)	(\$)	(\$)	
T2. 100 kg N/ha	32.60			
T3. 100-25-50 kg N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	62.09	72.00	9.91	1.16
T4. <i>Glomus mosseae</i> + 50 kg N/ha	183.96	1058.40	874.44	6.75
T5. <i>Glomus fasciculatum</i> + 50 kg N/ha	183.96	93.60	-90.36	0.51
T6. <i>Azospirillum brasilense</i> + 50 kg N/ha	16.61	-283.20	-	-
T7. <i>Azotobacter chroococcum</i> + 50 kg N/ha	158.48	-710.40	-	-
T8. <i>G. mosseae</i> + <i>P. fluorescens</i> + 50 kg N/ha	184.11	801.60	617.49	4.36
T9. <i>G. mosseae</i> + <i>A. brasilense</i> + 50 kg N/ha	184.11	772.80	688.69	4.19

VP: Valor de la producción
CAF: Costo de aplicación del fertilizante
CAB : Costo de aplicación de los biofertilizantes

VIR: Valor del incremento del rendimiento
BN: Beneficio neto
RVC: Relación valor/costo

Resultados y Discusión

Los mayores beneficios netos correspondieron a las variantes inoculadas con ***Glomus mosseae*** (874.44 \$) ***Glomus mosseae* + *Pseudomona fluorescens*** (617.49 \$) y ***Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*** (588.69 \$). La relación valor/costo para estas variantes fue de 5.75, 4.35 y 4.19 respectivamente lo que indica que la ganancia fue notable ya que la RVC fue mayor que 3.

La variante inoculada con ***Glomus fasciculatum*** igualó en producción a la aplicación de 100 kg N/ha y mostró valores de incremento del, rendimiento de 93.60 \$. Sin embargo, con la biofertilización de esta especie no se obtuvo ganancias ya que el beneficio neto fue de -90.36 \$ y la relación valor/costo fue menor de 1.

Los beneficios económicos calculados con la inoculación de ***Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomona fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense*** se deben a un aumento en el rendimiento agrícola del cultivo y a la reducción del 50 % del fertilizante nitrogenado.

Otro aspecto importante lo constituye el hecho del valor de los biofertilizantes como contribuyente dentro de un sistema agrario cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad nutritiva, sanitaria y organoléptica, el cuidado al medio ambiente y la conservación de la fertilidad de los suelos mediante la utilización óptima de los recursos naturales, evitando todas las formas de contaminación que pueden resultar del empleo de los abonos sintéticos (Guzmán, 1996).

El uso práctico de los biofertilizantes encaja dentro de una agricultura de gestión biológica dirigida a obtener una producción sostenida. Estos microorganismos son mediadores biológicos de la nutrición vegetal capaces de aprovechar más eficientemente los nutrientes del suelo, no son sucedáneos sino complementarios de los fertilizantes químicos (Guerrero, 1996).

V.- CONCLUSIONES.

- La inoculación en semillero con *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* combinada con la fertilización nitrogenada favoreció la producción de posturas con mayor calidad biológica, expresada en las variables altura, diámetro del tallo, masa fresca y masa seca.
- El rendimiento y sus componentes se beneficiaron con la aplicación de niveles óptimos de fertilizantes, mientras que para los tratamientos inoculados las mayores valores correspondieron a *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* combinadas con el 50 % de la fertilización nitrogenada. La biofertilización con estos microorganismos logró incrementos en el rendimiento agrícola del cultivo entre 8.42 y 14.70 % con relación a la aplicación de niveles óptimos de fertilizantes.
- Los biofertilizantes como complemento de la nutrición mineral del tomate permiten reducir los contenidos de nitratos presentes en los frutos y las pérdidas que se producen durante el período postcosecha, aunque algunos indicadores de calidad organoléptica parecen afectarse con la inoculación. Los HFMA y su coinoculación con bacterias rizosféricas influyó de manera positiva en la absorción de nitrógeno y fósforo por la planta.
- La biofertilización con *Glomus mosseae*, *Glomus mosseae* + *Pseudomonas fluorescens* y *Glomus mosseae* + *Azospirillum brasilense* en fase de campo puede utilizarse como complemento de los fertilizantes minerales. Su empleo en el cultivo del tomate reduce las necesidades de nitrógeno en un 50 % y permiten obtener beneficios netos de 874.44, 617.49 y 588.69 \$ respectivamente.

VI.- RECOMENDACIONES.

- Continuar los estudios de evaluación de micorrizas arbusculares y bacterias rizósfericas en el cultivo del tomate para disponer de una mayor información que permita su generalización en los suelos Ferralíticos Rojos.
- Profundizar en el efecto de los biofertilizantes como complemento de la nutrición mineral del tomate en la conservación postcosecha y la calidad organoléptica de los frutos.
- Determinar mediante análisis microbiológicos los posibles cambios que puedan ocurrir en las poblaciones nativas del suelo como consecuencia de la inoculación con biofertilizantes.

