

EFFECTO DE BIOFERTILIZANTES EN CULTIVO DE MELÓN CON ACOLCHADO PLÁSTICO

EFFECT OF BIOFERTILIZERS ON CANTALOUPE CROP WITH PLASTIC MULCHING

Erik Padilla, Martín Esqueda*, Alfonso Sánchez, Rosalba Troncoso-Rojas y Alberto Sánchez

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal. Carr. a la Victoria Km 0.6, Apdo. Postal 1735. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel. y Fax: 01 (662) 280-0422.

* Autor para correspondencia (esqueda@cascabel.ciad.mx)

RESUMEN

Se evaluó el efecto de biofertilizantes en el cultivo del melón (*Cucumis melo* var. *reticulatus* cv. 'Ovación') acolchado con polietileno negro calibre 100 µm. El trabajo se hizo en campo en La Costa de Hermosillo, Sonora, durante 2000. Se evaluaron cuatro tratamientos, tres biofertilizantes comerciales Z-Plex, Soil-Plex, Maya-Magic y el testigo negativo, asignados en bloques al azar con tres repeticiones. Se analizó el efecto de los tratamientos sobre los hongos filamentosos y micorrízicos asociados al cultivo, los factores químicos del suelo, rendimiento y calidad del producto. La cantidad y diversidad de micromicetos, los factores químicos del suelo, el rendimiento y la calidad del fruto no mostraron variaciones inherentes a la aplicación de los biofertilizantes. El número de esporas micorrízicas aumentó 200 % con los tres biofertilizantes, así como el porcentaje de raíces colonizadas de 12 % en el testigo hasta 26, 30 y 48 % para Maya-Magic, Z-Plex y Soil-Plex, respectivamente, pero no se observaron arbusculos.

Palabras clave: *Cucumis melo*, micromicetos, micorriza arbuscular, rendimiento, calidad.

SUMMARY

The effect of biofertilizers on cantaloupe melon (*Cucumis melo* var. *reticulatus* cv. Ovación) mulched with 100 µm thick black polyethylene was evaluated. The experiment was carried out in a commercial agricultural field at La Costa de Hermosillo, Sonora during 2000. Four treatments were evaluated, including three commercial biofertilizers Z-Plex, Soil-Plex, Maya-Magic, and a negative control. They were assigned to a randomized blocks design with three replicates. Biofertilizer effect was evaluated by analyzing fungi and mycorrhiza associated with crop roots, soil chemical composition, yield and fruit quality. The quantity and diversity of fungi, soil chemical variables, yield and produce quality factors were not statistically different due to biofertilizers application. The quantity of mycorrhiza spores increased 200 % with the three biofertilizers. The percentage of roots associated with mycorrhiza augmented from 12 % in control to 26, 30 and 48 % for the Maya-Magic, Z-Plex and Soil-Plex, respectively, but arbuscules were not observed.

Index words: *Cucumis melo*, mycomicetes, arbuscular mycorrhizae, yield, fruit quality.

INTRODUCCIÓN

La producción hortofrutícola en México se ha mantenido como una industria competitiva a nivel mundial durante los últimos años. La superficie nacional dedicada a cultivos agrícolas asciende a más de 20 millones de hectáreas, de la cual 3 % se destina a hortalizas. Entre ellas, las cucurbitáceas ocupan los primeros lugares de producción y exportación. Los productos que componen 60 % de la oferta exportable son tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (30.2 %), pepino (*Cucumis sativus* L.) (11.2 %), sandía (*Citrus vulgaris* Schrad.) (9.7 %) y melón (*Cucumis melo* L.) (9.7 %) (SAGAR, 2000). En el periodo 1991-2002 el melón registró una tendencia significativa a la baja, con una disminución promedio anual de 32 048 ha en el país. Particularmente en Sonora, la superficie sembrada de melón fue de 6042 ha en 1991 y descendió a 2540 ha en 2002 (SIAP, 2005).

La Costa de Hermosillo, Sonora, representa una importante zona productora de melón con más de diez variedades, cultivadas en aproximadamente 1300 ha con un rendimiento promedio de 19.6 t ha⁻¹ entre 1991 y 2002. Esta superficie agrícola se continúa reduciendo debido a la salinidad y carencia del agua o falta de créditos. A pesar de ello, La Costa de Hermosillo constituye 15 % del total de la tierra cultivada, 16 % de la producción anual total y 23 % de la producción agrícola de Sonora (Halvorson *et al.*, 2003). El uso excesivo de agua y la intrusión salina hacia los mantos acuíferos, en menos de tres décadas,

provocaron el abandono de 80 000 ha en los campos de esta área (Castellanos *et al.*, 2005).

Como una alternativa para el manejo de estos problemas, con el uso de acolchado plástico se han obtenido resultados positivos. En hortalizas ha permitido el incremento en la productividad de los cultivos; la finalidad de éstos es dar protección contra eventos adversos, ambientales o biológicos, como temperaturas extremas, pérdida de agua por evaporación del suelo, presencia de maleza, incidencia de plagas y enfermedades (Orozco-Santos *et al.*, 1995; Chellemi *et al.*, 1997). Para disminuir el uso de fertilizantes químicos, controlar enfermedades sin la aplicación de fungicidas químicos altamente tóxicos e incrementar la producción, se emplean biofertilizantes porque originan una rápida descomposición de la materia orgánica y asimilación de nutrimentos, consumen poca energía y no contaminan el medio ambiente. Además de elevar la fertilidad del suelo, permiten una producción a bajo costo, favorecen el antagonismo y control biológico de organismos fitopatógenos (Katan, 1993; Stapleton y De Vay, 1995).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las rizobacterias promotoras de crecimiento asociadas con las plantas, tienen una función relevante para la nutrición vegetal, al incrementar la calidad del suelo y la producción de los cultivos, y al influir en el flujo del CO₂ a través del depósito de carbono (Hamel *et al.*, 2004). La inoculación con HMA también aumenta la concentración foliar de fósforo, cobre, magnesio y zinc. Los HMA también parecen potenciar la competitividad de las plantas ante los microorganismos para la asimilación de nitrógeno y fósforo a partir de fuentes orgánicas (Feng *et al.*, 2003). En contraparte, esta asociación tiene un costo energético para la planta; se ha estimado que de 10 a 12 % de los fotoasimilados son canalizados hacia la micorriza (Jakobsen *et al.*, 2002).

