

**EFFECTO DE LOS HONGOS MICORRÍMICOS ARBUSCULARES EN UN CULTIVO
ECOLÓGICO DE AJÍ (*Capsicum annuum* L.) CACHO DE CABRA**

**Effect of the arbuscular mycorrhizal fungi in an ecological crop on pepper (*Capsicum annuum* L.)
cacho de cabra**

Claudia Castillo R.^{1*}, Leonardo Sotomayor S.¹, César Ortiz O.¹, Gina Leonelli C.¹, Fernando Borie B.², y
Rosa Rubio H.²

ABSTRACT

“Mapuche” farmers in southern Chile have for many decades cultivating local ecotypes of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) called locally “Cacho de cabra”. It is used to make “merkén”, a condiment that is consumed locally and exported. This vegetable requires a nursery stage and can obtain nutritional benefits from symbiotic associations such as mycorrhizal fungi, achieving better adaptation to transplanting. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are obligate biotrophs appearing in abundance in agroecosystems with conservation management. The aim of this study was to compare effectiveness of two AMF, a commercial mycorrhizal inoculant (IC, *Glomus intraradices*) and another native (IN, *Glomus claroideum*) with a control without inoculation (-I) on the production and quality of “Cacho de cabra”. At 45 days after sowing (DAS) transplanting was carried out and at 90 and 216 DAS fruit quality, fungal and edaphic parameters were evaluated. The harvest was at four steps. With IN inoculation higher taller plants and with greater foliar area were obtained. Also, its precocity of fruit production was observed. The harvest started 49 days earlier and fresh weight was 177% higher than that of the control. Root colonization was low, showing significant differences between IN and IC, while a large number of spores was produced in the substrate. It was concluded that inoculation with native fungi decreased transplanting stress thus accelerating the maturation stage of plants and resulting in higher and better yield quality.

Key words: mycorrhiza, inoculant, biofertilizers, fruit quality, vegetables.

¹ Universidad Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Agronomía. Casilla 15-D, Temuco, Chile. E-mail: ccastill@uct.cl *Autor para correspondencia.

² Universidad de La Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. Departamento de Ciencias Químicas. Casilla 54-D, Temuco, Chile. E-mail: fborie@ufro.cl
Trabajo presentado en LVIII Congreso Agronómico de Chile (2007) y VII Congreso Internacional de Recursos Naturales (2007)

RESUMEN

En el sur de Chile, agricultores mapuches han cultivado durante décadas ecotipos locales de ají (*Capsicum annuum* L.) “Cacho de cabra” para elaborar “merkén”, producto con reconocidas ventajas en el mercado internacional. Esta hortaliza requiere etapa de almácigo, pudiendo beneficiarse nutricionalmente con la asociación simbiótica del tipo micorrizas, logrando una mejor adaptación al trasplante. Los hongos micorrícicos arbusculares son biótrofos obligados abundantes en agrosistemas con manejo conservacionista. El objetivo de este estudio fue comparar, en invernadero, el efecto de la inoculación de dos hongos, uno comercial, *Glomus intraradices* (IC) y otro nativo, *Glomus claroideum* (IN) con un testigo sin inoculación (-I) sobre la producción y calidad de ají “Cacho de cabra”. A los 45 días después de la siembra (DDS) se realizó el trasplante y a los 90 y 216 DDS se evaluaron parámetros de calidad del fruto, fúngicos y edáficos. La cosecha fue escalonada en cuatro etapas. Con la inoculación de IN se obtuvieron plantas de mayor altura y área foliar que mostraron mayor velocidad de desarrollo del fruto adelantándose la cosecha en 49 días y con aumentos en el peso fresco de 177% en relación al control. La colonización en las raíces de ají fue baja con diferencias significativas entre IN e IC, mientras que una gran cantidad de esporas permaneció en el sustrato. Se concluye que la inoculación con hongos nativos disminuyó el estrés del trasplante acelerando la maduración del ají con aumento de producción y calidad.

Palabras clave: micorriza, inoculante, biofertilizantes, calidad fruto, hortalizas.

INTRODUCCIÓN

La micorriza es una simbiosis mutualística que se establece entre los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y las raíces de la mayoría de las plantas vasculares. Los hongos mediante extensas redes de micelio mejoran la captación de nutrientes poco móviles como P (Souchie *et al.*, 2006), Cu y Zn, además de mejorar la absorción de agua (Augé, 2004), captando a su vez el C fijado como hexosa desde el apoplasto de la corteza de la raíz (Douds *et al.*, 2005). Sin embargo, no todas las combinaciones HMA-planta son compatibles, pudiendo algunos hongos beneficiar en mayor grado a un hospedero y adaptarse a determinadas condiciones edafoclimáticas evidenciando marcadas diferencias, no sólo estructurales, sino también funcionales, entre especies e incluso morfotipos de una misma especie (Linderman y Davis, 2004). Para lograr una inoculación efectiva es necesario conocer la compatibilidad entre un determinado hospedero y los HMA, para seleccionar la cepa adecuada para un cultivo específico (Rodríguez *et al.*, 2004).

En la actualidad los HMA son importantes en agricultura ecológica, por los beneficios que incorporan a la mayoría de los cultivos y a la conservación medioambiental, al actuar como biofertilizantes, bioprotectores y agentes de biocontrol (Azcón-Aguilar *et al.*, 2002). En el marco de una agricultura sostenible, que incluye un manejo más respetuoso del medioambiente a partir del uso sostenible de los recursos y del aprovechamiento de las estrategias que posee la propia naturaleza para su autorregulación, el suelo es considerado como un elemento activo del sistema, compuesto por factores físicos, químicos y biológicos interrelacionados entre sí, formando los HMA parte del microcosmos biológico. Por lo tanto, el diseño de cualquier sistema de producción agrícola debiera considerar la utilización de estos microsimbiontes por ser componentes inseparables de los agroecosistemas y por realizar diversas funciones en asociación con las plantas actuando entre otros, como sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales. En este último caso no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización puede ser más eficiente, ahorrándose cantidades importantes de fertilizantes minerales junto con mejorar la absorción de los nutrientes disponibles en el suelo para las plantas.