VII. BIBLIOGRAFIA.

- Acosta, María del C., R. Martínez y B. Dibut. Efecto de la inoculación con *Azotobacter* sobre distintas características fisiológicas de las plantas de tomate en etapa de semillero. En: **VIII Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.**-La Habana, 1992.-p. 44.
- Adhanohoun, A., J. A. Hernández y T. Berenguer. Respuesta del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) a la fertirrigación nitrogenada en un suelo Ferralítico Rojo. **Cultivos Tropicales** 17(2):23-24, 1996.
- Alarcón, A., P. Rodríguez, E. Furrázola y T. Boicot. Evaluación de la efectividad de endomiconizas arbusculares nativas de la región de Bayamo en el cultivo del tomate. En: **XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.**-La Habana, 1998.-p. 191.
- Alkaraki, G. M. Benefit, cost and water use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. **Mycorrhiza** 8(1):41-45, 1998.
- Alkaraki, G. M. y R. B. Clark. Growth, mineral acquisition and water use by mycorrhizal wheat grown under water stress. **Journal of plant Nutrition** 21 (2):263-276, 1998.
- Almaguer, J., A. Pérez, A. Díaz y C. González. Fertilización NPK en tomate de trasplante Variedad Campbell 28. En: **V Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.**-La Habana, 1985.-p.324.
- Almenares, J. C., R. Cuñarro y R. Ravelo. Efecto de la aplicación de *Azotobacter* en diferentes momentos y su influencia en el rendimiento del cultivo del tomate en la variedad Campbell-28. En: **11 Seminario Científico Internacional Agroisla'96. Programa y Resúmenes.**- Isla de la Juventud, 1996.-p. 36.
- Altieri, M. A. **Agroecología. Bases Científicas para una agricultura sustentable.**-La Habana, Cuba: CIADES-ACAO, 1997.-249 p.
- Alvarez Marta. **Mejoramiento genético del tomate para siembra de primavera.** -1987.-70p. Tesis (Dr. en Ciencias Agrícolas).-INCA, 1987.
- Arzola, N., O. Fundora y J. Machado de Aneas. **Suelo, planta y abonado.**- La Habana:Editorial Pueblo y Educación, 1981.—461 p.
- Ayling, S. M., S. E. Esmith y P. Kolesik. Transport processes at the plant fungus interface in mycorrhizal associations physiological studies. **Plant and Soil** 196:305-310, 1997.

Bibliografía

- Azcón, R. y R. M. Tobar. Activity of nitrate reductase and glutamine synthetase in shoot and root of mycorrhizal *Allium cepa*. Effect of drought stress. Plant science 133:1-8, 1998.
- Bago, B., C. Azcón-Aguilar, C. Goulet y V. Piche. Branched absorbing structures a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist 139(2):375-388, 1998.
- Bajaj, K. L. Potassium and its influence on quality of fruit and vegetable crop. Potash Review (6):5-6, 1991.
- Ballestrini, R., M. G. Hahn, A. Faccio, K. Mendgen y P. Bonfante. Differential localization of carbohydrate epitopes in plant cell walls in the presence and absence of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Physiology 111:203-213, 1996.
- Barea, J. M. y C. Azcón-Aguilar. Morfología, anatomía y citología de las MVA. Fijación biológica de nutrientes. - Madrid:CSIC, 1991. -p159-173.
- Bashan Y. Air borne transmission of the rhizosphere bacterium *Azospirillum*. Microb. Ecol. 22:257-269, 1991.
- Bashan, Y. Potential use of *Azospirillum* as biofertilizer. Turrialba 23(4):286-291, 1993.
- Bashan, Y. y H. Levanony. Current Status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. Canadian Journal of Microbiology 36:591-608, 1990.
- Bashan, Y. y G. Holguin. *Azospirillum* plant relationship: Environmental and physiological advances (1990-1996). Canadian Journal of Microbiology 43:103-121, 1997
- Bastelaere, E. V. Isolation and characterization of plant inducible genes in *Azospirillum brasilense* sp 7. Dissertationes de agricultura 5:35-50, 1996.
- Bastelaere, V., E. De Mot y K. Michiels. Differential genes expression in *Azospirillum spp* in the presence and absence of plant roots exudates. Analysis of protein profiles by two dimensional polyacrylamide Gel electrophoresis. FEMS Microbiology Letters 112:335-342, 1993.
- 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.
- Behboudian, M. H. y D. R. Anderson. Effects of potassium deficiency on water relations and photosynthesis of the tomato plant. Plant and Soil 127:137-139, 1990.
- Bennett, F. W. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. —USA: American Phytopathological Society, 1996. —202 p.
- Bethlenfalvai, G. y R. G. Linderman. Mycorrhizae in sustainable agriculture. —Madison, USA:ASA, 1992. —p.45-70.

Bibliografía

- Bever, J. D., J. B. Morton, J. Antonovics y D. A. Schultz. Host specificity and diversity of arbuscular fungi in glomales: An experimental approach using an old field soil. Journal of Ecology 84:71-82, 1995.
- Bhargava, B. S. y H. P. Singh. Potassium and quality of tropical and subtropical fruit crop. Potash Review (5):1-9, 1991.
- Bhattacharya, P. y S. R. Chaudhuri. Biofertilizer. Opening a new horizon. Yohana 37(9):12-31, 1993.
- Bieche, B. Tomato News En: Centre Mondial d' information sur la tomate d' industrie. -Avignon, Francia: (s.n.), 1991.-65 p.
- Blanco, F. A. y E. A. Salas. Micorrizas en la agricultura. Contexto mundial e investigaciones realizadas en Costa Rica. Agronomía Costarricense 21(1):55-87, 1997.
- Bonfante, P. y S. Perotto. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plant. New Phytologist. 130:3-21, 1995.
- Caballero, R. y J. C. Martínez. Las micorrizas y su importancia para el cultivo del tomate. En: 11 Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes —Villa Clara, 1995.-p54.
- Cardoza, Hortencia, Marisa Chailloux y M. González. Influencia de la fertilización mineral NPK sobre los rendimientos de frutos y semillas de tomate variedad Campbell 28 sobre suelos Ferralíticos Rojos compactados con altos contenidos de p.y K. En: VIII Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes. —La Habana, 1992.-p 67.
- Cardoza, Hortencia, Marisa Chailloux y A. Nuñez. Consumo y dinámica de la absorción de los nutrientes NPK en tomate Campbell 28. En: II Seminario Científico Técnico Estación Experimental de Nutrición Vegetal la Renee-. -la Habana, 1984.-p 110.
- Cardoza, Hortencia, A. Nuñez y Marisa Chailloux. Extracción de nutrientes por el cultivo del tomate variedad Campbell 28. En: V Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes. —La Habana, 1985.-p 356.
- Casanova, A. y J. R. Sayón. Producción biointensiva de hortalizas. Agricultura Orgánica 1(3):13-16, 1995.
- Cerdas, J. C, M. A. Moreira y F. Bertsch. Concentración y absorción de nutrientes durante el ciclo de la planta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) c.v. Catalina en Alajuela. Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit. M. 22(4): 1-11, 1989.
- Chellemi, D. O., S. M. Oison, D. J. Mitchell y I. Seeker. Adaptation of soil solarization to the integrated management of soilborne pest of tomato under humid conditions. Phytopathology 87:250-258, 1997.