Debido al potencial de los probióticos en las zonas agrícolas áridas y semiáridas para revertir la tendencia negativa en el cultivo del melón, en el presente trabajo se evaluó el efecto de tres biofertilizantes sobre el rendimiento, calidad, factores químicos del suelo y hongos filamentosos y micorrízicos asociados con un cultivo de melón acolchado con polietileno, en La Costa de Hermosillo, Sonora.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se hizo en el campo "El Kakuyo" de La Costa de Hermosillo, Sonora a 26° 02' 45" LN, 111° 35' 27" LO y una altitud de 72 m. El clima del lugar corresponde al tipo seco, semicálido, con temperatura media anual de 22 °C y media mensual máxima de 30 °C en julio y agosto, con temperaturas diarias de hasta 47 °C en el verano. La temperatura media mensual es de 12 °C en

vierno (enero y febrero), sin heladas. La precipitación anual varía de 100 a 225 mm, con régimen de lluvias en verano (80 a 90 %) e invierno (hasta 20 %). Los meses más secos son de finales de marzo a mediados de junio (Castellanos *et al.*, 2005).

Se trabajó con el cultivo del melón cv. 'Ovación' acolchado con polietileno negro calibre 100 µm, durante el ciclo primavera-verano 2000. Se hizo siembra directa de 16 666 plantas/ha, con separación entre plantas de 30 cm y 2 m entre hileras. Se aplicó una fertilización de 100N - 0P - 80K, con nitrato de amonio y nitrato de potasio. El riego suministrado fue de 4 mm diarios, es decir 360 mm por el ciclo del cultivo. La dosis de fertilización y el volumen de riego fueron establecidos por el productor con base en su experiencia y la asesoría que recibe en cada ciclo de producción.

Se evaluaron cuatro tratamientos con una distribución en bloques al azar con tres repeticiones: a) Suelo acolchado (testigo); b) Suelo acolchado + Z-Plex (Productos Agrícolas Probiótico Internacional S.A. de C.V., Cd. Obregón, Sonora); c) Suelo acolchado + Soil-Plex (Productos Agrícolas Probiótico Internacional S.A. de C.V., Cd. Obregón, Sonora); y d) Suelo acolchado + Maya-Magic (Karl Co. S.A. de C.V., Navojua, Sonora). Z-Plex está conformado por ácidos orgánicos, aceites esenciales, azufre, cobre y una mezcla de bacterias y hongos promotores del crecimiento vegetal. El proveedor lo recomienda para combatir problemas con nemátodos y ciertos hongos fitopatógenos, así como para amortiguar, desintoxicar o combinar ciertos compuestos químicos que pueden encontrarse en los suelos agrícolas.

Soil-Plex está constituido por compuestos fúlvicos, húmicos, aminoácidos, polisacáridos de cadena larga, minerales, así como hongos, protozoarios y nemátodos benéficos en forma de esporas estabilizadas. De acuerdo con el proveedor, el producto ejerce una acción amortiguadora en presencia de agentes tóxicos, sirve de albergue a la comunidad microbiológica, actúa como un agente floculante que favorece la aireación del suelo, entre otros. Maya-Magic está compuesto por microorganismos fijadores de nitrógeno como *Azotobacter vinelandii*, *Clostridium pasteurianum*, cianofitas, algas marinas y un nutriente cofermentador que estimula el crecimiento de las plantas y mejora y activa los suelos. Según el distribuidor, este producto aumenta la fertilidad del suelo y reduce la cantidad de químicos aplicados. La dosis de los biofertilizantes varió de acuerdo con el valor óptimo recomendado por el fabricante. La unidad experimental se constituyó de una parcela de 75 x 8 m, y la parcela útil fue de dos surcos centrales en un área de 65 x 4 m.

Con la finalidad de cuantificar el efecto de los tratamientos se hicieron análisis químicos y biológicos del suelo. Para el estudio químico se cuantificó: pH, porcentaje de saturación, salinidad, humus, nitratos, fosfatos, capacidad de intercambio catiónico y sodio soluble, de acuerdo con Huerta-Rosas (1985). El análisis biológico comprendió a los hongos filamentosos y esporas de micorrizas arbusculares en la rizósfera. Se efectuaron dos muestreos, uno al principio y otro al final del ciclo de cultivo, con 12 muestras compuestas de aproximadamente 2 kg, provenientes de 36 submuestras recolectadas al azar en los surcos de la parcela útil de cada una de las 12 unidades experimentales. Se manejaron dos testigos: testigo inicial (TI) y testigo final (TF). Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 0-30 cm.

Para el análisis de los hongos de la rizósfera se colocaron 25 g de suelo en un matraz volumétrico y se aforó a 250 mL. Esta suspensión se agitó durante 30 min y se hicieron diluciones seriadas hasta 10^{-5} . En la superficie de placas de papa-dextrosa-agar (PDA) con rosa de bengala y ácido láctico se cultivó 1 mL de las diluciones 10^{-3} a 10^{-5} , por triplicado y se incubaron a 28 °C durante 7 d. La cuantificación de esporas micorrízicas se hizo mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación, de Gerdemann y Nicolson (1963). Para el análisis de colonización micorrízica se observaron 50 secciones de raíces de aproximadamente 1 cm de longitud de 10 plantas de melón, provenientes de cada parcela útil. Éstas se lavaron, clarificaron en KOH 10 %, se tiñeron en lactofenol con azul de algodón 1 % y se montaron en portaobjetos para su observación al microscopio (Phillips y Hayman, 1970; Giovanetti y Mosse, 1980).

