

EVALUACIÓN DE BIOPRODUCTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*, Mill) BAJO SISTEMA DE CULTIVO PROTEGIDO

Elein Terry[✉] y Josefa Ruiz

ABSTRACT. Indisputable ecological agriculture advances are closely linked to the proven risk, provoked to human health by foods containing toxic residuals derived from pesticides and mineral fertilizers, which has encouraged an international movement, intended to improve its biological quality by means of using available natural resources in agroecosystems. Cuba is not kept out of this situation and proposes some ecological alternatives to manage agricultural crops developed under a protected cultivation system, which are great chemical consumers. This work was carried out under protected cultivation housing conditions aimed at studying the effect of mycorrhizae and brassinosteroid analogues as ecological alternatives for tomato production under such productive system. There were seven completely randomized treatments referred to the single and combined application of bioproducts as well as its combination with mineral fertilization, so that they allowed reducing the mineral fertilization applied to crop under these conditions. According to results, when there are statistical differences compared to production control, ecological product combination stimulates plant growth and crop production. The combined application of mycorrhizae-brassinosteroid analogues (three times) + 50 % mineral fertilization enabled to obtain a larger amount of bunches (11.2) and fruits (21.0) per plant, with a fruiting percentage of 92.4 %, leading to an agricultural yield of 51.46 t.ha⁻¹, the 50 % mineral fertilization reduction being significant to be applied under a protected cultivation system.

Key words: vegetable crops, arbuscular mycorrhizae, brassinosteroid, protected cultivation

INTRODUCCIÓN

Los avances indiscutibles de la agricultura ecológica están estrechamente vinculados al riesgo demostrado, que la presencia de residuos tóxicos provenientes de los pesticidas y fertilizantes minerales aplicados en exceso a los alimentos agrícolas puede provocar a la salud hu-

RESUMEN. Los avances indiscutibles de la agricultura ecológica están estrechamente vinculados al riesgo demostrado, que la presencia de residuos tóxicos provenientes de los pesticidas y fertilizantes minerales en los alimentos agrícolas puede provocar a la salud humana, lo que ha conllevado que a escala internacional se haya generado todo un movimiento tendiente a mejorar su calidad biológica, a través del uso de los recursos naturales disponibles en los agroecosistemas. Cuba no queda al margen de esta situación y propone alternativas ecológicas para el manejo de los cultivos agrícolas desarrollados bajo sistema de cultivo protegido, los cuales son altamente consumidores de productos químicos. El presente trabajo se llevó a cabo en condiciones de casas de cultivo protegido, con el objetivo de estudiar el efecto de las micorrizas y los análogos de brasinoesteroides como alternativas ecológicas para la producción de tomate en este sistema productivo. Para el trabajo se contó con un total de siete tratamientos totalmente aleatorizados, referidos a la aplicación simple y combinada de bioproductos y su combinación con la fertilización mineral, de manera que permitieran disminuir la fertilización mineral que se le aplica al cultivo en esas condiciones. Los resultados mostraron que con diferencias estadísticas respecto al testigo de producción, la combinación de los productos ecológicos estimula el crecimiento de las plantas y la producción del cultivo. La aplicación conjunta micorrizas-análogo de brasinoesteroides (tres aplicaciones) + 50 % de la fertilización mineral, permitió obtener un mayor número de racimos (11.2) y frutos (21.0) por planta, con un porcentaje de fructificación del 92.4 %, lo que conllevó a obtener un rendimiento agrícola de 51.46 t.ha⁻¹, siendo significativa la reducción del 50 % de la fertilización mineral a aplicar bajo sistema de cultivo protegido.

Palabras clave: hortalizas, plantas, micorrizas arbusculares, brasinoesteroides, cultivo protegido

mana, lo que ha conllevado que a escala internacional se haya generado todo un movimiento tendiente a mejorar su calidad biológica, a través del uso de los recursos naturales disponibles en los agroecosistemas (1). Puede afirmarse, entonces, la preocupación existente acerca de los cultivos forzados (protegidos), debido a la utilización abundante de productos químicos que deterioran el ecosistema causando daños irreversibles al sistema suelo.