Las hortalizas que en un comienzo requieren una etapa de almácigo, entre ellas el ají (*Capsicum annuum* L.), resultan beneficiadas por la inoculación HMA, y su uso se está incorporando en las prácticas hortícolas. Sin embargo, se desconoce la eficiencia de la infectividad de los inoculantes comerciales existentes en el mercado, pudiendo confundirse su acción por la presencia de aditivos no micorrícicos (Von Alten *et al.*, 2002) que pueden incrementar el crecimiento de la planta pero no debido a las micorrizas (Corkidi *et al.*, 2005).

En Chile se cultivan anualmente alrededor de 5000 ha de ají desde el norte hasta la zona centro-sur. La Región de La Araucanía posee condiciones favorables, especialmente para ecotipos locales, que pequeños agricultores mapuches han cultivando durante décadas, destinados principalmente a la elaboración de merkén, un aliño ancestral realizado con ají “Cacho de cabra” molido, salado y ahumado. A nivel nacional, cada año se transan aproximadamente 9000 t de ají, donde la variedad “Cacho de cabra” se acerca a las 1500 t, de las cuales entre 3% y 6% se destinan a la elaboración de merkén. Dada la importancia económica y cultural de esta hortaliza en la Región de la Araucanía, Chile, el objetivo del estudio fue comparar, en invernadero, el efecto de la inoculación de dos tipos de HMA, uno comercial (*Glomus intraradices*) y otro nativo (*Glomus claroideum*) con un testigo sin inoculación (-I), sobre la producción y calidad de ají “Cacho de cabra”.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se sembró en enero de 2007 en los invernaderos de la Universidad de La Frontera; a los 45 días después de la siembra (DDS) se trasplantaron los plantines. La cosecha fue escalonada en cuatro etapas (167, 189, 203 y 216 DDS), finalizando en julio del mismo año.

Bioensayo

Para la siembra del material biológico se usaron macetas de 250 mL utilizando como sustrato un Ultisol proveniente de la localidad de Purén (38°40' S, 73°00' O) cultivado con ají durante varios años por pequeños agricultores mapuches, mezclado con arena y vermiculita (relación 7:2,5:0,5), esterilizado con vapor fluente por 1 h durante 3 días consecutivos para eliminar los HMA nativos (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Parámetros químicos de un Ultisol inoculado con hongos micorrícicos arbusculares nativo (IN) y comercial (IC) y control no inoculado (-I), en floración y fructificación.

Table 1. Chemical parameters in an Ultisol under glasshouse conditions inoculated with native (IN) and commercial (IC) arbuscular mycorrhizal fungi, and non inoculated control (-I), in flowering and fruiting stage.

Parámetros	Floración			Fructificación		
	-I	IC	IN	-I	IC	IN
pH	5,65a	6,13a	6,38a	5,25a	5,28a	5,55a
MO, %	8,29a	9,30a	8,43a	7,83a	8,93a	9,22a
P disponible, mg kg ⁻¹	3,05b	4,73ab	6,29a	2,60a	2,16ab	1,84b
P-asa, mg PNF gsh ⁻¹	0,75a	0,71a	0,79a	1,51a	1,41a	1,29b

P-asa: actividad fosfatásica

Letras distintas para cada parámetro en floración y fructificación indican diferencias según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Se utilizaron dos tipos de inóculo HMA: uno nativo *G. claroideum* (IN) y otro comercial *G. intraradices* (IC). A cada unidad experimental se le añadió el equivalente a 20 mL del inóculo sólido usando como control el mismo sustrato sin inoculación (-I). En cada maceta se sembraron dos semillas de ají desinfectadas y pre-germinadas provenientes de ecotipos locales de la región, cubriéndolas con el mismo sustrato, en un diseño completamente al azar con 40 repeticiones, en total 120 unidades experimentales, que se mantuvieron en invernadero controlando luz, temperatura y humedad. A los 45 DDS se trasplantaron los plantines de altura y área foliar similar, a raíz cubierta, a bolsas de polietileno

conteniendo 5 L de sustrato estéril. En esta etapa se usaron 16 repeticiones por tratamiento, con un total de 48 plantas. Al inicio de la floración (90 DDS) y en fructificación (216 DDS) se determinaron en ocho repeticiones de cada tratamiento: variables agronómicas, parámetros fúngicos y parámetros químicos del sustrato.

Variabes agronómicas: a) Número de hojas; b) área foliar (cm^2) mediante analizador digital de imágenes; c) peso fresco planta; d) peso seco radical y foliar (hojas, tallos) realizado en estufa de aire forzado a 70°C por 48 h hasta peso constante; e) relación tallo/raíz (T/R); y f) longitud radical, mediante el método del intercepto de líneas (Newman, 1966).

Parámetros fúngicos: a) Porcentaje colonización HMA en las raíces utilizando tinción con azul de tripán (Phillips y Hayman, 1970); b) micelio fúngico, usando metodología para suelos derivados de cenizas volcánicas, mediante extracción con glicerina ácida y posterior cuantificación por el método del intercepto de líneas (Rubio *et al.*, 2003); y c) número de esporas por el método del tamizado húmedo y decantación en gradiente de sacarosa (Sieverding, 1991).