El rendimiento se determinó con base en 20 plantas tomadas al azar en cada parcela útil. Los melones se seleccionaron al considerar como índice de cosecha que 3/4 de la cicatriz en el pedúnculo estuviera formada. Los frutos se pesaron, midieron y contaron en cada tratamiento. Los datos se extrapolaron a $t\ ha^{-1}$. La calidad de los melones se midió después de la cosecha y durante el almacenamiento por 8 d, simulando condiciones de mercado a 20 °C y 85-90 % de HR, con base en pruebas físicas (pérdida de peso y firmeza) y químicas (pH, sólidos solubles totales y acidez titulable). Se seleccionaron 10 frutos para cada análisis con base en características típicas de la variedad, tamaño uniforme, sin daños visuales, y con la red uniforme y completa. Se lavaron con agua clorada a 250 mg L^{-1} de cloro y se dejaron secar a temperatura ambiente para después marcarlos y efectuar los análisis. Las observaciones se realizaron cada 2 d durante el almacenamiento.

El porcentaje de pérdida de peso fresco se determinó con una balanza de precisión Sartorius (Brikmann Instru-

ments Co., Westbury, NY). La firmeza se evaluó con un penetrometro Chatillon (Mod. DFG-50) equipado con un punzón de 10 mm de diámetro; se tomó la lectura en dos secciones opuestas del fruto en la zona ecuatorial, previa eliminación del pericarpio (Bourne, 1980); los resultados se expresaron en Newtons (N) necesarios para penetrarlo. Para la determinación del pH se pesaron 10 g de muestra, se adicionaron 30 mL de agua destilada y se homogenizó en una licuadora comercial. El homogenizado se filtró y se tomó una alícuota de 10 mL para la medición. Para los sólidos solubles totales se utilizó una gota de jugo de melón que se colocó en un refractómetro ABBE (Mod. 1045) con control de temperatura a 20 °C, previamente calibrado con agua. La acidez titulable se hizo mediante el método de titulación con hidróxido de sodio 0.1 N, expresada como porcentaje de ácido cítrico (AOAC, 1990).

Con la finalidad de establecer las diferencias entre tratamientos, los resultados de los análisis químicos del suelo, rendimiento, \log_{10} de unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos filamentosos, esporas micorrízicas, porcentaje de raíces colonizadas y calidad del fruto, se sometieron a un análisis de varianza y una comparación entre medias con la prueba de Tukey. Los datos de calidad se evaluaron mediante un diseño en bloques aleatorios, en donde el tiempo de respuesta fue bloqueado para determinar únicamente el efecto de los biofertilizantes sobre las diferentes variables. Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 6.08 (SAS, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico del suelo

Los valores iniciales de pH, calcio, nitratos y fosfatos no cambiaron significativamente al final del ciclo de cultivo ($P > 0.05$) en ninguno de los tratamientos incluido el testigo final (Cuadro 1). Las determinaciones de sodio, potasio y porcentaje de humus fluctuaron significativamente en la cosecha ($P < 0.05$), aunque las cantidades fueron estadísticamente iguales entre los tratamientos y el testigo final (TF) ($P > 0.05$). En las variables restantes se observó un comportamiento similar al Na y K, con excepciones en la conductividad eléctrica (CE) en parcelas tratadas con Soil-Plex, Ca + Mg en surcos irrigados con Maya-Magic y Soil-Plex, así como la relación de absorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) por la aplicación de Soil-Plex, donde las determinaciones no fluctuaron significativamente comparadas con el testigo inicial (TI), TF y los demás biofertilizantes.

Con base en los valores estadísticamente iguales entre el TF y los probióticos en la mayoría de las variables analizadas y a su vez diferentes del TI, se infiere que el agua

de riego influyó sobre estos cambios, probablemente favorecido por los problemas de intrusión salina hacia los mantos acuíferos en La Costa de Hermosillo (Castellanos *et al.*, 2005). El agua para el riego por goteo en el área de estudio proviene del bombeo de pozos. Soil-Plex atenuó el incremento de la CE, RAS y PSI al final del cultivo, quizás debido a su composición química.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo acolchado con polietileno negro tratado con biofertilizantes

Variable	Siembra	Cosecha			
	Testigo	Testigo	Z-Plex	Soil-Plex	Maya-Magic
pH	8.2 ns	8.1	8.0	8.0	8.2
CE (dS m ⁻¹) ⁺	1.0 a	1.9 b	1.9 b	1.4 a	1.7 b
Ca (cmol kg ⁻¹)	1.2 ns	1.4	1.4	1.4	1.2
Ca+Mg (mg L ⁻¹)	134 a	202 b	214 b	170 ab	176 ab
Na (mg L ⁻¹)	174 a	303 b	276 b	265 b	201 b
RAS ⁺⁺	4.3 a	7.4 b	6.6 b	5.4 ab	7.0 b
PSI ⁺⁺⁺	4.8 a	8.8 b	7.8 b	6.2 ab	8.3 b
NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	3.4 ns	3.4	3.7	2.5	3.4
PO ₄ ⁻³ (mg kg ⁻¹)	40 ns	62	67	57	54
K (cmol kg ⁻¹)	3.1 a	4.6 b	6.0 b	5.6 b	5.6 b
Humus (%)	0.6 a	0.4 b	0.5 b	0.5 b	0.4 b

Medias en una misma fila con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns = no significativo; ⁺Conductividad eléctrica; ⁺⁺Relación de absorción de sodio; ⁺⁺⁺Porcentaje de sodio intercambiable.

El pH fue moderadamente alcalino en todas las unidades experimentales, con valores de 8.0 a 8.2 ($P > 0.05$). Aunque el rango deseable para el melón es de 6.0 a 7.5, existe variabilidad genética en cuanto a la adaptación de la especie al pH (Castellanos *et al.*, 2000). Con respecto a la CE, todas las muestras registraron valores inferiores a 2.0 dS m⁻¹. Para considerar que existen problemas de salinidad éste debe ser mayor a 4 dS m⁻¹, por lo cual se establece que en ningún caso se presentó exceso de sales solubles. El contenido de Ca varió entre 1.2 y 1.4 cmol kg⁻¹, sin diferencias significativas entre tratamientos. Estas cantidades corresponden a un nivel bajo (Castellanos *et al.*, 2000).