Cuba no queda al margen de esta situación y propone alternativas ecológicas para el manejo de los cultivos agrícolas bajo sistema de cultivo protegido; por tanto, se

Dr.C. Elein Terry, Investigador Agregado y Josefa Ruiz, Especialista del Departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700.

✉ terry@inca.edu.cu

imponen estas alternativas, ya que se conoce del alto consumo que se realiza de productos minerales, tanto para la nutrición como para la protección de las plantas, con vistas a lograr los altos rendimientos que se alcanzan con este sistema productivo. El cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*, Mill) es uno de los más producidos bajo el sistema de cultivo protegido; de ahí la importancia del manejo de su nutrición, con el fin de obtener frutos con un menor contenido de productos químicos, en virtud de una mejor calidad e inocuidad. El futuro de estos sistemas productivos debe concebirse bajo la premisa de una agricultura sustentable con tecnología de bajo impacto, donde se disminuya el costo de producción, se conserve el medio ambiente y logre ser sostenible en el tiempo.

Diferentes bioproductos pueden ser empleados como variantes a tener en cuenta en los sistemas de cultivo protegido, destacándose dentro de ellos la utilización de productos a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) así como productos bioactivos como los análogos epirostánicos de brasinoesteroides, los cuales constituyen alternativas ecológicas que permiten un balance nutricional adecuado para los cultivos, propiciando un estímulo en el crecimiento, desarrollo y rendimiento agrícola. El beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrízicas arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta espectacular, particularmente en suelos deficientes en fósforo asimilable; por otra parte, el mecanismo de acción de los análogos de brasinoesteroides está relacionado con su fuerte actividad biológica, donde al ser considerados como reguladores del crecimiento de las plantas, provoca un desarrollo acelerado del vegetal, cuyo efecto se ve reflejado en una mayor asimilación de los nutrientes por las plantas (2).

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de estudiar el efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y análogos de brasinoesteroides, como alternativas viables que contribuyan a disminuir la dosis de fertilizante mineral empleado en la producción de tomate en condiciones de cultivo protegido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo, se desarrollaron los experimentos en las casas de cultivo protegido pertenecientes a la división de frutales de la provincia de Santiago de Cuba; las casas son del tipo sombrilla o Tipología 2. Los trabajos se desarrollaron entre los meses de mayo-agosto de 2004 y 2005.

Las posturas procedentes del híbrido FA 572-Hazera se produjeron en bandejas que contenían como sustrato una mezcla de 50 % de humus de lombriz, 25 % de compost y 25 % de cascarilla de arroz (3). El suelo sobre el cual se desarrolló el experimento es Ferralítico Rojo, al cual se le aplicó una fertilización orgánica de base con humus de lombriz a razón de 1 kg.m²; la plantación se realizó en canteros altos de 100 cm de ancho, a doble hilera con 60 cm entre ellas y 50 cm entre plantas.

La caracterización de un perfil de este suelo se presenta en la Tabla I que se muestra a continuación.

Tabla I. Características químicas del suelo

Profundidad (cm)	pH H ₂ O	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Cationes cambiabiles (cmol.kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
(0-30)	6.9	1.68	248	0.21	12.3	3.3

Como se muestra en la tabla, es un suelo con tendencia a la neutralidad, con un bajo contenido de materia orgánica; como casi todos los suelos tropicales, presenta un alto contenido de fósforo y los tres cationes cambiabiles evaluados se encuentran con un bajo contenido en ese suelo.

En el experimento se utilizó un producto a base del HMA *Glomus hoi-like* (25 esporas.g⁻¹), aplicándose 2 g por alvéolo (4); se utilizó además el producto bioactivo Biobras-16 (BB-16), que tiene como ingrediente activo un análogo epirostánico de brasinoesteroides, el cual fue asperjado una semana posterior a la germinación, en el momento del trasplante (T) y en la etapa de floración-fructificación (FI-Fr), a una dosis de 25 mg.ha⁻¹ (5).

Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

1. Testigo de producción (100 % de fertilización mineral)
2. Plántulas micorrizadas con HMA (cepellones sin fertilización mineral)
3. Aspersión foliar de BB-16 (plántulas en cepellones sin fertilización mineral)
4. Plántulas micorrizadas y asperjadas con BB-16 (cepellones sin fertilización mineral)
5. HMA+BB-16 (cepellones) + BB-16 (en el momento del trasplante) + 50 % fertilización mineral
6. HMA+BB-16 (cepellones) + BB-16 (en floración - fructificación) + 50 % fertilización mineral
7. HMA+BB-16 (cepellones) + BB-16 (en el momento del trasplante y en floración-fructificación) + 50 % fertilización mineral

Previo al trasplante, a una muestra de 15 plantas por tratamiento, se les evaluaron las siguientes variables de crecimiento: altura de las posturas (cm), diámetro del tallo (cm) y longitud radicular (cm). En la plantación, a una muestra similar, se les evaluaron el número de racimos y frutos por planta; con estos datos se calcularon el porcentaje de fructificación y rendimiento agrícola. Para el contenido de NPK foliar (%), se utilizó el método de digestión húmeda con H₂SO₄+Se, según Kjeldahl, para determinar nitrógeno y por determinación colorimétrica con reactivo Nessler y azul de molibdeno para determinar fósforo, por fotometría de llama para el potasio (6). Las muestras para los referidos análisis fueron tomadas en la fase de floración-fructificación del cultivo, entre el tercero y quinto par de hojas.

Para el porcentaje de colonización por HMA, se tomaron muestras de raicillas de 10 plantas por tratamiento, realizándose las evaluaciones en las siguientes fases fenológicas del cultivo: a los 30 (momento de trasplante), 60 (etapa de floración) y 120 días (etapa de cosecha y senescencia de las plantas).

El experimento se desarrolló bajo un diseño totalmente aleatorizado con 15 repeticiones. Los datos obtenidos (media de los dos años) fueron sometidos a un Análisis de Varianza de clasificación simple, aplicándose la prueba de Rangos Múltiples de Duncan en caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos; para los referidos análisis se empleó el programa estadístico SPSS 11.5 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla II se observa la influencia de los tratamientos sobre algunas variables del crecimiento de las plántulas, al momento del trasplante (25 días después de la germinación), según indicaciones del manual para cultivo protegido de las hortalizas (3). Para cada una de las variables evaluadas, se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos testigo de producción (T1) y aquellos donde fue aplicado el BB-16 (T3 y T4), poniéndose de manifiesto la influencia positiva del análogo de brasinoesteroide como producto bioactivo, capaz de estimular el crecimiento de las plántulas en su etapa inicial de crecimiento. Diferentes estudios han demostrado la factibilidad de utilizar tanto los hongos micorrizógenos como los análogos de brasinoesteroides en la fase de semillero a campo abierto en el cultivo del tomate (7).

Tabla II. Efectos del empleo de bioproductos en el crecimiento de las plántulas

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Longitud radical (cm)
Testigo de producción	14.72 b	4.57 b	15.65 b
HMA (cepellones)	11.55 c	3.25 c	13.22 c
BB-16 (cepellones)	18.47 a	5.57 a	16.42 a
HMA+BB-16 (cepellones)	18.77 a	5.47 a	16.57 a
ESx	0.18***	0.10***	0.09***

Medias con letras comunes no difieren significativamente según Duncan $p < 0.001$

El manual para cultivo protegido (3) plantea que entre los 24 y 30 días de edad de las posturas, se debe realizar el trasplante; en ese momento, las plántulas tendrán aproximadamente entre 12 y 14 cm de altura, y alrededor de 3 mm de diámetro el tallo; en los resultados de este trabajo se demuestra que las plantas que recibieron la aspersión foliar del Biobras-16 en el momento de realizar el trasplante, sobrepasan la altura requerida con respecto a las que crecieron en el sustrato que se recomienda en la norma técnica, lo que permite demostrar y corroborar el efecto hormonal de este análogo como estimulador del crecimiento de las plantas (5). Por otra parte, se corrobora la ausencia de respuesta a la micorrización en esta etapa del cultivo (T2), donde aún no ha respondido la planta a la presencia del hongo, lo cual ha sido demostrado en experimentos anteriores (7).

