

EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN *Azotobacter* spp. - MATERIA ORGÁNICA Y FORMAS DE INOCULACIÓN EN AJÍ DULCE (*Capsicum chinense*).

Evaluation of the interaction
Azotobacter spp. - Organic matter and inoculation forms in sweet pepper
(*Capsicum chinense*).

Matheus, Jesús E.¹; Briceño, Glenda Y.²; Montilla, Leidimar J.³ y Simancas, Darwin⁴.

Laboratorio de Investigación de Suelos, Departamento de Ciencias Agrarias, Núcleo "Rafael Rangel", Universidad de Los Andes. Trujillo.

¹jmatheus@ula.ve, 0426-9798291; ²glenda_yeni@hotmail.com;

³montilla_leidi@hotmail.com. ⁴darwinloquillo@hotmail.com

Inicio de la investigación: enero 2013; finalización: julio 2013

RESUMEN.

Se realizó una investigación en el Municipio Trujillo, para evaluar el efecto de la inoculación (inmersión, aspersión) del biofertilizante *Azotobacter* spp y la interacción con materia orgánica en Ají Dulce en variables fitométricas, rendimiento, índice de efectividad de la inoculación (IEI) y la eficiencia agronómica relativa (EAR); en un diseño de bloques al azar se aplicaron seis tratamientos: testigo, inmersión con MO, inmersión sin MO, aspersión con MO, aspersión sin MO y fertilización química. Los resultados determinaron diferencias significativas, observándose que la materia orgánica y la doble inoculación por aspersión influenciaron positivamente el establecimiento de *Azotobacter* spp, reflejándose en las variables consideradas; el IEI y la EAR ratificaron este efecto.

Palabras Clave: Materia orgánica, *Azotobacter* spp., ají dulce, inoculación.

ABSTRACT

An investigation was conducted in the Municipality of Trujillo, to evaluate the effect of inoculation (immersion, spraying) of biofertilizer *Azotobacter* spp and interaction with organic matter (MO) in Sweet Pepper in fitometric variables, performance, effectiveness of inoculation index (IEI) and relative agronomic efficiency (EAR). In a randomized block design six treatments were applied: witness, MO immersion, immersion without MO, MO spray, spray without MO and chemical fertilization. The results showed significant differences, showing that organic matter and double spray inoculation positively

influenced the establishment of *Azotobacterspp*, reflected in the variables considered, the IEI and EAR ratified this effect.

Key words: Organic matter, *Azotobacter* spp, sweet pepper, inoculation

INTRODUCCIÓN

El concepto de desarrollo de la sociedad sustentado en el crecimiento económico, la creación de infraestructura y el acelerado proceso de globalización, así como una agricultura bajo el enfoque de la revolución verde ha producido el deterioro de componentes básicos ambientales en todos los ámbitos y particularmente en las comunidades agrícolas rurales; es evidente y significativo el deterioro de los recursos agua, suelo y aire, así como la pérdida de las condiciones favorables para el proceso de producción agrícola y la disminución de la calidad de vida.

Tradicionalmente los principios que rigen el manejo de la fertilidad de los suelos y el suministro de nutrimentos para los cultivos, se ha centrado en el uso de fertilizantes químicos sintéticos; si bien es cierto, esta tecnología ha permitido el incremento del rendimiento de los cultivos, su manejo y aplicación de manera inadecuada ha generado consecuencias negativas como salinización, compactación, disminución de la actividad de microorganismos involucrados en la nutrición vegetal y otros aspectos de la fertilidad como la baja eficiencia en la absorción de los nutrientes, lo cual incrementa la dependencia de fertilizantes y los costos de producción, además de los efectos adversos para la salud del hombre (López y Lorente, 2010).