El Ca + Mg se mantuvo en un nivel medio durante el periodo de producción; inicialmente fue de 134 mg L⁻¹, con un valor máximo de 214 mg L⁻¹ al final del experimento en el tratamiento con Z-Plex. Al inicio del cultivo, el Na se determinó en 174 mg L⁻¹, y después de la cosecha se incrementó hasta 302 y 276 mg L⁻¹ en el TF y Z-Plex, respectivamente. La RAS y el PSI aumentaron al final del pe-

riodo de producción, sin alcanzar niveles de salinidad (Cuadro 1).

En el análisis inicial, el contenido promedio de nitratos fue de 3.4 mg kg⁻¹. Al final del ciclo, el valor promedio más alto fue de 3.7 mg kg⁻¹ con el probiótico Z-Plex. Estas concentraciones de NO₃⁻ corresponden a un nivel bajo. Inicialmente los fosfatos se presentaron en 40 mg kg⁻¹, y al final del ciclo todos los valores tendieron a aumentar sin diferencia significativa ($P > 0.05$), con un mínimo de 54 (Maya-Magic) y un máximo de 67 mg kg⁻¹ (Z-Plex), que corresponden a contenidos de alto a muy alto (Castellanos *et al.*, 2000). La baja solubilidad, fácil retención y poca movilidad del fósforo, aunado a la fertilización, podrían explicar este incremento en su concentración. El nivel de K pasó de medio a moderadamente alto, con valores iniciales de 3.1 y finales desde 4.6 (TF) hasta 6.0 cmol kg⁻¹ de suelo (Z-Plex).

El porcentaje de humus fue muy pobre, y disminuyó al final de la cosecha en todos los tratamientos de 0.6 hasta 0.4 (TF, Maya-Magic). Esto podría deberse a la absorción de la planta, la utilización por parte de los microorganismos para el incremento de su biomasa y la falta de incorporación de materia orgánica al suelo debido a la barrera que representa el acolchado plástico. Al inocular hongos micorrízicos de *Glomus* spp., González-Chávez *et al.* (1998) observaron mayor descomposición de la materia orgánica en el terreno de cultivo.

Hongos filamentosos de la rizósfera

En la mayoría de los taxones determinados, el número de UFC no cambió significativamente entre el periodo de siembra y de cosecha incluyendo todos los tratamientos ($P > 0.05$) (Cuadro 2). Aunque hubo variación significativa en *Aspergillus flavus*, *A. wentii*, *Glomastix* sp., *Penicillium* spp. y *Rhizopus* sp. al final del ciclo de cultivo, el número de UFC fue igual entre el testigo final y los tratamientos. Con ello, el aumento en el inóculo de estos micromicetos no fue inherente a la aplicación de biofertilizantes. Con excepción de *Aspergillus niger*, todas las especies predominantes en el testigo inicial, incrementaron significativamente sus poblaciones en todos los tratamientos ante las condiciones favorables causadas por el riego, fertilización, disponibilidad de materia orgánica, y mostraron su buena adaptación a las condiciones áridas del Desierto Sonorense. En este sentido, el efecto de los biofertilizantes se podría observar ante un eventual rompimiento del equilibrio existente entre las poblaciones autóctonas de hongos filamentosos.

Cuadro 2. Hongos filamentosos asociados con melón (\log_{10} UFC g^{-1} de suelo)

Microorganismo	Siembra		Cosecha		
	Testigo	Testigo	Z-Plex	Soil-Plex	Maya-Magic
<i>Alternaria</i> sp.	2.4 ns	3.8	3.8	3.8	3.7
<i>Aspergillus flavus</i>	4.7 a	5.2 b	5.2 b	5.2 b	5.2 b
<i>Aspergillus niger</i>	4.2 ns	4.7	5.0	4.9	4.8
<i>Aspergillus wentii</i>	4.8 a	5.4 b	5.3 b	5.4 b	5.4 b
<i>Cladosporium</i> sp.	2.8 ns	4.2	4.1	4.2	4.1
<i>Fusarium</i> spp.	2.3 ns	3.8	3.6	3.5	3.8
<i>Geotrichum</i> sp.	3.6 ns	3.1	4.5	4.4	4.2
<i>Gliomastix</i> sp.	3.8 a	4.5 b	4.6 b	4.4 b	4.5 b
<i>Helminthosporium</i> sp.	2.5 ns	4.1	4.2	4.0	4.0
<i>Penicillium</i> spp.	4.8 a	5.2 c	5.0 b	5.0 b	5.2 c
<i>Rhizoctonia</i> sp.	2.8 ns	3.8	3.7	3.6	3.8
<i>Rhizopus</i> sp.	4.3 a	4.6 b	4.6 b	4.6 b	4.7 b
Micelio estéril	3.2 ns	4.0	3.9	3.9	4.0

Medias en una misma fila con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns = no significativo

En el muestreo inicial, 30 % de las UFC correspondió a *Aspergillus* spp. Este predominio es común en zonas áridas, ya que las especies de este género toleran amplios rangos de temperatura, pH y salinidad del suelo. Las especies xerófilas del subgénero *Aspergillus* y muchas especies de la sección *Nidulantes* y *Circumdati* se presentan con mayor frecuencia a la esperada en suelos desérticos (Klich, 2002). En este estudio predominó el subgénero *Circumdati*. Al final del ciclo de cultivo, la cantidad de UFC de todos los géneros aumentó en cada una de las unidades experimentales, excepto *Geotrichum* sp. en las parcelas testigo.