Parámetros químicos y actividad enzimática en el sustrato: a) pH en relación suelo:agua (1:2,5); b) materia orgánica (MO, %) por digestión ácida con dicromato (Walkley y Black, 1934); c) P disponible mediante extracción con NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5 (Olsen y Sommers, 1982) y actividad fosfatásica ácida (E.C.3.1.3.2. ortofosfóricomonoesterfosfohidrolasa) que se determinó usando *p*-nitrofenilfosfato de acuerdo con metodología descrita por Tabatabai y Bremner (1969).

Desde los 15 DDS y hasta la cosecha se midió periódicamente la altura de planta (cm) desde la base hasta el ápice. La cosecha se realizó escalonada entre los 170 y 216 DDS, mediante apreciación visual además, se incluyeron evaluaciones de calidad del fruto.

Parámetros del fruto: a) Número, peso fresco y peso seco (g), largo y diámetro ecuatorial (mm) del fruto; b) largo y diámetro de pedúnculo (mm); c) acidez total titulable (ATT) determinada en la pulpa molida con un potenciómetro hasta punto final 8,2 y expresada como porcentaje de ácido cítrico anhidro 100 mL^{-1} de zumo (Tressler y Joslyn, 1961); d) pH, con un potenciómetro en gotas de pulpa molida; e) sólidos solubles totales (SST) con un refractómetro ($^\circ\text{Brix}$), este índice comercial considera todos los sólidos disueltos como sacarosa; f) índice de madurez, corresponde a la relación entre el azúcar y ácido ($^\circ\text{Brix}/\%$ ácido cítrico) que expresa la suma de los ácidos cítrico, málico, oxálico y tartárico; g) contenido

de ácido ascórbico (AA) por volumetría utilizando el método Tillmans basado en la reducción del 2,6-diclorofenolindofenol (Schmidt-Hebbel, 1981).

Análisis estadístico

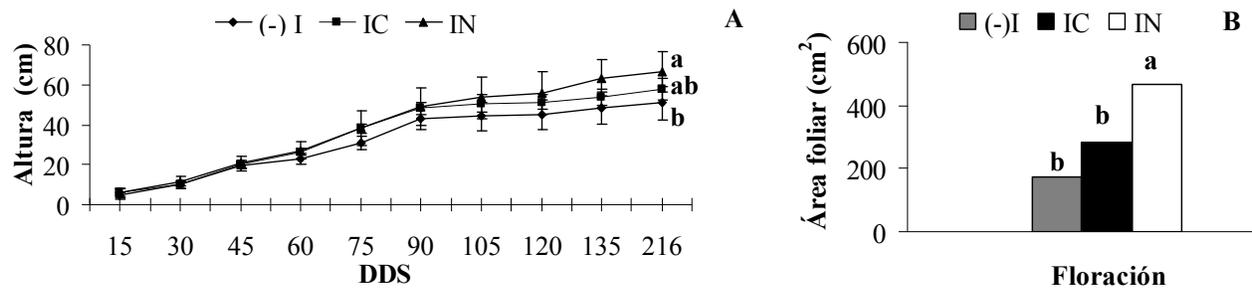
Los datos obtenidos se sometieron a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (1965) y luego se realizó ANDEVA de un factor usando la prueba *a posteriori* de separación de medias de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$). En las mediciones de altura de planta, para la normalización de datos se usó la prueba de Shapiro-Wilk, sometiéndose a un ANDEVA de medidas repetidas en el tiempo, verificándose esfericidad mediante la prueba de Mauchly, con corrección de grados de libertad por Greenhouse-Geisser (1959). Finalmente, se aplicó la prueba *a posteriori* de separación de medias de rango múltiple de Tukey ($P < 0,05$). Se realizaron correlaciones lineales de Pearson entre algunas variables agronómicas, fúngicas y del sustrato ($P < 0,05$). Para el procesamiento de la información se utilizó el software SPSS para Windows versión 15.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los parámetros químicos medidos en las etapas de floración y fructificación (**Cuadro 1**), el pH del suelo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, pero resultó importante para el desarrollo de los propágulos fúngicos ya que se relacionó significativamente con el número de esporas en el suelo ($r = 0,52$; $P < 0,05$). Al respecto, Friberg (2001) informó que el pH influye en algunas especies HMA en su capacidad colonizadora de raíces. En floración se encontró una baja cantidad de P disponible en el sustrato, que descendió aún más en fructificación debido a que no se adicionó solución nutritiva; los Ultisoles se caracterizan por una baja disponibilidad de P y en suelos agrícolas está potencialmente disponible para las plantas dependiendo del ambiente suelo-raíz, como la enzima fosfatásica (Borie *et al.*, 1989) que presentó diferencias en fructificación, mostrando el testigo e IC un mayor contenido. Por otra parte, altos contenidos de P en un suelo pueden inhibir la formación de la simbiosis debido a una disminución en el desarrollo del micelio externo.

La micorriza aumentó la tasa de crecimiento de la planta medida como altura, la cual fue rápida hasta los 90 DDS (**Figura 1A**) para luego aumentar en IN, mientras en el testigo y *G. intraradices* permaneció prácticamente constante hasta fructificación. A los 216 DDS se encontraron diferencias significativas en las mediciones realizadas en el tiempo entre IN con (-I), registrando la mayor altura el tratamiento IN con un promedio de 66,5 cm, 15,2% superior que IC (57,7 cm) y 30,8% que el control (50,8 cm). Estos resultados concuerdan con los informados en la literatura para otras plantas (Ouahmane *et al.*, 2007).

En floración el área foliar de las plantas aumentó significativamente con la inoculación en el sustrato de *G. claroideum* incrementando en un 160% respecto al testigo y en un 59% en comparación a *G. intraradices* (Figura 1B).