Bibliografía

- Chude, V. O. Response of tomato to nitrogen fertilization and irrigation frequencies in a semiarid tropical soil. Fertilizer research 4(20):85-88, 1994.
- Compagnoni, A. Cambiando le regole Europea per ('agricultura biologica. L'Informatore Agrario 53(31):60-61, 1997.
- Coscaturca, Antonia. Genetic studies on the auxin hypothesis in the *Azospirillum* interaction. Dissertationes de agriculture (275):1-25, 1995.
- Csizinszky, A. A. Yield response of bell pepper and tomato controlled release fertilizer on sand. Journal of plant nutrition. 17(9):1535-1549, 1994.
- Cuartero, J., R. Fernández. Calidad de las hortalizas para consumo en fresco. HF-Horto Información (78):34-38, 1996.
- Cuba, MINAG. NRAG 837-87. Análisis químico de suelos. Reglas generales.-Ciudad de la Habana:MINAG, 1987.
- Cuba, MINAG. Instructivo técnico del cultivo del tomate. La Habana:CIDA, 1988.-21 p.
- Cuba, MINAG. Principales producciones en 1997. -Cuba:CIDA, 1997.
- Cuba, MINAG. Informe de la campaña 98/99; Ciudad de la Habana, Cuba:CIDA, 1999.-30 p.
- Cuba, MINAL. NRIAL 498. Métodos de ensayos para producción de frutas y hortalizas.- Cuba:MINAL, 1981.-43 p.
- Cuervo, J. y G. Rivas-Platero. Biotá rizosférica: Un recurso para promover el crecimiento y la protección de las plantas. Manejo integrado de plagas. Hola Técnica. (21):1-4, 1997.
- Cuenca, G., Z. De Andrade y G. Escalante. Arbuscular Mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical land. Biology and Fertility of Soils. 26(2):107-11, 1998.
- Cuevas, F. R. Evaluación agronómica de la nutrición mineral con NPK y la aplicación de biopreparados en el cultivo del tomate en un suelo Hidromórfico Gley Nodular ferruginoso. — 1998. — 80 p. Tesis (Msc en nutrición y biofertilización de las plantas): INCA, 1998.
- Da Costa, Adelaide. Efecto de la micorrización en el cultivo del tomate y la cebolla en suelos Ferralíticos Rojos compactados. — 1994. -70 p. Tesis (Ingeniero Agrónomo).—ISCAH, 1994.
- Dassi, B., E. Dumas, S. Gianinazzi. Do pathogenesis-related proteins play a role in bioprotection of mycorrhizal tomato roots towards *Phytophthora parasitica*?. Physiology and Molecular Plant Pathology 52(3):167-183, 1998.
- De Armas, Georgina, Olimpia, Gómez y T. Díaz. Análisis de componentes principales en cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*) para la clasificación por su resistencia a *Stemphyllium floridanum*. Aerotecnia de Cuba 24(2):53-58, 1992.

Bibliografía

- De la Noval, **Blanca**, María Isabel Hernández, G. Cabrera y J. Espinosa. Tecnologías de inoculación de vitroplantas de banano var "Parecido al Rey" con micorrizas arbusculares. En: XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.-La Habana, 1998.-p 197.
- Díaz, E., C. González, A. Avila, Albina Maestrey y Hortencia Cardoza. **Manejo de la** fertilización en tomate de invierno resultados preliminares En: II Seminario Científico Técnico de la Estación Experimental "La Renee" Programa y Resúmenes.-La Habana, 1984.-p 87.
- Dibut, B., María del C. Acosta, R. Martínez, 8. Nikander y H. Ljunggren. Producción de aminoácidos y citoquininas por una cepa cubana de ***Azotobacter chroococcum***. En: VIII Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes.-La Habana, 1992.-p 35.
- Dibut, B., M. Acosta, R. Martínez y H. Ljunggren. Producción de aminoácidos por una cepa cubana de ***Azotobacterchroococcum***. Cultivos Tropicales 16(1):16-18, 1995.
- Dibut, B., R. Martínez y R González. Dimargon: Nuevo medio de cultivo para la producción industrial de biopreparados a base de ***Azobacter chroococcum***.. Cultivos Tropicales 15(11):12-14, 1994.
- Dileep, B. C. y H. C. Dubet. Seed bacterization with a fluorescens Pseudomonas for enhanced plant growth, yield and disease control. **Soil Bioloov and Biochemistry** 24(6):539-542, 1992.
- Dobereiner, J. Recent changes in concepts of plant bacteria interactions: Endophytic nitrogen fixing bacteria. **Journal Braz. Assoc. Adv. Sci.** 44:310-313, 1992.
- Dodd, J. C., S. Rosendahl, M. Govannetti, A. Broome, L. Lanfranco y C. Walker. Inter and intraspecific variations within the morphologically-similar arbuscular mycorrhizal fungi ***Glomus mosseae*** and ***Glomus coronatum***. **New Phytoloaist** 133:113-122, 1996.
- Domínguez, A. Abonado de hortalizas aprovechadas por sus frutos.- Madrid: Ministerio de la Agricultura. Pesca y Alimentación, 1989.-16p.
- Dominic, María E., D. Lara y R. Gómez. Reducción del uso del fertilizante químico en el cultivo del tomate **mediante la** inoculación de biofertilizantes utilizando la tecnología de recubrimiento **de semilla**. En: III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y **Resúmenes**-Villa Clara, 1997.-p 81.
- Dominique R. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal colonization on nitrogen metabolism in the host plant En: <http://www-ICOM2.sluse/Abstracts/abrtittes.html> , 1998.
- Dommelen, A. V. Ammonium transports in ***Azospirillum bras/lense***. **Dissertationes de aariculture** 1:1-9, 1998.