Entre los hongos determinados destacan por su potencial patógeno para el cultivo de melón: *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* sp. y *Alternaria* sp. En el área de estudio se han presentado problemas de pudrición de raíces causadas por *Fusarium* y *Rhizoctonia*, así como daños foliares por *Alternaria*. La incidencia reiterada de estos patógenos llevó al productor a la aplicación de biofertilizantes. Aunque al final del ciclo productivo, en todas las unidades experimentales el \log_{10} de UFC de *Fusarium* spp., *Alternaria* sp. y *Rhizoctonia* sp. aumentó en promedio 60, 58 y 32 %, respectivamente, no se observaron síntomas de enfermedades en el cultivo.

Esqueda-Valle y Zenteno-Zevada (1991) reportaron la disminución de hongos patógenos asociados con un cultivo de frijol por efecto del polietileno negro. Lo anterior se

debe, en parte, a las condiciones microclimáticas (temperatura, humedad, conducción del calor) creadas por el plástico, que produce cambios favorables en los microorganismos antagonistas. La tendencia a la supresión puede corresponder además a mecanismos de control biológico sobre hongos susceptibles, a través de acción tóxica o enzimática. *Trichoderma harzianum* y *T. hamatum* actúan como micoparásitos de *Rhizoctonia solani* y *Sclerotium rolfsii*, al producir β -(1-3)-glucanasa y quitinasa que causan la exólisis de la hifa hospedera (Keinath, 1995; Chalfant *et al.*, 1997).

Hongos micorrízicos arbusculares

La cantidad de esporas de HMA se incrementó significativamente al final del ciclo de cultivo; de 14 ± 4 al inicio de la siembra y previo a la aplicación de biofertilizantes, aumentó a 43 ± 4 , 43 ± 6 , 43 ± 11 y 17 ± 2 esporas/100 g de suelo para Soil-Plex, Z-Plex, Maya-Magic y testigo, respectivamente. Azcón *et al.* (1990) encontraron que la mayor producción de esporas obedece a las condiciones propicias para su colonización, inducidas por la aplicación de los biofertilizantes. Así mismo, al evaluar el efecto de bacterias y hongos saprófitos sobre las micorrizas: *Glomus mosseae* y *G. fasciculatum* lograron un número más alto de esporas aunque la colonización sólo se aumentó con *G. mosseae*.

Brundrett (1991) determinó que los factores que influyen sobre la ocurrencia y efectividad de las asociaciones micorrízicas son las propiedades de la raíz, factores edáficos y climáticos, compatibilidad hospedero-hongo y organismos presentes en el suelo. Si bien la temperatura alta del suelo puede favorecer la esporulación y colonización micorrízica, también podría coadyuvar en el desarrollo de una enfermedad causada en el melón por *Monosporascus cannonballus* (Pivonia *et al.*, 2002). En otro estudio, Afek *et al.* (1991) encontraron que la solarización no afectó a las poblaciones de hongos micorrízicos nativos.

Asociación micorrízica

Debido a que la presencia de esporas no indica necesariamente una colonización por HMA, se realizó un análisis radicular. El acolchado con polietileno negro en combinación con cualquiera de los biofertilizantes probados favoreció la asociación micorrízica, al observarse micelio y esporas a nivel de raíces (Figura 1). Este desarrollo es característico para especies de *Glomus* (González-Chávez *et al.*, 1998), género al cual pertenecen las esporas. El porcentaje de asociación fue de 48, 30, 26 y 12 para los tratamientos Soil-Plex, Z-Plex, Maya-Magic y testigo, respectivamente.

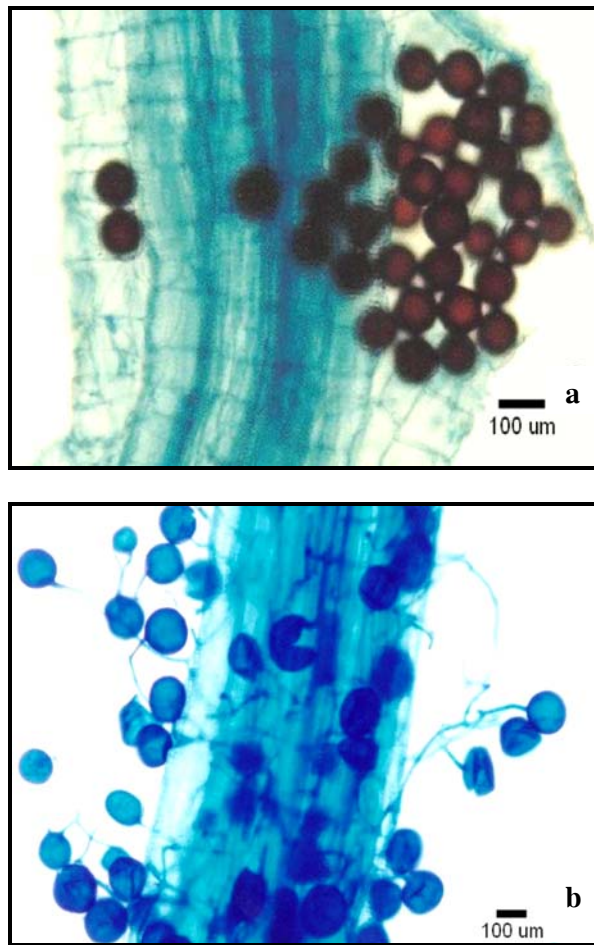


Figura 1. Hongos micorrízicos arbusculares asociados con raíces de *Cucumis melo* var. *reticulatus* cv. 'Ovación'. a) *Glomus* aff. *deserticola*; b) *Glomus* aff. *intraradices*.

En melón variedad 'Top Mark' acolchado con polietileno negro e inoculado con *Glomus* sp. Zac-19 y *Glomus intraradix*, la colonización micorrízica varió de 7 a 13 % (Flores *et al.*, 1995). Aún cuando se observó crecimiento micelial a nivel de células de raíces en melón cv. 'Ovación', al parecer estimulado por los biofertilizantes, no se encontraron arbusculos ni vesículas. Se considera que al no formarse estas estructuras la interacción planta-hongo no es óptima, ya que los arbusculos cumplen la función de intercambio de nutrientes y las vesículas de almacenamiento.

