

Factibilidad económica y ambiental del uso de biofertilizantes micorrízicos



*Recibido: Junio 5 2009

*Aceptado: Agosto 3 2009

Lorenzo Montero San José, M.Sc.
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
La Habana, Cuba
lorenzo@iird.cu

Carmen Duarte Díaz, Ph.D.
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
La Habana, Cuba.
lorenzo@iird.cu

Reinaldo Cun González, M.Sc.
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
La Habana, Cuba
lorenzo@iird.cu

RESUMEN

Se evaluó el efecto económico de la aplicación de Hongos Micorrízicos Arbusculares como una alternativa de fertilización en condiciones de organopónico, para incrementar el rendimiento del cultivo del pimiento. Se consideraron diferentes niveles de humedad en el sustrato, en la fase fenológica, inicio de la floración-fructificación, períodos cuando el cultivo presenta la mayor demanda de agua. Se establecieron dos condiciones de riego consistentes en aplicar el agua cuando la humedad del sustrato descendiera a valores correspondientes al 65% y 90% de la capacidad de campo y en las otras fases regar hasta alcanzar la capacidad de campo. El incremento del beneficio económico neto con respecto al testigo sin inocular fue de US\$ 2300/ha para la cepa *Glomus hoi-like* y más de US\$ 5000/ha para la cepa *Glomus mosseae*, con valores ligeramente superiores para el tratamiento de menor ingreso de agua.

PALABRAS CLAVE

Rendimientos, organopónicos, agua.

ABSTRACT

Economical effect of the application of micorizotic fungi on pepper was evaluated as an alternative of fertilizing in organoponic conditions to increase the crop yield, taking into account different levels of moisture in the substrate; in the phenological stage beginning of flourishing-fructification, period of higher water demand. Two irrigation schedule were set: to irrigate when substrate demand decreases to values between 65% and 90% of field capacity & to irrigate at field capacity in the other stages. Net economical profit compared to the witness without inoculating was US\$ 2300/ha for the stub

Glomus hoi-like and more than US\$ 5000/ha for the stub Glomus mosseae with values lightly higher for the treatment of lower water demand.

KEYWORDS

Yields, organoponics, water.

1. INTRODUCCIÓN

Cuba tradicionalmente es productora del cultivo del pimiento (*Capsicum annum* L), pero los rendimientos del mismo han decrecido en los últimos años por diversos factores, siendo los de mayor impacto las limitaciones del agua y los fertilizantes químicos. Méndez (2008) plantea que los rendimientos obtenidos en estos años se encuentran en un rango de 8,50 a 10,35 T/ha, en condiciones óptimas del cultivo.

Dell' Amicol et al. (2002) y Fundora (2007) han puesto en práctica el uso de biofertilizantes producidos a partir de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), como una de las alternativas para incrementar la producción agrícola; estos desempeñan una importante función en las raíces de las plantas, contribuyendo de forma más eficiente a su supervivencia y crecimiento. Por otra parte, la formación de micorrizas juega un papel esencial en el desarrollo de las plantas bajo condiciones de estrés hídrico.

Con base en lo anterior, fue necesario realizar estudios para definir estrategias de fertilización biológica y riego en el cultivo del pimiento, con el fin de encontrar alternativas económicamente viables para incrementar la producción organopónica en condiciones de bajo consumo de agua y limitación de fertilizantes químicos. Este trabajo evaluó el efecto económico de la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en el rendimiento del cultivo del pimiento con diferentes niveles de humedad en el sustrato.

2. METODOLOGÍA

El estudio se realizó durante el año 2007 en el organopónico experimental del Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje de La Habana, Cuba, situado en 23° 04' 48,70" de latitud Norte, 82° 20' 9,24" de longitud Oeste y altitud de 34 m sobre el nivel del mar.

Los canteros con un área de 6,08 m² fueron contruidos con asbesto-cemento y se llenaron con un sustrato compuesto según lo establecido en el Manual Técnico de organopónicos y huertos intensivos del Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en la Agricultura Tropical (INIFAT, 2007). El sustrato se preparó con una mezcla de suelo Nitisol Ródico Eútrico Arcilloso, según la clasificación World Reference Base (WRB, 2006) y estiércol vacuno previamente descompuesto en una relación 1:1 v/v. El trasplante se llevó a cabo en la tercera década del mes de abril y las posturas empleadas fueron de la variedad "Verano 1", procedente de cepellón y con óptima calidad (INIFAT, 2007).