Bibliografía

- Duncan, D. R. Multiple range and multiple F. Test *Biometrics* (11):1-42, 1955.
- Durkhead, P., A. David, Patricia Slininger. Bioautography shows antibiotic production by soil bacteria isolated antagonistic to fungal dry rot of potatoes. *Soil Biology and Biochemistry* 27(12): 1611 -1616,1995.
- Edwards, S.G., J. P. Young y A. H. Fitter. Interactions between *Pseudomonas fluorescens* biocontrol agents and *Glomus mosseae* en arbuscular mycorrhizal fungus, within the rhizosphere. *FEMS Microbiol Lett* 166(2):297-303, 1998.
- Eissenstat, D. M., J. H. Graham, J. P. Syvertsen. Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status. *Annals of botan* 71:2-10,1993.
- FAO. Los niveles de producción agrícola y el empleo de los fertilizantes.-Roma :FAO, 1984.- 66 p.
- FAO. Guía de fertilización y nutrición vegetal.-Roma: FAO, 1986. — 198 p.
- FAO. Boletín trimestral FAO estadísticas 3(4):58; 1990.
- FAO. Quarterly bulletin of statistics 13(112):47,1996.
- FAO. Yearbook production. 51:125-127, 1997.
- Feria, C. M. y J. R. Pereira. Phosphorus movement in the soil and application methods for en industrial tomato crop. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 28(12): 1363-1370, 1993.
- Fendrik, I., M. del Gallo, J. Vanderleyden y M. de Zamaroczy. *Azospirillum* V and relate microorganisms genetic-physiology-Ecology. *Ecological Sciences* 37(12):577, 1995.
- Fernández, M. A. y M. Rivera. Influencia de la temperatura de almacenaje sobre la maduración del tomate. *Ciencia y Técnica en la agricultura. Serie Hortalizas. Papa. granos y fibras* 9(2):4548,1990.
- Fernández, C. R. Riesgos ambientales asociados con la aplicación de biofertilizantes y biocontroles. *Cultivos Tropicales* 15(3):72,1994.
- Fernández, F., R. Gómez, M. Martínez y L. Pijeira. Tecnología de recubrimiento de semilla con biofertilizantes micorrizógenos. Alternativa sostenible de bajo costo. En: III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes.-Villa Clara, 1997.-p 76.
- Fernández, Y., P. M. Villa, A. Frías y M. A. Díaz de Villegas. Evaluación de diferentes métodos para la producción de metabolitos secundarios a partir de dos cepas de *Pseudomonas* sp. En: XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes. —La Habana, 1998. —p 189.
- Ferrer, R. L., E. Furrázola, R. Herrera y Madelín Gárciga. Influencia de varias cepas de hongos MVA solas o combinadas sobre el crecimiento de tres variedades de tomate. En: VIII

Bibliografía

- Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas , Programa y Resúmenes.-La Habana, 1992.-p 48.**
- Fonseca, R., Hortencia Cardoza, Albina Maestrey y V. Tamayo. Niveles de fertilización fósforica del tomate sembrado en canteros en suelos aluviales de Granma . En: VIII Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes .--La Habana, 1992.-p 40.
- Fresar Teresa, María M Sama, L. Gálvez, Iris Martín y Ramona Hernández. Efecto de métodos de aplicación de *Azospirillum* sp. Sobre el rendimiento y algunos parámetros de calidad del tomate HC 3880. En: MINAG .IIHLD. Producción de cultivos en condiciones tropicales. —La Habana:Liliana, 1998.-p 237.
- Fuentes, J. L. La fertilización en una agricultura alternativa . Hojas Divulgadoras (10):2-23, 1993.
- García Rocha, M. O. y M Grillo. Límites de residuos permisibles de nitratos en los productos vegetales de Cuba. Revista CNIC Ciencias Biológicas 22(1-2):95-97, 1991.
- Giaconi, M. V., M. Escaff. Cultivo de hortalizas.- Santiago de Chile:Editorial Universitaria, 1993.-328 p.
- Gianinazzi-Pearson, V., H. G. Dien, T. Clerver y S. Loquers. Relation between the critica) concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in 17 different vegetables crops and duration of growlh. J. Sci. Food, Agrio 31 (12):1343- 1353,1982.
- Giovanetti, M. y B. Mosse. An evaluation of techniques lo measure vesicular -arbuscular infection in roots. New Phvtoloaist 84:489-500,1980.
- Glandorf, D. Agglutination, adherence and root colonization by *Pseudomonas fluorescens*. Applied and enviromental microbiology 60(6):1726.1733, 1994.
- Goendi, D. H. R. Saraswati, J. A. Adiningsih. Nutrient-solubilizing and aggregate-stabilizing microbes isolated from selected humid tropical soil. Menara-Perkebunan (Indonesia) 63(2):60-66,1995.
- Gómez, O. , A. Hernández y S. Tzokov. Cálculo de la eficiencia económica en la producción de tomate variedad HC 38-80. Aerotecnia de Cuba 24(2):47-51,1992.
- Gómez, R., F. Fernández, Maria E. Dominic, M. Pino, Blanca de la Noval, J. Corbera y G. Cabrera. Principales resultados en la aplicación de biofertilizantes en cultivos de interés económico en Cuba utilizando la tecnología de recubrimiento de las semillas. En. IX Seminario del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.- La Habana, Noviembre, 1996 -p. 72.