Letras distintas en cada parámetro indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($P < 0,05$).

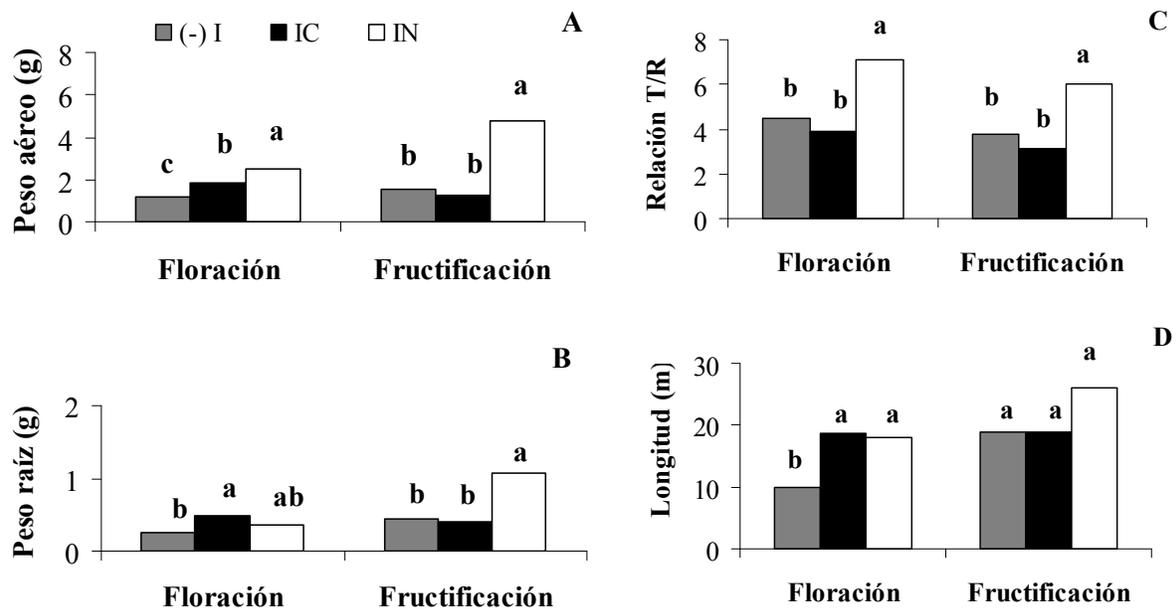
Figura 1. Efecto de la inoculación con hongos micorrícicos arbusculares nativo (IN), comercial (IC) y control no inoculado (-I) en un Ultisol en condiciones de invernadero sobre: A) altura de plantas de ají a través del tiempo (días después de siembra, DDS) y B) área foliar en floración.

Figure 1. Effect of inoculation with native (IN) and commercial (IC) arbuscular mycorrhizal fungi and non-inoculated control (-I) in an Ultisol under glasshouse conditions: A) plant height over time (days after sowing, DDS) and B) foliar area at flowering.

Según Román (2003) el número y tamaño de hojas en el cultivo de ají cumplen un rol importante, ya que pueden determinar la futura producción. Las plantas de ají inoculadas con *G. claroideum* a los 33 y 50 DDS presentaron el mayor número de hojas (4,4 y 5,6 hojas planta⁻¹, respectivamente) seguido por el testigo (4,2 y 5,3 hojas planta⁻¹), mientras el tratamiento IC mostró el menor número (3,9 y 4,9 hojas planta⁻¹). Estos resultados coinciden con los informados por Román (2003) en plantas de ají cultivadas en invernadero.

En floración, el peso seco de las plantas inoculadas con los dos morfotipos (Figura 2A) fue significativamente mayor que el de las plantas sin inoculación, soportando mejor el estrés del trasplante. El peso de las plantas IC aumentó un 60% respecto al testigo, mientras que las plantas IN incrementaron en un 116% en comparación con el control. A la cosecha IN mostró diferencias aún mayores, con un 217% de incremento en masa en relación al control. Estos resultados son superiores a los informados por Waterer y Coltman (1989) y Gaur *et al.* (1998), quienes en plantas de ají obtuvieron incrementos de 112% en un suelo inoculado con *G. intraradices*. Por el contrario, en madurez fisiológica las plantas inoculadas con IC disminuyeron notablemente su peso. Al aumentar significativamente el crecimiento vegetativo de

la planta, el inóculo nativo compuesto por *G. claroideum* mostró una gran compatibilidad asociada al ecotipo local de ají. Según Davies *et al.* (2000) es importante seleccionar HMA nativos y cepas adaptadas para alcanzar una mayor producción.



Letras distintas en cada parámetro indican diferencias significativas según prueba de Tukey ($P < 0,05$)

Figura 2. Cultivo de ají inoculado con hongos micorrícicos arbusculares nativo (IN), comercial (IC) y control no inoculado (-I) en un Ultisol en condiciones de invernadero. A) Peso seco aéreo, B) peso seco raíz, C) relación tallo/raíz y D) longitud radical, en floración y fructificación.