La carencia de una simbiosis funcional podría deberse a la continua aplicación de fertilizantes químicos en el área experimental a través del riego por goteo. Se ha observado que en terrenos con alto contenido de fósforo y nitrógeno generalmente se retarda el establecimiento de la micorrización. Matías y Ferrera-Cerrato (1993), al inocular con hongos micorrízicos e incorporar estiércol de bovino en un

cultivo de maíz-frijol-haba, encontraron que la fertilización química disminuyó la colonización.

Rendimiento

El peso, diámetro y número de frutos, así como el rendimiento no variaron significativamente entre el testigo y los tratamientos con los tres biofertilizantes ($P > 0.05$). El rendimiento promedio fue de 23.5, 22.3, 21.8 y 20.5 t ha⁻¹ con Z-Plex, testigo, Maya-Magic y Soil-Plex, respectivamente. Flores *et al.* (1995) al evaluar la producción de melón variedad 'Top Mark' acolchado con polietileno negro calibre 150 µm, determinaron que no hubo un aumento significativo con la inoculación de los HMA *Glomus* sp. Zac 19 y *Glomus intraradix*. Sin embargo, estos autores observaron una tendencia con la cepa Zac 19, ya que se produjo mayor rendimiento sin la adición de estiércol, pero conforme se incrementó el nivel de éste *G. intraradix* fue más eficiente y alcanzó una producción de más de 25 t ha⁻¹. Estos autores consideraron que el bajo nivel de inóculo utilizado (30 g/planta) al momento de la siembra, pudo ser la causa de la poca efectividad de los hongos micorrízicos.

Calidad postcosecha

Al inicio del estudio, los frutos registraron un peso promedio entre 1.2 y 1.5 kg, con el valor más bajo en el tratamiento con Z-Plex y el más alto con Soil-Plex. En todos los casos, el peso de los frutos fue disminuyendo al transcurrir el tiempo de almacenamiento a 20 °C, y al final de éste se registró una pérdida de peso fresco con respecto a su peso inicial de 4.9, 4.6, 4.5 y 4.2 % para Z-Plex, testigo, Maya-Magic y Soil-Plex, respectivamente (Figura 2A), sin diferencias significativas entre los biofertilizantes y el testigo ($P > 0.05$). Según Mayberry y Hartz (1992), la pérdida de peso durante el almacenamiento de melón reticulado se ha identificado como uno de los factores que afecta la calidad, misma que ocurre por efecto de la transpiración causada por las redes formadas en la corteza del melón. Sin embargo, el porcentaje de reducción de peso observado en este estudio no fue suficiente para causar marchitez o signos de deterioro en los frutos, y éstos se consideraron como aceptables dentro del rango establecido en las Normas de Calidad (SECOFI, 1996).

Los frutos fueron firmes al inicio del almacenamiento a 20 °C, con valores entre 21.5 y 23.6 N, para los tratamientos Maya-Magic y Soil-Plex, respectivamente. Al transcurrir el tiempo se observó una disminución en la firmeza en todos los tratamientos (Figura 2B), en donde los tratamientos Soil-Plex, Z-Plex, testigo y Maya-Magic presentaron valores de 6.9, 8.1, 10.1 y 10.6 N, respectivamente, a los 8 d de almacenamiento. No se encontraron

diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$), por lo que la aplicación de los biofertilizantes y acolchado no alteró la calidad física del fruto de melón.

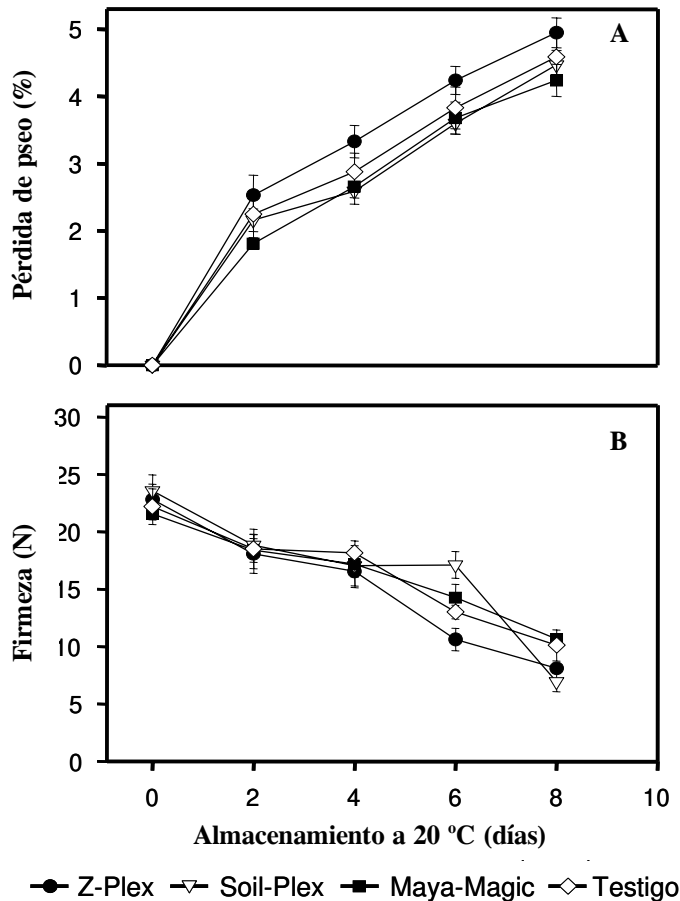


Figura 2. Efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre la pérdida de peso fresco (A) y firmeza (B), en melón cv. Ovación acolchado con polietileno negro durante el almacenamiento a 20 °C.