Bibliografía

- Gómez, R., R. Iglesia, R. Castro, F. Fernández, Blanca de la Nova y María E. Dominic. **Tecnología para peletizar semillas con biofertilizante. Una nueva opción para sustituir o reducir los insumos químicos para lograr una agricultura más ecológica y sostenible.** En: **II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes.-Villa Clara, 1995.-** P.55.
- Gómez, R., F. Fernández, A. Hernández, M.A. Martínez, R. Castro y D. Suárez. **La biofertilización de los cultivos de importancia económica como parte integral de agricultura sostenible en las condiciones tropicales de Cuba .** En: **III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes.-Villa Clara, 1997.-**p. 75.
- González, A., O. Rodríguez, Hortencia Cardoza, A. Lorenzo y J. Padrón. **Estudio de niveles de N, P₂O₅ y K₂O en el cultivo del tomate variedad Campbell 28.**En: 1,1 Seminario Científico **Técnico de la Estación Experimental "La Renee" Programa y Resúmenes .**—La Habana, 1984.-p. 87.
- González, María de la Caridad. INCA 9-1, nueva variedad de tomate para diferentes épocas de **siembra. Cultivos Tropicales 18(1):82, 1997.**
- Grau, R. Paquete estadístico SPSS/PC.-Santa Clara:UCLV, 1994.-=56 p.
- Greca. M. F. Plantas por nido y fertilización nitrogenada del tomate en los suelos Ferralíticos Cuarcíticos Amarillos. -1991-168 p. Tesis (Doctor en ciencias agrícolas).-INCA, 1991
- Guerrero, E. Micorrizas recurso biológico del suelo.-Colombia: Fondo FEN, 1996.-208 p.
- Guerrero, E., C. Revilla y Emma Lucía. Perspectivas de manejo de la micorrización en ecosistemas naturales. En: Guerrero, E. Micorrizas recurso biológico del suelo.- Colombia:Fondo FEN, 1996.-p. 5-16.
- Guet, G. Agricultura **biologica mediterránea. L'Informatore Agrario 53(45):85, 1997.**
- Guzmán, T. J. Nuevos enfoques agroecológicos. La sostenibilidad como vía alternativa en el desarrollo agrícola de las unidades agrícolas de producción. En: INIFAT. Curso taller **Gestión medio ambiental del desarrollo rural".- Cuba:INIFAT, 1996.-**p. 5-29.
- Hasnain, S., F. Zafar, R. Bilal y K. A. Matik. Characterization of diazotrophs associated with **roots of *Leptochloa fusca* (L) Kunth. Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science 16(1):17-24, 1993.**
- Hass, H., T. N. Taylor y W. Remy. Fungi from the lower Devonian rhynie chart Mycoparasitism. **American Journal of Botany 81:29-37, 1994.**
- Hernández, A. Evaluación de genotipos de yuca (*Manihot esculentum*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en un sistema policultural.—1998.—85p. Tesis (Master en Ciencias Agrícolas) - ISCAH-CEAS, 1998.

Bibliografía

- Hernández, Ana N., Damaris García, Annia Hernández y Mayra Heydrich. Determinación de algunos géneros bacterianos **presentes en la rizosfera** del maíz. **Cultivos Tropicales** 18(3):10-14,1997.
- Hernández, Annia, A. J. Fernández y Ana N. Hernández. Identificación **de cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas copada* aisladas de la rizofera del maíz.** **Cultivos Tropicales** 19(1):5-8, 1998.
- Hernández, Annia, Ana 1. Fernández y Ana N. Hernández. Diagnóstico de *Pseudomonas* sp por **métodos inmunoquímicos**. En: X Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, **Programa y Resúmenes**.-La Habana, 1996.-p. 58.
- Herrera, R. A. Estrategia de funcionamiento **de las micorrizas VA** en un bosque tropical **Biodiversidad en Iberoamerica: Ecosistemas, evolución y procesos sociales**.-Merida:**Máximo Monasterio**, 1995.
- Hídeaki, W. T. Nutricao e **adubacao** do tomateiro estaqueado. En: Evaristo. M, P. D. Castellana y Marta Cristina Pessoa da Cruz. Nutricao y adubacao de hortalicas. Anais do Simposio sobre **nutricao e adubacao** de hortalicas.-**Brasil**:POTAFOS, 1993.-p 302-322.
- IFOAM. What is IFOAM? En: <http://ecoweb.dklifoam>, 1998.
- IHLHD. Memorias 25 Aníversario.-La Habana:Liliana, 1997.-98p.
- Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana : MINAG, 1995.-26 p.
- IPGRI. Diversity for development the new strategy of the intemational plant genetic resources institute.-Italy:IPGRI, 1999.-53 p.
- Jones, J. P., R. E. Stall y T. A. Zitter. Botany and culture. En: Compendium of tomato diseases.- Unit States of American:APS-PRESS, 1997.-p. 2-8.
- Kemmler, G. Potassium nutrition of horticultural crops with special referente lo crop quality. **Fertilizer news**. 33(6):11-23, 1988.
- Kennedy, C. K. Genes in ***Azotobacter venelandii*** involved in cellular **responses** lo fxed nitrogen En: <http://solomon.reusda.gov:80lcrgam/nhVpubs/archive/abstract.98/nitrogen.html>., 1998.-12p.
- Khalii, S., T. E. Loynachan y M. A. Tabatabay. **Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved and unimproved com and soybean cultivars** . **Aaronomy Journal** 86(6):949-958, 1994.
- Kloepper, J. W., R. Lifshitz y R. M. Zablotowilz. **Free-Living bacteria; inocula for enhancing crop productivity.** **Tibtech** 7:39-44, 1989.