Ante esta realidad en los últimos años han tomado fuerza diversas corrientes de producción bajo un enfoque agroecológico en pro de desarrollar una agricultura sustentable como respuesta a la degradación antrópica del ambiente que se fundamenta en un modelo de producción de bajos insumos, inversiones y costos, ecológicamente equilibrada y productiva; para ello, es necesario la eliminación progresiva del uso de productos agroquímicos y la sustitución por otros alternativos u orgánicos, además, la racionalización y mejoramiento de la eficiencia de los insumos internos como la biota del suelo, estrategias de manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas (Altieri y Nicholls, 2007; Martínez *et al.*, 2008)

En tal sentido, el manejo de la fertilidad de los suelos bajo este enfoque promueve el establecimiento de sistemas integrales de nutrición vegetal (SINV) que implican el uso de distintas alternativas para mantener y/o restituir los nutrimentos para los cultivos mediante abonos orgánicos, uso de enmiendas, prácticas agronómicas y la incorporación de microorganismos benéficos que en forma natural hacen vida en los suelos. A través de la biotecnología se han desarrollado una serie de bio insumos entre los cuales se pueden señalar los biocontroladores, biofertilizantes y bioestimuladores del crecimiento vegetal que actualmente son elaborados por La Red de Laboratorios de Bioinsumos del Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI). Los biofertilizantes se definen como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes, que hacen disponibles a las plantas sustancias nutritivas o promotoras del crecimiento mediante su actividad biológica.

El uso de productos de base biológica constituye una alternativa para desarrollar el potencial productivo de los suelos sin agredir al medio ambiente. Como una opción distinta a los fertilizantes químicos está la posibilidad de utilizar bacterias del suelo, que como parte de su metabolismo incrementan la fertilidad y benefician a las plantas mediante su acción promotora del crecimiento, fijación del nitrógeno, la solubilización de fosfatos y la producción de hormonas y sustancias fungistáticas; constituyen una experiencia viable resultado de la biotecnología que garantiza una productividad biológica, económica y ecológica (Medina y López, 2010)

Las bacterias del género *Azotobacter* spp constituyen el "ingrediente activo" de uno de estos biofertilizantes; son bacterias de vida libre que fijan asimbióticamente nitrógeno, al menos, 10 mg de N₂ por gramo de carbohidrato consumido (Holt, 2000), además de estimular el desarrollo del sistema radicular y contribuir en la solubilidad y conductividad de nutrientes como los fosfatos; igualmente, realizan procesos de biodegradación de plaguicidas como el endosulfán.

Este producto puede considerarse como un biofertilizante con un amplio espectro de aplicación, se ha empleado en rubros como maíz trigo, zanahoria, papa, algodón, ají dulce, tomate, café, parchita, entre otros (Lozada y Rivas, 2010), puede ser aplicado al suelo o a la semilla, asociándose directa o indirectamente al sistema radicular de las plantas, capaz de sustituir entre 30- 40% el fertilizante nitrogenado e incrementar el rendimiento de los cultivos (Chirinos y Montilla, 2006); además estas bacterias tienen la ventaja de aplicarse en cualquier etapa de desarrollo de la planta, antes o durante la siembra, así como favorecer la descomposición de la materia orgánica agregada al suelo.

Como consecuencia de las características y función de estas bacterias en los suelos y el avance de la biotecnología para aislar diferentes cepas de *Azotobacter* spp, reproducirlas y concentrarlas para luego ofertarlas como productos biofertilizantes, se han realizado trabajos de investigación, en muchos casos, orientados a la identificación de cepas, su caracterización, aislamiento y reproducción (Escobar *et al.*, 2011 y Delgado *et al.*, 2003), pero también para evaluar su efecto en el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Araujo *et al.*, 2010), así como dosificación, forma de aplicación y su interacción con fuentes orgánicas (Constantino *et al.*, 2011; Egas, 2010; Lozada y Rivas, 2010; Morales *et al.*, 2009).

El establecimiento de las bacterias *Azotobacter* spp en los suelos es afectado por las condiciones de la rizósfera, el estado fisiológico y vigor de las plantas en desarrollo, régimen hídrico, aireación, temperatura (mesófilas: 25 y 35 °C) y prácticas de manejo agronómico, los cuales son factores de selección de la dinámica poblacional bacteriana. Se ha demostrado que las características del suelo y las condiciones de clima afectan su distribución, incluyendo el contenido y naturaleza de las fuentes de carbono (materia orgánica), fósforo y microelementos, la humedad, la relación de C/N y el pH (Reyes *et al.*, 2008; Tejera *et al.*, 2005).

López y Llorente (2010) y Tejera *et al.*, (2005), señalan que aunque el género está distribuido en una amplia gama de suelos, no se desarrolla bien en los muy ácidos y baja fertilidad natural, ya que disminuyen las cantidades de N₂ fijado llegando a causar la inhibición del metabolismo; igualmente, su actividad se ve afectada por la presencia de organismos antagonicos en el medio y la aplicación de altos niveles de fertilizante.