Los sólidos solubles totales (SST) fluctuaron ligeramente durante el almacenamiento a 20 °C (vida de anaquel). Inicialmente se determinó entre 9.4 y 10.1 °Brix para los tratamientos Soil-Plex y testigo, respectivamente,

los cuales aumentaron por efecto de concentración debido a la pérdida de peso del fruto (Cuadro 3). A los 8 d a 20 °C se obtuvieron valores de SST entre 9.2 y 10.4 °Brix para Z-Plex y Soil-Plex, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$), por lo cual los biofertilizantes no presentaron un efecto sobre esta variable. López-Elías *et al.* (1996) registraron un promedio de 10 °Brix en melón variedad 'Primo' al emplear diversos colores de acolchado, sin diferencias significativas entre los plásticos evaluados. Flores *et al.* (1995) no encontraron diferencias significativas sobre los SST en melón variedad 'Top Mark' inoculado con *Glomus* sp. Zac-19 y *G. intraradix*.

Los valores de pH durante el almacenamiento del melón fluctuaron entre 6.8 y 7.0 (Cuadro 3), sin haber diferencia significativa entre tratamientos ($P > 0.05$). Asimismo, en la acidez titulable (AT) se obtuvieron porcentajes entre 3.2 y 3.5 $\times 10^{-3}$ de ácido cítrico (Cuadro 3), y también sin diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$), al igual que en las otras variables de calidad evaluadas. Valores similares en pH y AT fueron citados por Mayberry y Hartz (1992). Wills *et al.* (1998) señalan que la disminución en pH y el aumento en el porcentaje de AT expresado como ácido cítrico es indicativo de un proceso normal de maduración para este tipo de frutos.

Las variables de calidad evaluadas en los frutos de melón no mostraron diferencias significativas por el uso de biofertilizantes, lo cual indica que no es necesaria su aplicación para la obtención de melón con óptima calidad. Estos resultados son difíciles de comparar debido a la falta de literatura científica publicada referente al efecto de biofertilizantes y acolchado sobre la calidad postcosecha de frutas y hortalizas. Al evaluar el efecto de diferentes biofertilizantes y abonos orgánicos sobre el rendimiento y calidad de *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L., Sánchez *et al.* (2005) observaron un incremento en el rendimiento de ambas plantas medicinales y mejor calidad en la primera de ellas.

Cuadro 3. Calidad química del melón acolchado con polietileno negro y tratado con biofertilizantes, evaluado durante la vida de anaquel a 20 °C.

Tratamiento	0 días a 20 °C			8 días a 20 °C		
	SST*	pH	AT**	SST	pH	AT
Testigo	10.15 ns	6.98 ns	0.03 ns	9.82 ns	6.69 ns	0.05 ns
Z-Plex	9.66	6.96	0.03	9.23	6.74	0.04
Soil-Plex	9.45	6.99	0.03	10.43	6.82	0.04
Maya-Magic	9.96	6.97	0.03	10.41	6.69	0.04

Valores entre columnas con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns = no significativo; *Sólidos solubles totales; **Porcentaje de acidez titulable.

Los biofertilizantes evaluados en el presente estudio están formulados con diversos microorganismos que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo, descomponer residuos orgánicos, suprimir enfermedades en las plantas, además de aportar nutrimentos al suelo y producir compuestos bioactivos como vitaminas y hormonas que estimulan el crecimiento de las plantas. Con estos beneficios se esperaba un incremento en la colonización micorrízica, rendimiento y calidad del fruto.

Aunque aumentó el número de esporas y el porcentaje de asociación de micorrizas arbusculares, no se observó una relación micorrízica funcional (carencia de arbusculos), lo cual podría deberse a la falta de una fertilización química óptima para la interacción planta-microorganismo, y ello explicaría el efecto no significativo de los biofertilizantes sobre los factores químicos y biológicos del suelo, rendimiento y calidad del melón cultivar 'Ovación'. Anteriormente se consideraba que con la aplicación de HMA debía evitarse la fertilización química u orgánica. Sin embargo, se requiere una cantidad mínima óptima para evitar que la micorriza se convierta en parásita, más aún si se trata de una cepa agresiva (Herrera-Peraza *et al.*, 2004), pues en lugar de incrementarse la producción, la disminuiría significativamente.

En estudios posteriores resultaría importante establecer el costo energético de la simbiosis. Como no se formaron arbusculos como en el presente estudio, se asume que la esporulación y la colonización de los HMA provocan una alta demanda de energía para la planta. También sería valioso conocer el comportamiento de los HMA presentes en los biofertilizantes ante las micorrizas autóctonas y si son pasivas, semipasivas o agresivas, bajo las condiciones ambientales de esta área de estudio. Lo anterior coadyuvaría a definir las estrategias para el manejo adecuado del cultivo.