Los brasinoesteroides constituyen las fitohormonas, que en la actualidad se definen como reguladores producidos por las plantas y que a bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos de estas y tienen una baja toxicidad *vide post*. Así mismo, muestran varios tipos de actividades reguladoras en el crecimiento y desarrollo de las plantas, tales como la estimulación en el alargamiento y la división celular, inclinación de la lámina y cambios en los potenciales de membrana (8). Por otra parte, se plantea que los brasinoesteroides pueden funcionar como auxinas en un momento y como giberelinas o citoquininas en otros, así como estimulan la producción de etileno inducida por las auxinas.

La respuesta de las plantas a la micorrización se observa en la Figura 1, donde se muestra la ausencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos en la evaluación realizada a los 30 días de edad de las plántulas, en total correspondencia con la evaluación anteriormente descrita en cuanto al crecimiento de las plantas, debiéndose esta situación a la denominada etapa parasítica, por la que atraviesa la simbiosis HMA-planta (9), en la cual ocurre una disminución en la velocidad de crecimiento del hongo, extendiéndose este período a cuatro semanas aproximadamente, dependiendo de los factores que afectan la interacción hongo-planta.

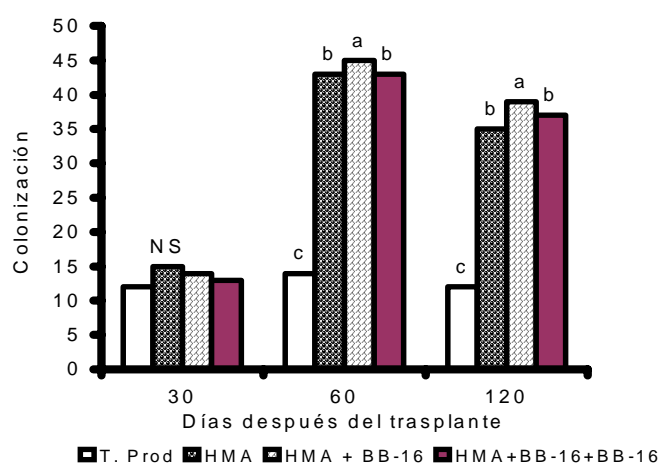


Figura 1. Respuesta de las plantas a la colonización micorrízica en tres momentos diferentes de edad de las plantas

Sin embargo, en las evaluaciones realizadas a los 60 y 120 días posteriores a la germinación, se observa un porcentaje de colonización radicular que oscila entre un 40 y 45 %; los mayores niveles se alcanzan en la evaluación realizada a los 60 días, coincidiendo con la etapa de plena floración del cultivo, en la cual es alta la demanda de agua y nutrientes, y donde el microorganismo expresa de manera más eficiente su simbiosis con la planta; no ocurre así a los 120 días de edad de las plantas, donde el nivel de colonización comienza a disminuir, lo cual está en estrecha relación con la senescencia del cultivo.

En cada momento de evaluación se mantiene un comportamiento similar para el tratamiento testigo de producción, donde la micorriza nativa alcanza de un 10 a 15 % de colonización en el sistema radicular del cultivo.

El efecto de los bioproductos aplicados en la fase de plantación (Tabla III), arrojó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. La variante en la cual se combinó la inoculación con HMA (*Glomus hoi-like*) y la aspersión foliar del análogo de brasinoesteroide Biobras-16 en las bandejas y la posterior aplicación de este mismo producto a los cinco días de trasplante, así como en la fase de floración-fructificación (T7), difirió significativamente del testigo de producción (T1), siendo este tratamiento en el que se obtuvo un mayor número de racimos y frutos por planta, así como un mayor porcentaje de fructificación, lo que redundó en un incremento del rendimiento agrícola en este cultivo, difiriendo además de los restantes tratamientos evaluados.