Azotobacter fija el nitrógeno atmosférico en la rizósfera, utilizándolo para la síntesis de proteínas celulares, las cuales son mineralizadas en el suelo después de la muerte de las células contribuyendo así a la disponibilidad de nitrógeno para los cultivos; la fijación de nitrógeno es un proceso que demanda gran cantidad de energía por lo que se requiere una eficiente fosforilación oxidativa y carbón para su metabolismo a partir de sustancias simples o compuestos de carbono naturales; por ello la sobrevivencia y crecimiento de estas bacterias, está asociada a la disponibilidad y acceso a fuentes de carbono en los suelos que garanticen el suministro de la energía necesaria; pueden utilizar carbohidratos, ácidos orgánicos, alcoholes e incluso algunos compuestos volátiles aún en estado gaseoso (Reyes *et al.*, 2008).

La efectividad de la inoculación y establecimiento de *Azotobacter* spp, se incrementa por la aplicación de materia orgánica en el suelo dependiendo en gran medida de la presencia de fósforo y potasio; la carencia de ella es un factor limitante en la proliferación de estas bacterias; los efectos benéficos del humus sobre el desarrollo de *Azotobacter* y su fijación de nitrógeno han sido reportados por Reyes y Valery, (2007). Dentro del grupo de los fijadores de vida libre el género *Azotobacter* spp, presenta la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico cuando en el suelo existen suficientes cantidades de materia orgánica, ya que en suelos poco fértiles con escaso contenido de materia orgánica no se obtiene efecto agronómico positivo. Es importante señalar que el efecto de diferentes fuentes de carbono sobre la fijación de N² por esta especie depende de la estructura de las sustancias orgánicas y de las reservas de energía química utilizable que contiene (López y Llorente, 2011; Tejera *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2008).

Son pocas las referencias sobre el estudio de la interacción *Azotobacter* materia orgánica que constituyan antecedentes a la presente investigación; en un trabajo previo, Lozada y Rivas (2010), encontraron poca efectividad a la inoculación cuando se aplicaron dosis elevadas de *Azotobacter* spp (40%) en un suelo con deficiencia de materia orgánica, indicando que debido a las limitaciones nutricionales del suelo, las bacterias no lograron un nivel de sobrevivencia y establecimiento adecuado y recomendaron la aplicación de materia orgánica para mejorar la efectividad de la inoculación.

Los aspectos señalados sirvieron de referencia para plantear como objetivo general de esta investigación: evaluar el efecto de la aplicación de *Azotobacter* spp en el cultivo de Ají Dulce (*Capsicum chinense*) y la interacción con la materia orgánica en una parcela experimental, ubicada en el sector Las Canoas del municipio y estado Trujillo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El trabajo de investigación fue realizado en una parcela ubicada en el sector Las Canoas del municipio Trujillo, en la micro cuenca Alto Castán, al sur-oeste del estado Trujillo, entre las coordenadas 70° 25' 51" longitud oeste y 09° 18' 17" latitud norte a 1628 msnm, con una temperatura de 15°C en los meses fríos (noviembre-enero) y 27°C en los meses cálidos (junio-agosto). Se delimitó el área experimental y se realizó un muestreo de suelos para el diagnóstico de la fertilidad en el Laboratorio

de Servicio de Análisis de Suelos del Núcleo "Rafael Rangel" de la Universidad de Los Andes, Trujillo. En el cuadro 1 se presentan los resultados de esta caracterización.

Tabla 1. Caracterización del suelo de la unidad experimental

Parámetros	Valor
Profundidad de la muestra (cm.)	0 – 20
% de Arena (a)	48
% de Limo (L)	38
% de Arcilla (A)	14
Clase Textural	Franco
pH 1: 2.5 en agua	5,4 Ma
C.E. 1:2.5 (dS m ⁻¹)	0,28 N
% de Materia orgánica	3,50 M
% de Carbono orgánico	1,81 M
% de nitrógeno	0,17 M
Fósforo (mg kg ⁻¹)	46 A
Potasio (cmol(+))kg ⁻¹)	188 A
Calcio (cmol(+))kg ⁻¹)	960 M
Magnesio (cmol(+))kg ⁻¹)	800 MA

Notas explicativas: Ma: medianamente ácido; N: normal;
M: medio; A: alto y MB: muy bajo.