En la inoculación se aplicó un 1 g de biofertilizante por planta en el momento del trasplante con las cepas *Glomus hoi-like* y *Glomus mosseae* (Pro-organic.com, 2008). Para conocer el comportamiento de las micorrizas, se efectuó un monitoreo de las esporas en 50 g de sustrato en tres muestras por cantero a una profundidad de 20 cm, antes del trasplante y después de la cosecha de los frutos (a los 96 días después del trasplante). El conteo de esporas se realizó según el método descrito por Gerdemann y Nicholson (1963).

Se empleó un sistema de riego localizado con microaspersores, con un coeficiente de uniformidad de 90,63%, clasificado como bueno según la metodología de Merriam y Keller (1978). Durante las fases de transplante-

inicio de floración y maduración-cosecha de los frutos, la norma neta de riego se calculó para todos los tratamientos a partir de la evapotranspiración del cultivo, según la expresión de Doorenbos y Pruitt (1977). Los datos de la evapotranspiración de referencia fueron suministrados por la Estación Meteorológica de Casa Blanca y los coeficientes del cultivo utilizados fueron determinados por León et al. (1991). En la fase fenológica de inicio de floración-fructificación, cuando el 20% de las plantas se encontraban con flores, se aplicaron para cada tratamiento inoculado con micorrizas dos variantes de riego, que consistieron en regar cuando la humedad del sustrato descendiera a valores correspondientes al 65% (V1) y 90% (V2) de la capacidad de campo.

Para combinaciones de riego con cepas de micorrizas y el testigo sin inocular se establecieron los siguientes tratamientos:

V1T1: Sin aplicar Micorrizas y riego al 65% Cc.
V1T2: Micorrizas con la cepa <i>Gomus hoi-like</i> y riego al 65% Cc.
V1T3: Micorrizas con la cepa <i>Gomus mosseae</i> y riego al 65% Cc.
V2T1: Sin aplicar Micorrizas y riego al 90% Cc.
V2T2: Micorrizas con la cepa <i>Gomus hoi-like</i> y riego al 90% Cc.
V2T3: Micorrizas con la cepa <i>Gomus mosseae</i> y riego al 90% Cc.

Las precipitaciones caídas durante el estudio se registraron con el auxilio de un pluviómetro insertado en el propio organopónico. La dinámica de la humedad

del sustrato se determinó con una sonda electromagnética tipo TDR, la cual fue calibrada anteriormente por López et al. (2006) para este tipo de sustrato. Se estimó como indicador del rendimiento del cultivo el peso fresco de los frutos (T.ha-1) en balanza técnica.

El diseño empleado fue muestral y el análisis estadístico se realizó mediante comparaciones de t de student para muestras independientes con un nivel de probabilidad del error de 5%. Para el análisis económico se aplicaron los procedimientos metodológicos propuestos por Pérez y Álvarez (2005).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación del número de esporas en el sustrato se resume en la Tabla 1; a diferencia del testigo sin inocular (T1), para los tratamientos de micorrizas (T2 y T3) se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la cantidad de esporas contadas en la cosecha con respecto a las existentes al inicio del trasplante en los dos niveles de humedad establecidos en el sustrato. Estos resultados evidencian el efecto de la inoculación con las cepas de micorrizas estudiadas sobre el contenido de esporas en el sustrato.

En el tratamiento de mayor suministro de agua el contenido de esporas en los tratamientos con micorrizas, alcanzó valores superiores con respecto al testigo sin inocular, por lo que el agua jugó un papel fundamental para el desarrollo de estos microorganismos. Similares resultados fueron obtenidos por Daniels y Trappe (1980), quienes sugirieron que el contenido de agua en el suelo hasta la capacidad de campo favoreció la germinación de esporas de los hongos micorrízicos. También es importante resaltar las cantidades de esporas en los tratamientos con HMA postcosecha, comparado con el tratamiento testigo sin inocular donde el suministro de agua fue menor. Esto puede ser consecuencia de la importancia de la formación de micorrizas en el crecimiento de los cultivos en estado de estrés hídrico. Ruiz et al. (1995), Muhsin y Zwiazek

(2002) encontraron que plantas inoculadas en condiciones de déficit hídrico desarrollaron una capacidad de absorción superior a las plantas no inoculadas, permitiendo absorber no solo, mayor cantidad de nutrientes, sino también de agua.