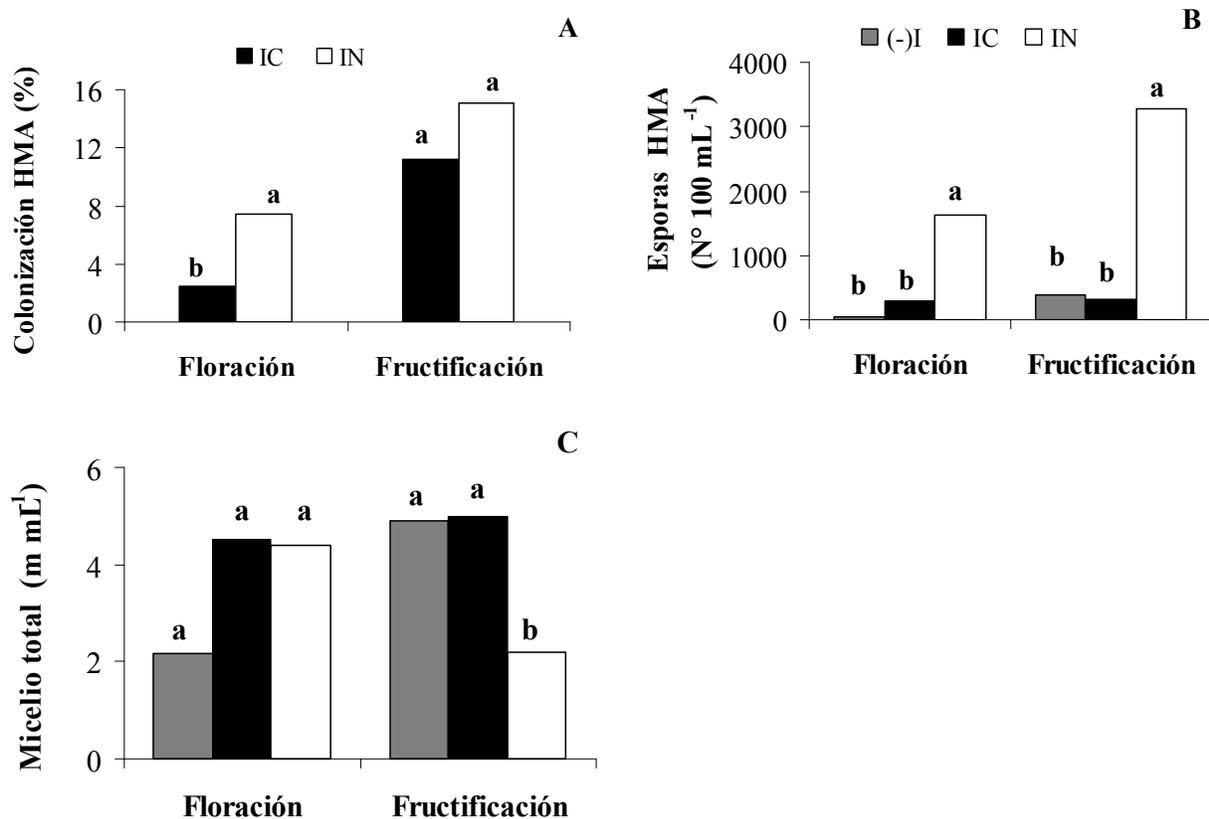
Figure 2. Pepper crop inoculated with native (IN) and commercial (IC) arbuscular mycorrhizal fungi and non-inoculated control (-I) in an Ultisol under glasshouse. A) Shoot dry weight, B) Root dry weight, C) shoot/root ratio, and D) root length, in flowering and fruiting.

La relación tallo/raíz (T/R) fue mayor en floración que en fructificación, etapa donde las plantas mostraban evidentes signos de senescencia, como caída de hojas viejas, que en consecuencia disminuyeron la materia seca. La producción de biomasa está ligada a la fenología de la planta, principalmente durante la floración y fructificación. En estas fases la planta invierte cantidades similares de fotoasimilados para la producción del fruto y parte vegetativa; al iniciarse la fructificación, el crecimiento vegetativo se limita presentando los frutos las mayores tasas de crecimiento. En las dos etapas fenológicas el tratamiento IN tuvo mayor relación T/R seguido por -I e IC (**Figura 2C**). Una alta relación T/R refleja un alto grado de efectividad micorrícica (Tobar *et al.*, 1999) siendo *G. claroideum* más efectivo para promover el crecimiento de las plantas de ají que *G. intraradices*. En comparación al control no inoculado, las plantas colonizadas por HMA nativos mejoraron su vigor, robustez, desarrollo y por

consiguiente, su producción. Este efecto beneficioso de las endomicorrizas sobre cultivos hortícolas fue informado por Aguilera-Gómez *et al.* (1999) en pimiento inoculado con *G. intraradices* al obtener plantas más desarrolladas, con mayor número de hojas, área foliar, tallo y producción. La longitud radical no presentó diferencias entre los dos tratamientos inoculados, pero sí con el control en floración que no superó los 10 m (**Figura 2D**). La capacidad de las plántulas para superar el shock de un trasplante depende de la capacidad de la raíz para soportar cambios estructurales y funcionales, de la absorción de agua y nutrientes como también de la capacidad de regeneración de nuevas raíces (Montaño-Mata y Núñez, 2003).

A los 90 DDS, en los dos tratamientos inoculados la colonización en las raíces de las plantas de ají fue baja en comparación con otros cultivos hortícolas de la región (Rubio *et al.*, 1994; 1997), fluctuando entre 2,4% y 7,4%. La colonización con *G. claroideum* fue significativamente mayor que con *G. intraradices*, diferencias que fueron anuladas en madurez fisiológica (**Figura 3A**). Una alta infectividad no siempre garantiza un mejoramiento en el crecimiento de la planta; así, se han reportado respuestas beneficiosas con sólo 0,4% de colonización HMA (Carpio *et al.*, 2005).

En floración y fructificación IN presentó el mayor número de esporas HMA, con diferencias significativas respecto a IC y el testigo (**Figura 3B**). A la cosecha, la densidad de esporas de *G. claroideum* que permanecieron en el sustrato se incrementó 950% respecto a *G. intraradices*. Al producirse una compatibilidad hongo-planta se evita el problema de “parasitismo” en el desarrollo de la simbiosis (Rodríguez *et al.*, 2004). En el control se contabilizó un número bajo de esporas a los 90 DDS, probablemente por la presencia de propágulos que resistieron las condiciones de esterilización del sustrato, siendo posteriormente exacerbados por la presencia de un hospedero compatible.