CONCLUSIONES

La aplicación de biofertilizantes no afectó significativamente los factores químicos del suelo, las UFC de hongos filamentosos de la rizósfera, rendimiento y calidad del melón cultivar 'Ovación' acolchado. El número de esporas y el porcentaje de raíces asociadas con micorrizas arbusculares (HMA) se incrementaron significativamente, pero no se observaron arbusculos por lo que la micorrización no fue funcional. Si bien los biofertilizantes tienen potencial para estimular la presencia y asociación de HMA en melón acolchado, es necesario establecer las condiciones bióticas y abióticas requeridas para una simbiosis funcional.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Vicente Danese de la compañía GIADELA S.A. de C.V. e INFOTEC-CONACYT por el financiamiento del presente trabajo, y al M. en C. Aldo Gutiérrez Saldaña del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. por su apoyo logístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Afek U, J A Menge, E L V Johanson (1991) Interaction among mycorrhizae, soil solarization, metalaxyl and plants in the field. *Plant Dis.* 75:665-671.
- AOAC (1990) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC. Washington, DC, USA. 1141 p.
- Azcón R, R Rubio, C Morales, R Tobar (1990) Interactions between rhizosphere free-living microorganisms and VAM fungi. *Agric. Ecosyst. Environ.* 29:11-15.
- Bourne M (1980) Texture evaluation of horticultural crops. *HortScience* 15:7-13.
- Brundrett M (1991) Mycorrhizas in natural ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 21:171-313.
- Castellanos J Z, J X Uvalle, A Aguilar (2000) Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. INCAPA. México. 226 p.
- Castellanos A E, M J Martínez, J M Llano, W L Halvorson, M Espiricueta, I Espejel (2005) Successional trends in Sonoran Desert abandoned agricultural fields in northern Mexico. *J. Arid Environ.* 60:437-455.
- Chalfant R B, C A Jaworski, A W Johnson, D R Summer (1997) Reflective film mulches, millet barriers, and pesticides: effects on watermelon mosaic virus, insects nematodes, soil borne fungi and yield of yellow summer squash. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102:11-15.
- Chellemi D O, S M Olson, D J Mitchell, I Secker, R McSorley (1997) Adaptation of soil solarization to the integrated management of soilborne pests of tomato under humid conditions. *Phytopathology* 87:250-258.
- Esqueda-Valle M, M Zenteno-Zevada (1991) Efecto del acolchado con polietileno sobre micoflora asociada a un cultivo de frijol. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 61:11-20.
- Feng G, Y C Song, X L Li, P Christie (2003) Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to utilization of organic sources of phosphorus by red clover in a calcareous soil. *Appl. Soil Ecol.* 22:139-148.
- Flores A, M C González, A Alarcón, R Ferrera-Cerrato (1995) Bio-producción de melón en campo. *Rev. Chapingo S. Hort.* 4:83-88.
- Gerdemann J W, T H Nicolson (1963) Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46:235-244.
- Giovanetti M, B Mosse (1980) An evolution of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol.* 84:489-500.
- González-Chávez C, R Ferrera-Cerrato, J Pérez-Moreno (1998) Biotecnología de la Micorriza Arbuscular en Fruticultura. Colegio de Postgraduados-Universidad de Tlaxcala. México. 131 p.
- Halvorson W L, A E Castellanos, J Murrieta-Saldivar (2003) Sustainable land use requires attention to ecological signals. *Environ. Managm.* 32:551-558.
- Hamel C, C Landry, A Elmi, A Liu, T Spedding (2004) Nutrient dynamics: utilizing biotic-abiotic interactions for improved management of agricultural soils. In: *New Dimensions in Agroecology*. D Clements, A Shrestha (eds). The Haworth Press. New York, USA. pp:209-248.

- Herrera-Peraza R A, E Furrázola, R L Ferrer, R Fernández-Valle, Y Torres-Arias (2004) Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciencias Biológicas* 35:113-123.
- Huerta-Rosas R (1985) *Propiedades Físicas y Químicas de Suelos*. (Manual de Laboratorio). Universidad de Guadalajara. México. 143 p.
- Jakobsen I, S E Smith, F A Smith (2002) Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. *In: Mycorrhizal Ecology*. M G A van der Heijden, I Sanders (eds). Springer-Verlag. Berlin, Germany. pp:75-92.
- Katan J (1993) Replacing pesticides with nonchemical tools for the control of soilborne pathogens – A realistic goal. *Phytoparasitica* 21:95-99.
- Keinath A P (1995) Reductions in inoculum density of *Rhizoctonia solani* and control of belly rot on pickling cucumber with solarization. *Plant Dis.* 79:1213-1219.
- Klich M A (2002) Biogeography of *Aspergillus* species in soil and litter. *Mycologia* 94:21-27.
- López-Eliás J, A Álvarez, P Valenzuela (1996) Influencia del color del acolchado plástico en la producción de melón. *Hort. Mex.* 4:136-140.
- Matías C S, R Ferrera-Cerrato (1993) Efecto de microorganismos y adición de materia orgánica en la colonización micorrízica en la recuperación de tepetates: *In: Avances de Investigación del Área de Microbiología de Suelos*. J Pérez-Moreno, R Ferrera-Cerrato (eds). Colegio de Postgraduados. México. pp:53-61.
- Mayberry K S, T K Hartz (1992) Extension of muskmelon storage life through the use of hot water treatment and polyethylene wraps. *HortScience* 27:324-326.
- Orozco-Santos M, O Perez-Zamora, O Lopez-Arriaga (1995) Floating row cover and transparent mulch to reduce insect populations, virus diseases and increase yield in cantaloupe. *Florida Entomol.* 78:493-501.
- Phillips J M, D S Hayman (1970) Improved procedures for cleaning root and staining parasites and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- Pivonia S, R Cohen, J Kigel, J Katan (2002) Effect of soil temperature on disease development in melon plants infected by *Monosporascus cannonballus*. *Plant Pathol.* 51:472-479.
- SAGAR (2000) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Hídricos. Análisis de la horticultura en México. (<http://cea.sagar.gob.mx/diagro/Docs/2000/Meln0128.htm>) (09/01/04).
- Sánchez E, H Rodríguez, C Carballo, M Milanés (2005) Influencia de los abonos orgánicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 028-4796. (<http://scielo.sld.cu>) (03/04/06).
- SAS (1994) SAS/STAT User's Guide, release 6.08 version. Statistical Analysis System Institute, Inc. Cary, USA. 705 p.
- SECOFI (1996) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - melón (*Cucumis melo* L.). NMX-FF-076-1966-SCFI.
- SIAP (2005) Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. Producción nacional de melón. (<http://siap.sagarpa.gob.mx/modelos/Cadenas/melon/prodnal.pdf>) (10/12/05).
- Stapleton J J, J E De Vay (1995) Soil solarization: a natural mechanism of integrated pest management: *In: Innovative Approaches to Integrated Pest Management*. R Reuveni (ed). CRC Press. Boca Raton, USA. pp:309-322.
- Wills R, B McGlasson, D Graham, D Joyce (1998) *Postharvest. An Introduction to the Physiology & Handling of Fruit, Vegetables & Ornamentals*. University of New South Wales Press-CAB International. Sydney, Australia. 262 p.