Fuente: Laboratorio de Servicios de Análisis de Suelos. N.U.R.R- U.L.A. Trujillo

En un modelo estadístico de bloques completos al azar se aplicaron seis tratamientos y cuatro réplicas de cada uno para evaluar dos formas de inoculación y su interacción con la materia orgánica. Los tratamientos fueron:

- T0: Testigo (suelo en condiciones naturales, sin materia orgánica, sin fertilización).
- T1: Inmersión + materia orgánica (*).
- T2: Inmersión sin materia orgánica.
- T3: Aspersión + materia orgánica (*).
- T4: Aspersión sin materia orgánica.
- T5: Fertilización química (**).

(*) Se incrementó el nivel de materia orgánica del suelo hasta 5%.

(**) Las recomendaciones sobre la fertilización química fueron establecidas según las condiciones del suelo y las exigencias nutricionales del cultivo por el Laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos del NURR, dichas recomendaciones correspondieron a los siguientes niveles: 110 kg/ha N, 50 kg/ha P₂O₅ y 50 kg/ha K₂O. A los tratamientos con *Azotobacter* spp sólo se les aplicó fósforo y potasio, según lo indicado anteriormente.

El biofertilizante empleado es un producto cuyo "ingrediente activo" son bacterias *Azotobacter* spp con una composición garantizada equivalente igual o mayor a 1x10⁹ ufc/ml, formulado y elaborado por la Red Nacional de Laboratorios

Bolívar Conservacionista, adscrita al Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI) del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras. La dosis de aplicación del inoculo fue de 20% tomando como referencia los resultados de investigaciones anteriores realizadas en el Núcleo "Rafael Rangel"-ULA (Lozada y Rivas, 2010), así como también trabajos realizados en Cuba (Delgado *et al.*, 2003).

Se empleó como cultivo indicador Ají Dulce (*Capsicum chinense*) var. Margariteño y se evaluaron dos formas de inoculación tomando como referencia trabajos realizados por Domínguez *et al.*, (2001) y Constantino *et al.*, (2011). Para el método por inmersión se sumergió la raíz de las plántulas durante 30 minutos al momento del trasplante en una solución de *Azotobacter* en una concentración de 20%; en cuanto a la aspersión, se realizaron dos aplicaciones de la solución de *Azotobacter* (20%) incorporando 10 ml al momento del trasplante y una segunda aplicación de 10 ml 15 días después del trasplante colocando el producto en la base y alrededor de la planta (Constantino *et al.*, 2011).

Cada una de las parcelas experimentales constó de tres hileras con 5 plantas espaciadas a 1,0m entre surcos y 0,80m entre plantas con un área total de 11,25 m²; se consideró como parcela útil el surco central evaluándose 3 plantas por parcela experimental (2.40 m²), manteniéndose para efecto de borde las hileras dispuestas a cada lado.

Con respecto a las variables, por ser un trabajo no destructivo, solo se evaluaron 2 variables fitométricas: altura de la planta (cm) y el diámetro del tallo (mm); además se evaluó el rendimiento agrícola kg/ha y las variables de calidad de los frutos diámetro ecuatorial y polar de los frutos. Recopilada la información de campo el análisis de los datos fue efectuado empleando el paquete estadístico InfoStat (versión libre, 2011).

Se determinaron los índices:

Eficiencia Agronómica Relativa (EAR): compara la eficiencia de los tratamientos inoculados con respecto al tratamiento con fertilización química según la siguiente ecuación:

$$EAR = \frac{\text{rendimiento biofertilizante} - \text{rendimiento testigo}}{\text{rendimiento fertilizante químico} - \text{rendimiento testigo}} \times 100$$

Índice de Efectividad de la Inoculación (IEI): mide de forma porcentual, la efectividad de los tratamientos inoculados con respecto al tratamiento testigo absoluto (Escobar y otros, 2011).

$$IEI = \frac{\text{tratamiento con inoculación} - \text{control sin inoculación}}{\text{control sin inoculación}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El análisis estadístico realizado a los valores obtenidos en el ensayo, muestran

diferencias significativas ($Pd^{0,05}$) en el comportamiento de las variables evaluadas (Cuadro 2).