Letras diferentes en cada parámetro indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 3. Parámetros fúngicos de un cultivo de ají inoculado con hongos micorrícicos arbusculares (HMA) nativo (IN), comercial (IC) y control no inoculado (-I) en un Ultisol en condiciones de invernadero. A) Porcentaje de colonización en las raíces; B) número de esporas; y C) micelio total de HMA, en floración y fructificación.

Figure 3. Fungal parameters of pepper crop after the inoculation of native (IN) and commercial (IC) arbuscular mycorrhizal fungi (HMA) and non-inoculated control (-I) in an Ultisol under glasshouse. A) Percentage of AMF colonization; B) spore number; and C) total hyphae length at blooming and fruiting.

El color del fruto de ají se origina por los plastidios que contiene el mesocarpio que en inmadurez fisiológica son de color verde por la presencia de clorofila y en la etapa de madurez cambian a rojo. En este último estadio la clorofila y la antocianina se degradan y los cloroplastos se transforman en cromoplastos, los cuales contienen carotenoides que son los responsables del color final rojo amarillento (Popovsky y Paran, 2000; Méndez *et al.*, 2004). La velocidad de desarrollo del fruto o el tiempo antes de madurez (Gómez, 2000) fue distinta para los dos inóculos HMA. El tratamiento que mostró mayor precocidad de producción fue IN, con la primera cosecha a los 167 DDS y un 64% de frutos maduros, mientras el testigo presentó sólo un 18% de maduración, y en IC los frutos aún permanecían inmaduros. A los 189 DDS, igual porcentaje de frutos maduraron en los tratamientos inoculados (18%) finalizando la

etapa fenológica para el tratamiento IN a los 203 DDS, mientras la última cosecha para el resto de los tratamientos concluyó a los 216 DDS. La inoculación con IN anticipó 22 días el proceso de maduración proporcionándole una ventaja atractiva para el cultivo de esta hortaliza. Esta aceleración en la velocidad de desarrollo posiblemente se logró por la compatibilidad entre *G. claroideum* y el ecotipo local de ají crecido en el Ultisol (**Cuadro 2**). Así, *G. claroideum* tuvo un efecto beneficioso para las plantas y, aunque resultó poco infectivo, su comportamiento fue muy efectivo, por la alta correlación obtenida entre el peso del fruto con el peso de la planta ($r = 0,79$; $n = 24$; $P < 0,05$). Estos resultados muestran la importancia de lograr una mejor asociación entre un determinado morfotipo HMA y el ecotipo de ají, para poder mejorar y optimizar el proceso de producción.

Cuadro 2. Parámetros de calidad del fruto de ají “Cacho de cabra” en un Ultisol inoculado con hongos micorrícicos arbusculares nativo (IN) *Glomus claroideum*, comercial (IC) *Glomus intraradices* y control no inoculado (-I).

Table 2. Quality parameters of “Cacho de cabra” chili 9pepper fruits in an Ultisol under glasshouse conditions inoculated with native (IN) and commercial (IC) arbuscular mycorrhizal fungi and non-inoculated control (-I).

Parámetros de calidad del fruto	Tratamientos		
	-I	IC	IN
Nº frutos planta ⁻¹	1,0b	1,0b	2,3a
Peso fresco, g	4,9b	3,6b	13,5a
Peso seco, g	0,7b	0,4b	2,3a
Largo, mm	75,8b	96,2b	158,2a
Diámetro ecuatorial, mm	13,5b	10,6b	18,0a
Diámetro pedúnculo, mm	4,5b	4,4b	6,5a
Largo pedúnculo, mm	32,5a	32,5a	36,0a
Ácido ascórbico, mg ácido cítrico 100 mL ⁻¹	319,0a	298,0ab	294,0b
pH	5,33ab	5,69a	5,19b
Acidez total titulable (ATT)	20,0a	15,6a	22,8a
Sólidos totales solubles, °Brix	11,8a	9,7a	11,5a
Relación madurez, °Brix/%ATT	0,5a	0,7a	0,5a

Letras distintas en cada parámetro indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Los parámetros evaluados de calidad del fruto como peso, largo, diámetro y diámetro de pedúnculo fueron significativamente superiores en el tratamiento IN mientras que, entre IC y el control no se registraron diferencias (**Cuadro 2**). El peso fresco de frutos en IN se incrementó en relación al control y a IC en

177% y 272%, y el largo en 86% y 75%, respectivamente. Después del trasplante las mediciones realizadas en floración mostraron diferencias en la cantidad de propágulos entre IN e IC y el control. Según lo informado por Román (2003) la colonización HMA en plantas de ají cultivadas en invernadero favorece el número y peso fresco de frutos. Los resultados de peso de fruto fueron mayores a los informados por Mena-Violante *et al.* (2006) en *Capsicum annuum* cv. “San Luis”, donde los tratamientos inoculados alcanzaron incrementos de 25% en comparación con testigos sin inocular.