Tabla III. Efectos de los bioproductos en el rendimiento agrícola y algunos de sus componentes

Tratamientos	No. racimos/planta	No. frutos/planta	Fructificación (%)	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
Testigo de producción (100 % fertilización mineral)	11.52 a	19.75 b	91.3	53.18 b
HMA (sin FM)	5.35 d	12.74 e	80.5	32.84 g
BB-16 (sin FM)	5.45 d	12.75 e	80.3	33.53 f
HMA+BB-16 (sin FM)	7.57 c	14.75 d	81.6	39.31 e
HMA+BB-16 (cepellones)+BB-16 (en T)+50 % fertilización mineral	9.40 b	17.75 c	88.5	49.15 d
HMA+BB-16 (cepellones)+ BB-16 (en FI-Fr)+50 % fertilización mineral	9.35 b	17.74 c	89.3	50.32 c
HMA+BB-16 (cepellones)+ BB-16 (en T y FI-Fr)+50% fertilización mineral	11.67 a	20.75 a	92.4	54.38 a
ESx	0.12***	0.25***	---	0.05***

T: trasplante FI-Fr: floración-fructificación FM: fertilización mineral
Medias con letras comunes no difieren significativamente para $p < 0.001$

En los resultados se aprecia, además, que la aplicación de los productos en ausencia de la fertilización mineral (tratamientos 2, 3 y 4) va en detrimento del rendimiento agrícola y los componentes evaluados, aspecto no deseado ya que la única manera de amortizar los altos costos de estos sistemas productivos, dados por las instalaciones y los productos utilizados, es garantizando obtener altas producciones (10).

La ausencia de diferencias entre el tratamiento donde se introducen las alternativas ecológicas combinadas con el 50 % de la fertilización mineral (T7) y el testigo de producción (T1), demuestra cómo la combinación de estos productos permite disminuir las aplicaciones de fertilizantes minerales, haciéndose un uso más eficiente de ellos en este sistema, sin que se afecte la producción agrícola del cultivo, lo que redundará además en un beneficio económico a partir de la sustitución parcial del fertilizante mineral que requiere el cultivo, los cuales en su gran mayoría son de importación.

Para corroborar el criterio anterior, el análisis realizado en cuanto al contenido de nitrógeno, fósforo y potasio foliar de las plantas (Tabla IV), permitió comprobar la efectividad de las variantes estudiadas, donde los mayores porcentajes de NPK se obtuvieron en aquellas plantas que se inocularon con HMA (*Glomus hoi-like*) y recibieron la aspersión foliar de Biobras-16 en las bandejas y dos aplicaciones en el trasplante (T7), el cual no difirió del testigo de producción (T1).

Diferentes estudios han demostrado que la micorrización, más que presentar una preferencia por uno u otro elemento, se comporta como un mecanismo que permite a las plantas obtener sus requerimientos nutricionales, dependiendo de su disponibilidad en el sistema (11, 12).

Tabla IV. Efectos de los bioproductos en el contenido de NPK foliar

Tratamientos	N (%)	P (%)	K (%)
Testigo de producción	5.87 a	1.16 a	5.85 a
HMA	3.38 c	0.84 c	2.17 c
BB-16	3.25 c	0.81 d	2.12 c
HMA+BB-16	3.47 c	0.86 c	2.18 c
HMA+BB-16 (cepellones)+ BB-16 (en T)+ 50% fertilización mineral	4.16 b	0.93 b	4.31 b
HMA+BB-16 (cepellones)+ BB-16 (en FI-Fr)+ 50% fertilización mineral	4.14 b	0.95 b	4.34 b
HMA+BB-16 (cepellones)+ BB-16 (en T y FI-Fr)+ 50% fertilización mineral	5.84 a	1.22 a	5.91 a
ESx	0.03***	0.02***	0.02***