Tabla 2. Efecto de las formas de inoculación con *Azotobacter* spp y la interacción con la materia orgánica sobre las variables evaluadas en el cultivo de Ají Dulce.

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Rendimiento (Kg/ha)	Tamaño del fruto	
				Diám. polar (cm)	Diám. ecua. (cm)
T3: Aspersión + MO.	21,50 a	1,50 a	5568,61 a	2,82 a	2,53 a
T5: Fert. Química	21,34 a	1,52 a	6440,40 a	2,85 a	2,56 a
T1: Inmersión + MO.	19,43 b	1,32 ab	5324,37 ab	2,72 b	2,42 b
T4: Aspersión sin MO.	16,16 c	1,24 b	4261,89 b	2,66 c	2,37 b
T2: Inmersión sin MO.	15,57 c	1,19 bc	3888,96 b	2,56 d	2,18 c
T0: Testigo	13,33 d	1,15 c	3291,25 c	2,38 e	2,10 d

Valores seguidos de la misma letra, no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($Pd^{0,05}$)

La interpretación del análisis efectuado determina que aquellos tratamientos en los cuales se incorporó materia orgánica al suelo para incrementar su contenido hasta 5% (T3 y T1) y la fertilización química convencional (T5), fueron superiores a aquellos en los que no se aplicó materia orgánica (T4 y T2), los que a su vez superaron al tratamiento testigo (T0). Los tratamientos T3, T1 y T5 no se diferenciaron estadísticamente con excepción del tratamiento T1 para la variable altura de planta. Similar comportamiento se observó en el tamaño de los frutos, los cuales fueron más grandes en los tratamientos con fertilización química (T5) y cuando se aplicó *Azotobacter* spp con materia orgánica (T3 y T1), aunque en estas variables sí se observan diferencias estadísticas entre ellos.

En cuanto a la variable tamaño de los frutos, el tratamiento con fertilización química (T5) y la incorporación de materia orgánica *Azotobacter* spp por el método de doble inoculación por aspersión (T3), produjeron los frutos más grandes y fueron estadísticamente diferentes a los demás tratamientos; esto, probablemente esté asociado al mayor rendimiento (kg/ha) obtenido en estos tratamientos.

Los resultados obtenidos muestran una interacción favorable entre la materia orgánica y la incorporación de *Azotobacter* spp, siendo relevante referir la importancia de la materia orgánica para el establecimiento de dicho organismo, coincidiendo con Agudelo y Casierro-Posada (2004), Domínguez *et al.*, (2001) quienes afirman que es indudable el efecto favorable de la aplicación de materia orgánica, en cualquiera de sus formas al suelo, ya que además de contribuir en el establecimiento y sobrevivencia de las bacterias, aporta elementos minerales, mejora sustancialmente las propiedades fisicoquímicas del mismo, mediante la liberación de radicales orgánicos, lo cual aunado al suministro de nutrimentos redundará en un incremento del rendimiento del cultivo. Estas afirmaciones explican los resultados obtenidos en este trabajo de investigación. Igualmente Reyes y Valery, (2007), señalan que la efectividad de la inoculación y establecimiento de *Azotobacter* spp, se incrementa

por la aplicación de materia orgánica en el suelo, debido en gran medida de la presencia de fósforo y potasio.

Por otro lado, los resultados indican que la fertilización química convencional cuando se aplicó siguiendo recomendaciones técnicas, suplió los requerimientos nutricionales del cultivo; sin embargo, además indican que la incorporación de *Azotobacter* spp también aportó parte del nitrógeno requerido por el cultivo ya que estos tratamientos (T1, T2, T3 y T4) superaron, en mayor o menor grado al tratamiento testigo; resultados similares han sido reportados por Escobar *et al.*, (2011), Lozada y Rivas (2010), Martínez *et al.*, (2008) y Reyes y Valery, (2007), quienes señalan que el efecto que ejerce *Azotobacter* spp sobre los parámetros morfo fisiológicos y el desarrollo de cultivos hortícolas no solo se debe a su capacidad nitró fijadora sino a que también tiene acción como bioestimulante ya que en sus excreciones metabólicas se liberan ciertas proteínas y enzimas que pueden producir modificaciones fisiológicas y metabólicas favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Índice de efectividad de la inoculación (I.E.I) y eficiencia agronómica relativa (EAR) para la variable rendimiento.