Tabla 1. Resultado del conteo de esporas en el sustrato

Tratamientos	Cantidad de Esporas.			
	Riesgo 65% de la Cc.		Riesgo 90% de la Cc.	
	Antes	Después	Antes	Después
Testigo				
Media	44,66	45,34	54	58,31
T - Student	0,238883 NS		0,133766 NS	
<i>Glomus hoi-like</i>				
Media	43,60	146,30	48,33	184,38
T - Student	0,0160533*		0,003551 **	
<i>Glomus mosseae</i>				
Media	45,08	180,16	50,20	19,00
T - Student	0,000112 ***		0,002923 **	

Análisis del comportamiento de la dinámica de humedad en el sustrato

La Figura 1A presenta el comportamiento de la humedad en el sustrato a partir de la fase de inicio de floración y fructificación del cultivo. Se puede observar que el promedio de la humedad volumétrica en el sustrato se mantuvo cercana a los límites fijados para cada tratamiento (65 y 90% Cc), excepto en el mes de junio y la primera década del mes de julio. En este período la humedad volumétrica en el sustrato fue mayor con valores entre 0,30 y 0,32 cm³/cm³, para el tratamiento de 65% de la Cc y entre 0,40 a 0,44 cm³/cm³ para el 90% de la capacidad de campo.

Por tanto; los valores de la humedad en el sustrato se incrementaron en ambos tratamientos, alcanzando valores promedios de 71 y 96% de la capacidad de campo, respectivamente.

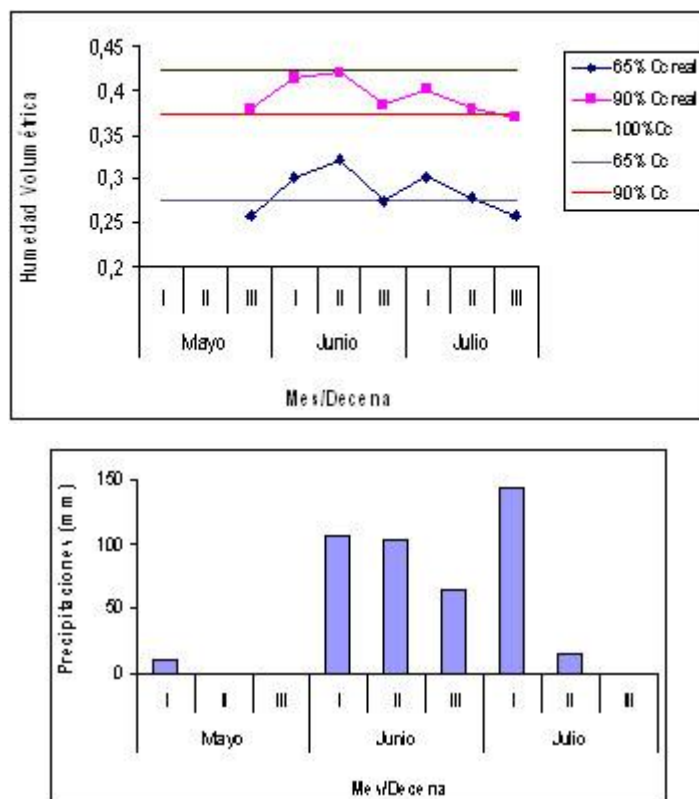


Figura 1. A: Valores promedio de la humedad volumétrica en el sustrato y B: Comportamiento decenal de las precipitaciones durante el estudio (a partir del inicio de la floración fructificación).

El incremento de la humedad volumétrica en el sustrato se relaciona con la mayor influencia de las precipitaciones (Figura 1B).