T: trasplante FI-Fr: floración-fructificación
Medias con letras comunes no difieren significativamente para $p < 0.001$

Por otra parte, los HMA son incapaces de subsistir fuera de la simbiosis; en esta relación beneficiosa, el vegetal cede al hongo hidratos de carbono y el hongo facilita a la planta un mejor abastecimiento mineral, especialmente de fósforo, elemento que se mueve por dilución en la solución del suelo, además que presenta una alta capacidad de fijación en los suelos tropicales (13, 14); de ahí que la inoculación de este hongo se hace indispensable, como una vía para poner a disposición de las plantas este importante macroelemento.

Por otra parte, por su papel como traslocador de los productos del metabolismo de las plantas, los análogos de brasinoesteroides pueden ser considerados alternativas complementarias para la nutrición, a partir de su efecto positivo en el estímulo del crecimiento y desarrollo de las plantas.

Los bioproductos permiten desarrollar cultivos con bajas aplicaciones de fertilizantes minerales, los cuales en condiciones de cultivo protegido, se aplican en altas dosis sobre todo N, P y K. Estos productos por sus efectos fisiológicos en los cultivos permiten que las plantas posean una mayor capacidad de absorción de los elementos nutritivos.

De acuerdo con los resultados, puede concluirse que la combinación HMA-análogos de brasinoesteroides con el 50 % de la fertilización mineral, son una alternativa viable para la producción de tomate bajo sistema de cultivo protegido, lo que permite un estímulo del crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas así como la producción del cultivo, haciéndose una contribución a la disminución del impacto ambiental y a la calidad e inocuidad de las cosechas.

REFERENCIAS

1. FAO. Mejoramiento de la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas frescas: un enfoque práctico. Manual para multiplicadores. Roma, 2004. 246 p.
2. Terry, E.; Leyva, A. y Díaz, M. Biofertilizantes y productos bioactivos, alternativas para la asociación maíz-tomate en el período temprano de siembra. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p. 5-11.
3. IHDL. Manual para la producción protegida de hortalizas. La Habana. 2006, 211 p.
4. Fernández, F.; Vanega, L. F.; Noval, B. y Rivera, R. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. No. 22641. 2000.
5. Nuñez, M.; Domingos, J. P.; Torres, W.; Coll, F.; Alonso, E. y Benítez, B. Influencia del análogo de brasinoesteroide Biobras-6 en el rendimiento de plantas de tomate cultivada INCA-17. *Cultivos Tropicales*, 1995, vol. 16, no. 3, p. 49-52.
6. Paneque, V. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana. 2001.
7. Terry, E. Microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativas para la producción ecológica de tomate (*Solanum lycopersicum*, Mill). [Tesis de doctorado]; INCA. 2005.
8. Davies, P. Plant hormones, biosynthesis, signal transduction. London: Action Kluwer Academic Publishers, 2004.
9. Dood, Y. Inter and intraspecific variations within the morphologically-similar arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* and *Glomus coronatum*. *New Phytologist*, 1996, no. 133, p. 113-122.
10. Castilla, N. Invernaderos de plásticos. Tecnologías y manejo. Edit. Mundi-Prensa, 2004. 462 p.
11. Borie, F. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. *Soil & Tillage Research*, 2006, vol. 88, no. 1-2, p. 53-61.
12. Baller, O. Inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de cajueiro-anão-precoce. *Pesquisas Agropecuarias Brasileiras*, 2004, vol. 39, no. 5, p. 477-483.
13. Fujiyoshi, M.; Kagawa, A.; Nakatsubo, T. y Masuzawa, T. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil developmental stages on herbaceous plants growing in the early stage of primary succession on Mount Fuji. *Ecological Research*, 2006, vol. 21, no. 2, p. 278-284.
14. Tanaka, Y. y Yano, K. Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied. *Plant Cell and Environment*, 2005, vol. 28, no. 10, p. 1247-1254.

Recibido: 10 de marzo de 2008

Aceptado: 6 de octubre de 2008