Índice de efectividad de la inoculación mide de forma porcentual, la efectividad de los tratamientos inoculados con respecto al tratamiento testigo, dándole a éste un valor relativo de 0% (Escobar *et al.*, 2011). La E.A.R refleja en términos relativos (porcentualmente) la eficiencia expresada a través del rendimiento (kg/ha) de los tratamientos a los cuales se les incorporó el biofertilizante (T1, T2, T3 y T4) con respecto al tratamiento con fertilización química convencional (T5) que se emplea como valor referencial (100%). En las figuras 1 y 2 se expresa gráficamente el resultado de estos indicadores.

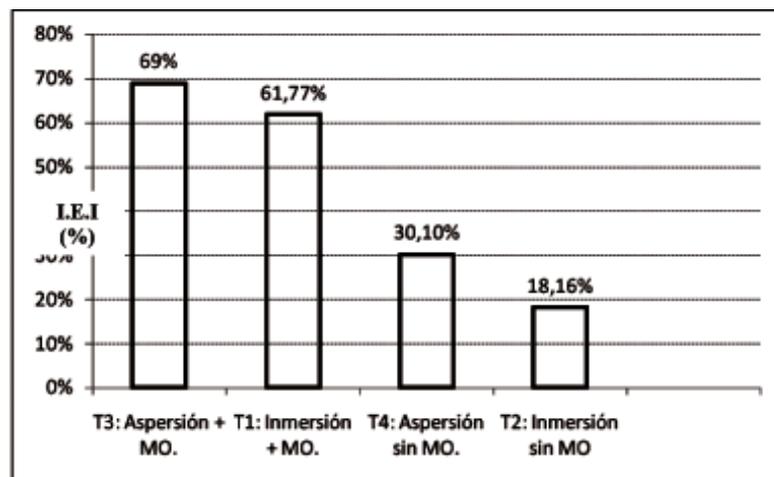


Fig. 1: Índice de efectividad de la inoculación (I.E.I) para la variable rendimiento (kg/ha)

Se observa (fig. 1) que los tratamientos con *Azotobacter* spp y materia orgánica (T3 y T1) produjeron un rendimiento relativo de 69 y 61,77 % respectivamente con relación al tratamiento T0, mientras que aquellos en los cuales no se incorporó materia orgánica (T4 y T2) apenas superaron al testigo en 30,10 y 18,16 %. Estos valores reflejan lo señalado anteriormente ya que la mayor efectividad de la inoculación se obtuvo cuando se incorporó materia orgánica al suelo.

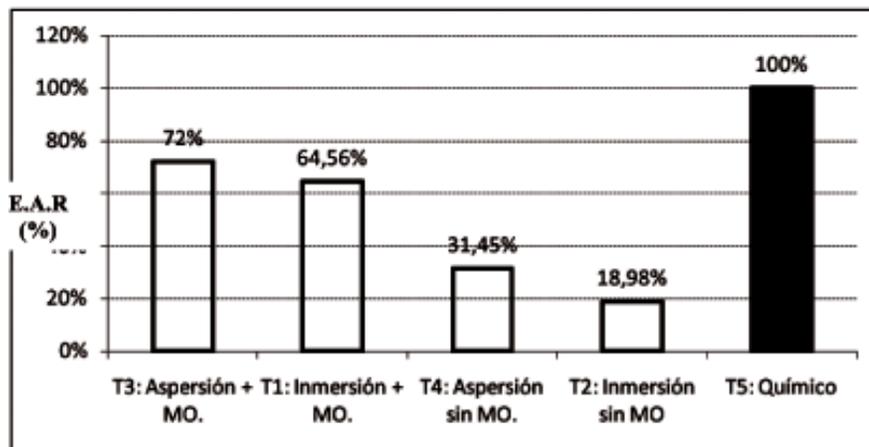


Fig. 2: Eficiencia Agronómica Relativa (E.A.R) para la variable rendimiento (kg/ha)