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las dosis y el número de riegos aplicados por cada fase fenológica del cultivo en las condiciones de estudio. Como se observa, el mayor número de riegos y cantidad de agua aplicada ocurrió durante el período del trasplante e inicio de la floración en dependencia al límite productivo empleado, donde todos los riegos se efectuaron hasta alcanzar la capacidad de campo. Sin embargo, en la fase de inicio de la floración y fructificación tanto el número de riego como la dosis de agua aplicada tuvo en correspondencia con las variantes de riego establecidas en el

estudio (riego hasta los límites productivos del 65% y 90% de la capacidad de campo), donde sólo fue posible regar en el tratamiento de 90% Cc con un número de 5 riegos y una dosis total de 114 mm de agua. Es importante señalar que durante este periodo las lluvias frecuentes ejercieron influencia, fenómeno que también se presentó en la fase de maduración y cosecha, siendo innecesaria la aplicación del riego en esta fase cuando el cultivo requiere menor cantidad de agua (Doorenbos y Kassam, 1980).

La Tabla 3 compara los indicadores económicos de la producción en cada tratamiento utilizado en el estudio. Se observa que los costos de producción varían entre tratamientos debido al efecto producido por la variación de los costos de la energía eléctrica, el agua y los biofertilizantes. Por su parte, el valor de la producción se diferencia también entre los tratamientos, por concepto del aumento del rendimiento total, en aquellos donde se aplicaron las inoculaciones con HMA. Este aumento determinó beneficios netos entre US\$ 13.514 y US\$ 18.118/ha, con los mayores valores de beneficio para el tratamiento con *G. mosseae*, que alcanzó una diferencia de más de US\$ 6.000/ha con respecto al testigo en el tratamiento de menor ingreso de agua.

Consecuentemente la relación beneficio - costo mostró también diferencias entre los tratamientos con HMA con respecto al testigo, con valores entre 1,35 y 1,82 \$/\$; los mayores valores se encontraron para el tratamiento con *G. mosseae* que alcanzó una relación de más de 1.8 pesos por peso gastado en la producción en ambos tratamientos. En este sentido, es importante resaltar la eficiencia de este fertilizante biológico aun en condiciones de bajo suministro de agua (riego al 65% Cc), teniendo en cuenta la diferencia entre el agua total aplicada por riego con respecto al tratamiento de mayores ingresos (riego al 90% Cc), que conlleva a un ahorro de 1.140 m³ /ha (114 mm) y la disminución del costo de la energía por la reducción del tiempo de bombeo del motor.

Los análisis de la valoración económica en este estudio muestran que existe una viabilidad económica en la gestión productiva; esto indica la posibilidad en la utilización de una estrategia en el manejo del riego con el empleo de la tecnología de riego deficitario y la fertilización biológica con micorrizas para incrementar los rendimientos en el cultivo del pimiento en condiciones de organopónicos, mediante la reducción de los límites productivos en estrecha relación con la fisiología del cultivo, aplicada en la fase del inicio de la floración-fructificación en la época de primavera sin llegar a comprometer los resultados de la producción final. Esto puede constituir una alternativa desde el punto de vista económico, social y medioambiental, fundamentalmente en aquellas áreas sembradas de pimiento con dificultades de escasez de agua, donde se puedan reducir los aportes hídricos con el mínimo impacto posible sobre la producción.

Tabla 2. Régimen de riego por fases de desarrollo del cultivo estudiado

Fases Fonológicas	Variante 65% Cc		Variante 90% Cc	
	Número de Riegos	Dosis total (mm)	Número de Riegos	Dosis total (mm)
Trasplante – Inicio de floración.	20	248	20	248
Inicio de floración-fructificación.	0	0	5	114
Maduración-Cosecha.	0	0	0	0
Total	20	248	25	362

Tabla 3. Comparación de indicadores económicos del rendimiento por tratamientos

Indicadores	Riego 65% Cc			Riego 90% Cc		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Costo de Producción (USD.ha ⁻¹)	8800.18	9076.25	9076.25	8800.73	9076.77	9076.77
Rendimiento promedio (t.ha ⁻¹)	7.30	8.20	9.65	7.86	8.79	9.81
Valor de la producción (USD.ha ⁻¹)	19040.54	21417.35	25204.56	20529.31	22958.35	25622.46
Beneficio neto (USD.ha ⁻¹)	10240.36	12341.10	16128.31	11728.58	13881.58	16545.69
Relación beneficio- Costo (USD.USD ⁻¹)	1.16	1.36	1.78	1.33	1.53	1.82
Período de recuperación de la inversión de riego (años)	Se paga la inversión en la cosecha.					