Bibliografía

- LePage, B. A., R. S. Currah, R. A. Stockey y G. W. Rothwell. Fossil ectomyconizae from middle Eocene. American Journal of Botany. 84:410-412, 1997.
- Llonin, Desiree, R. Novella, Kalyanne Fernández Blanca de la Noval y 1. De la Providencia. Efecto de la aplicación de fuentes y dosis de fertilización fosfórica en presencia o no de micorrizas arbusculares sobre el desarrollo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en época no óptima. En: XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes. —La Habana, 1998.-p 190.
- Llonin, Desiree. Nutrición mineral y biofertilización con hongos MA en el cultivo del tomate en suelo Ferralítico Rojo compactado. —1999.-66 p. Tesis (Msc en nutrición y biofertilización de las plantas).-INCA, 1999.
- Locasio, L., W. J. Wiltbank, D. P. Gull y D. N. Maynard. Fruit vegetables affected by nitrogen nutrition. En: Hauck, R. D. Nitrogen in crop production.-Madison:ASA-CSSA-SSSA, 1984.-p. 617-641.
- López, F. A. Principios básicos de la postcosecha de frutas y hortalizas con especial énfasis en ajo, cebolla y tomate. En: FAO. Producción, Poscosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate.-Santiago de Chile:FAO, 1992.-p. 225-273.
- López, T. M. Horticultura.- México:Editorial Trillas, 1994.-386 p.
- Maestrey, Albina. Fertilización del tomate cultivado en primavera.-1986.-97 p. Tesis (Candidato a doctor).-ISCAH, 1986.
- Maestrey, Albina, Hortencia Cardoza, A. J. Tremols y R. Gómez. Extracción de nutrientes por el tomate cultivado en primavera 1. Variaciones de las concentraciones de N, p,y K durante el ciclo del cultivo. Ciencia y Técnica en la Agricultura, Suelos y Agroquímica 10(2):7-16, 1987.
- Maestrey, Albina, M. Morales, V. Gálvez y 1. Vázquez. Efecto de la fertilización en la producción de materia seca y en la composición de plantas de tomate cultivadas en suelos afectados por sales. Agrotecnia de Cuba 24(11):59-65,1992.
- Marasi, V. Quale futuro per il mercato del pomodoro da industria . L'Informatore Agrario 52(3):27-29, 1996.
- Maroto, J. V. Elementos de Horticultura general.- Madrid:Ediciones Mundiprensa, 1990.- 342 p.
- Maroto, J. V. Horticultura herbácea especial.- Madrid:Ediciones Mundiprensa, 1992.--p 452.
- Martínez, R. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo.-Cuba:Editorial Científico Técnica, 19W.-1186P.

Bibliografía

- Martínez, R. y B. Dibut.** Los biofertilizantes como pilares básicos de la agricultura sostenible. En: INIFAT. Curso taller ' Gestión medio ambiental del desarrollo rural".- Cuba:INIFAT, 1996.- p63-81.
- Martínez, R., B. Dibut, Irma Casanova y Marisel Ortega.** Acción estimuladora de *Azotobacter chroococcum* sobre el cultivo del tomate en suelo Ferráltico Rojo. Efecto sobre los semillero. Aerotecnia de Cuba 27(1):23-26, 1997.
- Martínez, R. y G. Hernández.** Los biofertilizantes en la agricultura cubana. En: **II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y mesas redondas.**-Villa Clara, 1995.--p 43-47.
- Matamoros, A. C.** El tomate de industria,. **Técnicas y variedades en la mecanización para su recolección.** Agrícola Vergel, 9(108):955-963, 1990.
- Medina, N., María de los A. Pino, Elein Terry y F. Cuevas.** Evaluación de diferentes tipos de microorganismos rizoféricos como biofertilizantes y/o bioestimuladores para el tomate. En: Encuentro Latinoamericano de **Biología Vegetal.**-La Habana, 1998.-p 496.
- Méndez, V. y María E. Ribeiro.** Efeito da aplicacao foliar de fósforo sobre a toxidez de aluminio em plantas de tomate. Revista Brasileira de Fisiología Vegeta 2(2):57-61, 1990.
- Menezes dos Santos, J.** Producción de tomate en América Latina y el Caribe. En: FAO. Producción, Postcosecha, procesamiento y comercialización de ajo, cebolla y tomate.- **Santiago de Chile:FAO, 1992.- p173-215**
- Merryweather, J. y A. Fitter.** Phosphorus nutrition of and obligately mycorrhizal plant treated with the fungicide benomyl in the field. New Phytologist 132:307-311, 1996.
- Mesa, A., A. Casanova y P. L. Quintero.** La rotación de los cultivos en los sistemas de agricultura sostenible. En: **II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y Mesas Redondas.**Villa Clara, 1995.-p 27.
- Metwally, A. M.** Tomate. Curso sobre producción de hortalizas .-Egipto: Centro Egipcio Internacional para la Agricultura , 1992.-p.73-79.
- Miele, S.** Nutrizione e ruolo dei microelementi. L'informatore Agrario 52(10):43-46,1996.
- Miranda, Sandra, Annia Hernández, J. Pérez, Ana 1. Fernández y J. Santander.** Producción y purificación de sideróforos a partir de la cepa *Pseudomonas fluorescens* j-143. En: **XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas . Programa y Resúmenes.- La Habana, 1998.— p 189.**
- Moens, Sara.** Genetic and Biochemical analysis of the flagellation of *Azospirillum brasilense* sp 7. Dissertatlones de aariculture 7:5-8, 1996.