Con respecto a la E.A.R (fig. 2) se aprecia que los tratamientos con materia orgánica y *Azotobacter* spp aplicado por aspersión e inoculación (T3 y T1) alcanzan valores de eficiencia en rendimiento equivalentes al 72,00 y 64,56 % respectivamente con respecto al tratamiento fertilizado químicamente (T5), siendo estos muy superiores a aquellos en los que no se incorporó materia orgánica (T4 y T2) que apenas alcanzaron valores referenciales de 31,45 y 18,98 % del rendimiento obtenido en T5. Esta respuesta determinada en los indicadores señalados, evidencia claramente el efecto positivo de la incorporación de materia orgánica como práctica agronómica para contribuir en el establecimiento y colonización de las bacterias en los suelos, además del aporte favorable desde el punto de vista físico-químico ya señalado (Lozada y Rivas, 2010; Escobar *et al.*, 2011).

En cuanto a la forma de aplicación de *Azotobacter* spp, la doble inoculación por aspersión (T3 y T4) dio mejores resultados para el establecimiento y sobrevivencia de las bacterias en los suelos, ya que la respuesta en las variables evaluadas fue superior que cuando se aplicó por inmersión (T1 y T2) aunque en algunas variables, particularmente cuando no se aplicó materia orgánica, no hubo diferencias significativas desde el punto de vista estadístico. Resultados similares fueron reportados en los trabajos de investigación realizados por Constantino *et al.*, (2011).

Finalmente, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación ratifican la importancia del uso combinado de distintas fuentes de nutrimentos y prácticas agronómicas como está planteado en los Sistemas Integrados de Nutrición para el manejo de la fertilidad de los suelos.

CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos se concluye que los tratamientos en los cuales se incorporó materia orgánica al suelo (T3 y T1) y la fertilización química convencional (T5), fueron superiores a aquellos en los que no se aplicó materia orgánica (T4 y T2) y estadísticamente estos tres tratamientos no fueron diferentes. Se evidenció una interacción favorable entre la incorporación de *Azotobacter* spp y la materia orgánica para el establecimiento y sobrevivencias de dicho organismo ya que constituye una fuente importante de energía, fósforo y potasio necesarios e indispensables para estos microorganismos benéficos.

La fertilización química convencional, cuando se aplicó siguiendo recomendaciones técnicas, suplió los requerimientos nutricionales del cultivo; sin embargo, la incorporación de *Azotobacter* spp también aportó parte del nitrógeno requerido por el cultivo ya que estos tratamientos (T1, T2, T3 y T4) superaron, en mayor o menor grado al tratamiento testigo.

Los tratamientos con *Azotobacter* spp y materia orgánica (T3 y T1) produjeron un rendimiento relativo (I.E.I) de 69 y 61,77 % respectivamente con respecto al tratamiento T0 y una eficiencia agronómica relativa (E.A.R) que alcanzó valores en rendimiento, equivalentes al 72,00 y 64,56 % respectivamente con respecto al tratamiento fertilizado químicamente (T5). Esta respuesta, evidencia claramente el efecto positivo de la incorporación de materia orgánica como práctica agronómica para contribuir en el establecimiento y colonización de las bacterias en los suelos, además del aporte favorables desde el punto de vista físico-químico.

En cuanto a la forma de aplicación de *Azotobacter* spp, la doble inoculación por aspersión (T3 y T4) dio mejores resultados para el establecimiento y sobrevivencia de las bacterias en los suelos, ya que la respuesta en las variables evaluadas fue superior que cuando se aplicó por inmersión (T1 y T2).

REFERENCIAS

- Agudelo, M. y Casierra-Posada, F. (2004). Efecto de la micorriza y gallinaza sobre la producción y la calidad de Cebolla cabezona (*Allium cepa* L. 'Yellow Granex'). Trabajo de Postgrado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia. Extraído el 18 de noviembre de 2013 desde <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v57n1/a04v57n1.pdf>
- Altieri, M. y C. Nicholls.(2007). Conversión Agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Ecosistemas. Volumen 16. Nº 1. España
- Araujo, Y., Díaz, L., Rodríguez, F., y L. Pargas. (2010). Efecto del biofertilizante *Azotobacter* spp en el cultivo de papa en el estado Mérida. Trabajo de grado

de maestría. Universidad de Los Andes, Mérida. Extraído el 11 de Septiembre del 2013 desde <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/.../UMS1.pdf>

Chirinos, J., Leal, A., y J. Montilla. (2006). Usos de insumos biológicos como alternativa para la agricultura sostenible en la zona sur del estado Anzoátegui. Revista digital CENIAP. Volumen 3.Nº 8. Venezuela.