4. CONCLUSIONES

- . La utilización de las cepas micorrízicas *Glomus hoi-like* y *Glomus mosseae* y dosis de riego de 248 y 362 mm de agua en el cultivo de pimiento Verano 1 incrementaron significativamente los rendimientos en el organopónico en relación al testigo, por cuanto se lograron producciones en el rango de 8,2 a 9,81 T/ha.
- . Los tratamientos de micorrizas con diferenciación en el manejo de riego constituyeron alternativas económicas de producción en el pimiento, aunque el uso del *Glomus mosseae* superó las expectativas al permitir que se obtuvieran los mayores beneficios netos (US\$ 17.660 y US\$ 18.117/ha).
- . El empleo de hongos micorrízicos arbusculares en la producción de pimiento, en situaciones de deficiencia hídrica en la fase de floración-fructificación puede constituir una de las opciones a considerar de siembras en períodos no óptimos en los organopónicos.
- . El empleo de micorrizas ayuda a la conservación de la humedad en el cultivo, reduciendo las exigencias de riego.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Daniels, B.A. y Trappe, J.M. (1980). Factors affecting spore germination of the vesicular- arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus espigaeus*. *Micología*. 72: 457- 471.

Dell´ Amico, J.M., Rodríguez, P., Torrecillas, A., Morte, A., y Sánchez-Blanco, M.J. (2002). Influencia de la micorrización en el crecimiento y las relaciones hídricas de plantas de tomate sometidas a un ciclo de sequía y recuperación. *Cultivos Tropicales* 23 (1): 29-34.

Doorenbos, J. y Kassam, A.H. (1980). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* No 33. Roma. Italy. pp 20-31.

Doorenbos, J. y Pruitt. W.O. (1977). Las necesidades de agua de los cultivos.

Estudios FAO Riego y Drenaje No 24. Roma. Italy. pp 27-29.

Fundora-Sánchez, L.R. (2007). Empleo de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo del tomate en condiciones de buen abastecimiento hídrico y período de estrés y su efecto sobre el desarrollo y las relaciones hídricas. Tesis en opción al grado académico de Maestro en ciencias. INCA. MES. Cuba pp 8 – 40.

Gerdemann, J.W. y Nicholson, T.H. (1963). Spore of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Taus Br. Mycologi. Society*. 46: 235 -244.

INIFAT. (2007). Manual técnico para organopónicos, huertos intensivos y organoponía semiprotegida. Ciudad de La Habana. Cuba. ACTAC pp 6-23.

León, M., Derivet, R. y Marlén, M. (1991). Necesidades hídricas del pimiento

(*Capsicum annum* L) Medalla de Oro en período no óptimo. Agrotencia de Cuba. Cuba CIDA. Vol. 23 (3-4): 33-41.

López, T., González, F. y Cid, G. (2006). Particularidades de la utilización de sondas electromagnéticas para la determinación de la humedad de los suelos y la cuantificación de balances hídricos. Memorias de AGRING.

Méndez, O. (2008). Comunicación personal. MINAG. Ciudad de La Habana. Cuba.

Merriam, J. y Keller, L. (1978). FAM Irrigation System Evaluation: a guide for management. UTAH. State University Logan. UTA. USA. pp 45-52.

Muhsin, T.M. y Zwiazek, J.J. (2002). Ectomycorrhizas increase apoplastic water transport and root hydraulic conductivity in *Ulmus Americana* seedlings. *New Phytologist*. Vol. 18:153-158.

Pérez, R. y Alvarez, M. (2005). Necesidades de riego de la caña de azúcar en Cuba" Capítulo Editorial Academia. C. La Habana. Cuba pp 5-12.

Pro-organic.com/Eco_dosis.htm. (2008). El biofertilizante EcoMic® Instrucciones de uso, 3p.

Ruiz, L., Lozano, J.M. y Azcón, R. (1995). Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologic Plantarum*. 95: 472-478.

WRB. (2006). IUSS Working Group. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome, 128p.