Bibliografía

- Mohamed, A., J. H. Sokkary y T. C. Tucker. Growth and chlorophyll mineral and total amino acid composition of tomato and wheat plants in relation to nitrogen and iron nutrition. Growth and nutrient uptake. Journal of Plant Nutrition 10(6):699-712, 1987.
- Morales, C., Shagarodsky T., mes Reynaldo, Martha Álvarez, C. Moya, B. Martínez, S. Pérez, Ursula Ortiz y J. Rodríguez. Caracterización de cultivares foráneos de tomate durante dos años. Cultivos Tropicales 17(1):54-59, 1996.
- Morton, J. B., S. P. Bentivenga, J. D. Bever. Discovery, measurement and interpretation of diversity in symbiotic endomycorrhizal fungi (*G/omales*, *Zygomycetes*). Canadian Journal of Botany 73(1):25-32, 1995.
- Moya, C., Marta Alvarez, M. Varela y María E. Mesa. Estimaciones de parámetros genéticos estadísticos en tres grupos de variedades de tomate cultivado en organopónico. Cultivos Tropicales 17(3):67-71, 1996.
- Moya, N., Ana Julia Rondon, D. Ruiz, J. L. Alvarez, Martha Laurencia, Ana Margarita Castro y G. González. Tecnología para la producción industrial de *Azospirillum* sp. En: II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes. Villa Clara, 1995. — p60.
- Moyano, Amelia. Carencias nutricionales en el cultivo del tomate. Agrícola veme 9(108):927-928, 1990.
- Murphy, S. C. Non Leguminous Nitrogen fixation in a hidroponic system and evaluation of potential association. En: <http://www.public.iastate.edu/~smurfdog/azospirillum.html>, 1998.-16p.
- Novela, R. y N. Medina. La biofertilización con hongos micorizógenos como fuente de nitrógeno para la producción de tomate. En: XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.-La Habana, 1998.-p. 190.
- Nuez, F. El cultivo del tomate. —España: Ediciones Mundi Prensa, 1995. —793 p.
- Onsuna, J. A. Resultados de la investigación sobre tomate para uso industrial en el estado de Morellos. —México: Secretaria de agricultura y Recursos Hidráulicos, 1983.-16 p.
- Palazzo, D., G. Capotorti, F. Montemurro y F. Sunseri. Risposte produttive di culture erbacee al inoculo con Azospirillo. L'Informatore Agrario 53(12):53-55, 1997.
- Patrikin, O. G., J. Dobereiner y D. K. Jain. Sites and processes of association between diazotrophs and grasses. Canadian Journal of Microbiology 29:900-915, 1983.
- Pazos, Mabel, R. Bally, J. Haurat, C. Jacoud y G. Alexander. Aislamiento, purificación e identificación de cepas bacterianas fijadoras de nitrógeno del género *Azospirillum* predominantes en un suelo arrocero de Cuba. En: X Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Programa y Resúmenes. —La Habana, 1996.-p80.

Bibliografía

- Pedroza, H.** Influencia de la fertilización y la densidad de siembra en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del tomate industrial (UC-82) en el valle del Sebaco -1984. --69p. Tesis (Ingeniero agrónomo).—Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 1984.
- Peet, Mary.** Sustainable practices for vegetables in the south. Tomato Botany. En: <http://www.cais.ncsu.edu/sustainable/peet/profiles/bottom.html>. , 1998.-5 p.
- Phillips, J. M. y D. S. Hayman.** Improve procedures for clearing roots and staining parasitic in vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. **55**:158-161, 1970.
- Porras, A., E. Z. De la Vega, María Luisa Soriano y M. Dugo.** Recolección del tomate: Principios agronómicos y técnicos. Hojas divulgadoras (2):1-32, 1990.
- Rivas-Platero, G. G.** Micorrizas. Manejo integrado de plagas, Hola Técnica, (20):1-3, 1997.
- Rodríguez, M de J., G. Granda y M. Pérez.** Extracción de macroelementos por el tomate en áreas de producción. En **II Seminario Científico Técnico Estación Experimental de Nutrición Vegetal "La Renee"**. Programa y Resúmenes.- La Habana, 1984.--p 114.
- Rodríguez, R.** Las técnicas agronómicas en la regulación de las enfermedades de las plantas. Agrícola Vergel (108):976:980, 1990.
- Roy, R. N.** Integrated plant nutrition systems En: Tandon, H. L. S. Fertilizer Organic Manure, recyclable wastes and biofertilizer. Components of integrated plant nutrition.-New Delhi:Fertilizer Development and Consultation Organization, 1992.-p. 1-11.
- Ruíz, Josefa, R. Gómez, D. Lara y Blanca de la Noval.** Estudios de dosis de ECOMIC en el recubrimiento de semillas de tomate, maíz y soya. Cultivos Tropicales 18(1):13-15, 1997.
- Ruiz, L. A.** Uso combinado de las micorrizas, el *Azotobacter* y la fosforina como una alternativa para la fertilización de las hortalizas en Cuba.- La Habana:MINAGRI, 1994.
- Santander, J. L., Annia Hernández, Ana N. Hernández y Marisela Roque.** Caracterización de cepas bacterianas en cuanto a la producción de ácido indol acético En **XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes.-La Habana, 1998.-p. 187.**
- Santiago, J., M. Mendoza y F. Borrero.** Evaluación del tomate en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Agronomía mesoamericana 9(1):59-65, 1998.
- Sattler, S. M. y M. López.** Effects of increasing levels on growth and yield of tomato. Soil Science and Plant Analysis 24(15-16):2807-2823, 1994.