Constantino, M., Gómez, R., Álvarez, J., Pat, J., y G. Espín. (2011). Efecto de inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de vivero. Revista Agronomía Costarricense. Extraído el 3 de diciembre del 2013 desde <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242011000100002&script=sci>

Delgado, Y., Cupull, R., Pérez, C., Sánchez, A., y M. Vílchez. (2003). Efecto del *Azotobacter spp* en la estimulación de la germinación y el desarrollo de posturas de *Coffea arabica L.* Revista del Centro Agrícola. Volumen 30. Nº 1. Cuba.

Domínguez, A., Pérez, a., Solo, Y., Díaz, A., Fernández, I., Rodríguez, R., Blanco, A., y J. Revilla. (2001). Influencia de la aplicación de *Azotobacter choococcum* y diferentes fuentes de materia orgánica en el desarrollo de esquejes de *Morus alba L.* Trabajo de grado de maestría. Universidad del Oriente. Santiago de Cuba. Cuba. Extraído el 22 de octubre de 2012 desde <http://www.payfo.ihatuey.cu/Revista/v25n2/body/pyf03202.htm>.

Egas, J. 2010. Efecto de la inoculación con *Azotobacter spp* en el crecimiento de plantas injertadas de Cacao (*Theobroma cacao*) genotipo nacional en la provincia de Esmeralda. Trabajo de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Extraído el 30 de Enero del 2014 desde <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2307>.

Escobar, C., Horna, Y., Carreño, C., y G. Mendoza. (2011). Caracterización de cepas de *Azotobacter spp* y su efecto en el desarrollo de *Lycoper sicumes culentum* "Tomate" en Lambayegue. Revista Scientia Agropecuaria. Volumen 2. Nº 1. Perú.

Holt, J. 2000. Bergey's Manual to determinative bacteriology. 9^{na} Ed. Baltimore, Maryland. USA. Ed. Williams & Wilikins.

López D, Llorente M. (2010). La agroecología: hacia un nuevo modelo agrario. Sistema agroalimentario y consumo responsable. 1^{ra} Ed. Marquéz de Legañés, Madrid. Editorial Ecologistas en acción.

Lozada, L. y C. Rivas. (2010). Evaluación del efecto de la inoculación con *Azotobacter spp* en plántulas de Ají dulce (*Capsicum frutescens*). Trabajo de grado.

Universidad de los Andes. Núcleo Universitario Rafael Rangel. Trujillo, Venezuela.

Martínez, R., López, M., Dibut, B., Parra, C., y J. Rodríguez. (2008). La Fijación Biológica del Nitrógeno Atmosférico en Condiciones Tropicales. Maracay, Venezuela. Publicación especial del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras.

Medina, S., López, M. y Vilorio, J. (2010). Evaluación de características biométricas y concentración foliar de NPK en cultivos de maíz con biofertilización en el estado Guárico. Extraído el 15 de noviembre de 2013 desde <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos>

Morales, J., Alarcón, A., Remón, Y., Godefoy, M., y G. González. (2009). Influencia de diferentes concentraciones de la cepa comercial de *Azotobacter chroococcum*, (INIFAT-12) sobre algunos parámetros morfo fisiológicos y el rendimiento del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv "ISCAB-10". Revista Granma. Cuba. Extraído el 12 de Octubre de 2013 desde <http://grciencia.idict.cu/index.php/granmacion/issue/view/30>

Reyes, I. y A. Valery. (2007). Efecto de la fertilidad del suelo sobre la promoción del crecimiento del maíz (*Zea máys L.*) con *Azotobacter spp.* Bioagro. Volumen 19. Nº 3. Venezuela.

Reyes, I., Álvarez, L., El-Ayoubi, H. y A. Valery. (2008). Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en Pimentón y Maíz. Revista Bioagro. Volumen 20. Nº 1. Venezuela.

Tejera, N. Lluch, C., Martínez-Toledo, M. V., y J. González-López. (2005). Isolation and characterization of *Azotobacter* and *Azospirillum* strains from the sugarcane rhizosfera. Plant and Soil. Volumen 270. Nº 1. España.