En este ensayo la inoculación con *G. intraradices* no mejoró la producción y calidad del ají “Cacho de cabra”. La mayoría de los inoculantes comerciales contienen *G. intraradices*, el cual se ha considerado como una “super cepa” y “generalista” por ser altamente infectivo para un amplio rango de cultivares (Vosatka y Dodd, 2002). Sin embargo, en este estudio las diferencias de respuesta obtenidas entre ambos inoculantes fue causada por la adaptabilidad de *G. claroideum* a las condiciones locales. Sensoy *et al.* (2007) observaron que en ocho genotipos de pimiento inoculados con *G. intraradices* y *Gigaspora margarita*, cinco cultivares inoculados tuvieron mayor peso seco mientras con tres se obtuvo menor producción, en comparación con controles no inoculados. En la actualidad existen evidencias que las cepas HMA influyen positivamente el crecimiento de la planta bajo las mismas condiciones desde las cuales fueron aisladas originalmente (Vosatka y Dodd, 2002).

Durante el proceso de maduración la pulpa del fruto presenta un alto contenido de azúcar, por la producción de almidón que se transforma en azúcares; sin embargo, la inoculación de HMA nativos y comerciales no produjo diferencias en el fruto en relación al testigo. Otro parámetro, el AA, que es un indicador sensible de la calidad durante el transporte y almacenamiento de las hortalizas por ser altamente vulnerable a la oxidación química, enzimática y a la solubilidad en agua (Martins y Silva, 2004), fluctuó entre 294 y 319 mg 100 mL⁻¹, con diferencias entre IN y el testigo. Respecto a la ATT, que es una propiedad perceptible por los consumidores, no se encontraron diferencias entre tratamientos. El bajo pH del fruto originado por la salida de ácidos orgánicos formados en los tejidos de la vacuola (González *et al.*, 2001) fluctuó entre 5,19 y 5,69.

Los frutos de los tratamientos inoculados con HMA nativos fueron significativamente más ácidos, así el consumidor los debería preferir. En floración el mayor rendimiento de la planta se alcanzó con IN, relacionado con una mayor colonización HMA en las raíces que incrementó sustancialmente en fructificación, lográndose un fruto de mayor tamaño, peso y calidad que el obtenido con IC. Los resultados muestran el efecto positivo corroborando lo informado por Llonín y Medina (2002). Se

concluye que es necesario realizar otros ensayos comparativos entre HMA nativos previo a la producción de inóculo masivo, para la inoculación de cultivos de hortalizas que requieren de almácigo o invernadero.

CONCLUSIONES

En las condiciones ensayadas, la inoculación de un sustrato con un HMA nativo, *Glomus claroideum*, en comparación con un inóculo comercial, *Glomus intraradices*, afectó positivamente la producción de ají “Cacho de cabra”, obteniéndose plantas más vigorosas, con mayor área foliar y relación tallo/raíz, que aceleraron la fructificación mejorando la calidad y dejando una gran cantidad de propágulos fúngicos en el suelo. Una vez más, estos resultados evidencian la importancia de utilizar cepas locales de HMA nativos como biofertilizantes por encontrarse mejor adaptadas a las condiciones edafoclimáticas regionales y, por tanto, se esperaría un mayor beneficio nutricional para variedad de plantas regionales que a menudo crecen en sistemas de labranza orgánicos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los proyectos FONDECYT N° 1070283 y DGIUCT N° 2006-3-02 por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación. También agradecemos al Dr. Ewald Sieverding por sus valiosos comentarios a este manuscrito.

LITERATURA CITADA

Aguilera-Gomez, L., F.T. Davies Jr., S.A. Duray, L. Phavaphutanon, and V. Olalde-Portugal. 1999. Influence of phosphorus and endomycorrhiza (*Glomus intraradices*) on gas exchange and plant growth of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* cv. San Luis). *Photosynthetica* 36:441-449.

Augé, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can. J. Soil Sci.* 84:373-381.

Azcón-Aguilar, C., M.C. Jaizme-Vega, and C. Calvet. 2002. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to the control of soil-borne plant pathogen. p. 187-197. *In* Gianinazzi, S., H. Schüepp, J.M. Barea, and K. Haselwandter (eds.) *Mycorrhizal technology in agriculture: From genes to bioproducts*. Birkhäuser Verlag AG, Basel, Switzerland.

Borie, F., H. Zunino, and L. Martínez. 1989. Macromoleculas P-asociaciones and inositol phosphates in some Chilean volcanic soils of temperate regions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20:1881-1894.

Carpio, L.A., F.T. Davies, and M.A. Arnold. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: Effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:131-139.

Corkidi, L., E.B. Allen, D. Merhaut, M. Allen, J. Downer, J. Bohn, and M. Evans. 2005. Effectiveness of commercial mycorrhizal inoculants on the growth of *Liquidambar styraciflua* in plant nursery conditions. *J. Environ. Hort.* 23:72-76.

Davies, F.T. Jr., J.A. Saraiva Grossi, L. Carpio, and A.A. Estrada-Luna. 2000. Colonization and growth effects of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in a commercial nursery container production system. *J. Environ. Hort.* 18:247-251.

Douds, D.D., G. Nagahashi Jr., P.E. Pfeffer, W.M. Kayser, and C. Reider. 2005. On-farm production and utilisation of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. *Can. J. Plant Sci.* 85:15-21.

Friberg, S. 2001. Distribution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in traditional agriculture on the Niger inland delta, Mali, West Africa. *CBM:s Skriftserie* 3:53-80.

Gaur, A., A. Adholeya, and K. Mukerji. 1998. A comparison of AM fungi inoculants using *Capsicum* and *Poliantes* in marginal soil amended with organic matter. *Mycorrhiza* 7:307-312.

Gómez, D. 2000. Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en función del clima. 70 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogota, Colombia.

González, V., M.S. Hernández, A. Herrera, J. Barrera, O. Martínez, y D. Pérez. 2001. Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (*Averrhoa carambola* L.) producida en el piedemonte amazónico colombiano. *Agronomía Colombiana* 18(1-3):53-62.