Bibliografía

- Sattie, S. M., A. A. Ibrahim, y S. M. Al-Kindi. Enhancement of salinity tolerance in tomato implications of potassium and calcium flowering and yield. Soil Science and Plant Analysis 25(15-16):2825-2840, 1994.
- Sen, B. Potassium and disease resistance in fruit vegetable crops. Potash Review (4):1-7, 1991.
- Shashar-Hill, Y., P. E. Pfeffer, P. E. Douds y D. Osman. Partitioning of intermediary carbon metabolism in VAM colonized leek. Plant Physiology 108:7-15, 1995.
- Silva, A. A. Distúrbios nutricionais em tomateiro excesso e deficiencia de nutrientes perjudican a cultura. Agropecuaria Cartarinense 2(2):41-46, 1989.
- Siqueira, J. O. y A. A. Franco. **Biología de suelo: Fundamentos y perspectivas.-** Brasilia:MEC, 1988.-224 p.
- Siviero, P. Una capagna pomodoro da dimenticare. L'Informatore Agrario 52(3):33-36, 1996.
- Siviero, P., A. Trifiro, L. Sandei y M. Franceschini. Il carattere "viscosita" in alcune linee di pomodoro. L'Informatore Agrario 52(3):37-39, 1996.
- Smith, S. E. Transfer of phosphate from fungus to plant in VA mycorrhiza: Calculation of the area of symbiotic interface and of fluxes of p. from two different fungi to *Allium porrum*. The New Phytologist 127:93-99. 1994.
- Spiegel, Y., E. Cohn y V. Kafkati. The influence of ammonium and nitrate nutrition of tomato plants on parasitism by the root-Knot nematode. Phytoparasitica 10(1):33-40, 1982.
- Subbiah, K. Studies on the effects of N, K and CaCl₂ on fruit cracking, skin thickness and density of tomato. Madras Agricultural Journal 81 (3):138-140, 1994.
- Summer, M. E. Crop response to *Azospirillum* inoculum. Adv Soil. Sci. 12:53-124, 1990.
- Tandon, H. L. Fertilizer **Organic Manure, recyclable wastes and biofertilizer.** Components of integrated plant nutrition.-New Delhi :Fertilizer Development and Consultation Organization, 1992.-148 p.
- Taylor, T. N., W. Remy, H. Hass y H. Kerp. Fossil arbuscular mycorrhizae from the early Devonian. Mycologia 87:560-573, 1995.
- Teny, Elein, María de los A. Pino y Annia Hernández Contribución de *Azospirillum brasilense* UAP-154 en la calidad de posturas de tomate. Cultivos Tropicales 17(3):56-59, 1996.
- Terry, Elein, María de los A. Pino y Nicolas Medina. Efectividad agronómica de Azofert y Ecomic en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Cultivos Tropicales 19(3):33-37, 1998.

Bibliografía

- Terry, Elein, María de los A. Pino y Ana N. Hernández **Efectividad agronómica de *Azospirillum bmsllense* en posturas de tomate**. En: **III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y Resúmenes**.-Villa Clara, 1997.-p. 76.
- Treto, Eolia y N. Arzola. La nutrición **de las plantas por vía de la agricultura orgánica**. En: **1 Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Conferencias y mesas redondas**. Villa Clara, 1993.-p. 23-28.
- Tumbull, LV., H. J. Ogle, M. A. Stirling y J. M. Dart **Preliminary investigations into the influence of *P. topacio* on infection and survival of protease in *Phytophthora cinnamomi* infected potting milk**. *Scientia Horticulturae* 52(3):257-263, 1992.
- Vallejo, F. A. Estudio **Genético para la creación de nuevos cultivares de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mili, adaptados a las condiciones de Colombia**. *Acta Agronómica* 44 (1/4):163-173, 1994.
- Vende, A. **Histochemical and genetic analysis of the *Azospirillum brasilense* wheat root association**. *Dissertationes de agriculture* 238:1-8, 1994.
- Vicente, J., H. Rene. **Fertilidad do solo e rendimento do tomateiro con estufa de plastico**. *Ciencia Rural*, 28(2):229-233, 1998.
- Villareal, R. **Un cultivo mundial. Tomate**.-San José, **Costa Rica**:ILCA, 1982.-184 p.
- Walker, C. **Systematic and taxonomy of the arbuscular endomicorrizal fungí (Glomales) a possible way** *Agronomie*.12(10):887-897, 1992.
- Wilcox, G. E. **Tomate . En: Nutrient deficiencies and toxicities in croe plants**.- USA:APS PRESS, 1996.-p.137-141.
- Yagodin, B., P. Sminov y A. Petersburski. **Agroquimica Tomo 1. Moscú:Editorial MIR, 1985.-416 p.**