Greenhouse, S.W., and S. Geisser. 1959. On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika* 55: 431-433.

Linderman, R.G., and E.A. Davis. 2004. Varied response of marigold (*Tagetes* spp.) genotypes to inoculation with different arbuscular mycorrhizal fungi. *Sci. Hortic. (Canterbury, Engl.)* 99:67-78.

Llonín, D., y N. Medina. 2002. Nutrición mineral con N, P y K en la simbiosis hongos micorrizógenos-tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Ferralsol. *Cultivos Tropicales* 23(4):83-88.

Martins, R.C., and C.L.M. Silva. 2004. Green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) quality loss upon thawing. *J. Food Engin.* 65:37-48.

Mena-Violante, H.G., O. Ocampo-Jiménez, L. Dendooven, G. Martínez-Soto, J. González-Castañeda, F.T. Davies Jr., and V. Olalde-Portugal. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L.) plants exposed to drought. *Mycorrhiza* 16:261-267.

Méndez, M.A., G.A. Ligarreto, M.S. Hernández, y L.M. Melgarejo. 2004. Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonia colombiana. *Agronomía Colombiana* 22(1):7-17.

Montaño-Mata, N.J., y J.C. Núñez. 2003. Evaluación del efecto de la edad de trasplante sobre el rendimiento en tres selecciones de ají dulce *Capsicum chinense* Jacq. en Jusepín, estado Monagas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 20:144-155.

Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total root length in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3:139-145.

Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403-430. *In* A.L. Page *et al.* (eds.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Ouahmane, L., J. Thioulouse, M. Hafidi, Y. Prin, M. Ducouso, A. Galiana, *et al.* 2007. Soil functional diversity and P solubilization from rock phosphate after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. *For. Ecol. Manage.* 241:200-208.

Phillips, J.M., and D.S. Hayman. 1970. Improved procedure for cleaning roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55:158-161.

Popovsky, S., and I. Paran. 2000. Molecular genetics of the locus in pepper, its relation to capsanthin-capsorubin synthase and to fruit color. *Theor. Appl. Genet.* 101(1-2):86-89.

Rodríguez, Y., B. de la Noval, F. Fernández, y P. Rodríguez. 2004. Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrícicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. "Amalia"). *Ecología Aplicada* 3(1 y 2):162-171.

Román, F. 2003. Concentración de reguladores del desarrollo vegetal inducida por hongos endomicorrízicos en dos cultivares de Chile (*Capsicum annuum* L.). 121 p. Tesis Doctor en Ciencias. Universidad de Colima, Tecomán, México.

Rubio, R., F. Borie, C. Schalchli, C. Castillo, and R. Azcón. 2003. Occurrence and effect of arbuscular mycorrhizal propagules in wheat as affected by the source and amount of phosphorus fertilizer and fungal inoculation. *Appl. Soil Ecol.* 23:245-255.

Rubio, R., M. Cepeda, F. Borie, y A. Contreras. 1997. Efecto de hongos micorrizógenos arbusculares sobre el crecimiento de algunas hortalizas sobre el crecimiento de algunas hortalizas en almácigo y posterior trasplante. *Agric. Téc. (Chile)* 57:161-168.

Rubio, R., R. Uribe, F. Borie, E. Moraga, y A. Contreras. 1994. Micorrizas VA en horticultura. Velocidad de infección en lechuga y tomate y su incidencia sobre el desarrollo del cultivo. *Agric. Téc. (Chile)* 54:7-14.

Schmidt-Hebbel, H. 1981. Avances en ciencia y tecnología de los alimentos. Ed. Alfabeta Impresores colaboración Merck Química Chilena, Santiago, Chile.

Sensoy, S., S. Demir, O. Turkmen, C. Erdinc, and O.O. Savur. 2007. Responses of some different pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi. *Sci. Hortic. (Canterbury, Engl.)* 113:92-95.

Shapiro, S.S., and M.B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika* 52:591-9.

Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. 371 p. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.

Souchie, E.L., R. Azcón, J.M. Barea, O.J. Saggin-Júnior, and E.M. Ribeiro da Silva. 2006. Phosphate solubilizing and arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesq. Agropec. Bras.* 41(9):1405-1411.

Tobar, R.M., R. Azcón, and J.M. Barea. 1999. The improvement of plant N acquisition from an ammonium treated drought-stressed soil by the fungal symbiont in arbuscular mycorrhizae. *Soil Biol. Fert.* 9:1-8.

Tressler, D., and M. Joslyn. 1961. Fruits and vegetables juice-processing technology. 1028 p. AVI Publishing, Westport, Connecticut, USA.

von Alten, H., B. Blal, J.C. Dodd, F. Feldman, and M. Vosatka. 2002. Quality control of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum in Europe. p. 281-296. *In* Gianinazzi, S., H. Schüepp, J.M. Barea, and K. Haselwandter (eds.) *Mycorrhizal technology in agriculture: From genes to bioproducts*. Birkhäuser Verlag AG, Basel, Switzerland.

Vosatka, M., and J.C. Dodd. 2002. Ecological considerations for successful application of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum. p. 235-247. *In* Gianinazzi, S., H. Schüepp, J.M. Barea, and K. Haselwandter (eds.) *Mycorrhizal technology in agriculture: From genes to bioproducts*. Birkhäuser Verlag AG, Basel, Switzerland.

Walkley, A., and Y.A. Black. 1934. An examination of the Detjareff method for determining soil-organic matter and a proposed modification on tetric acid titration methods. *Soil Sci.* 37:29-38.

Waterer, D., and R. Coltman. 1989. Mycorrhizal infection level of bell pepper transplants influences subsequent responses to soil solutions phosphorus. *J. Plant Nutr.* 12:327-340.