

Respuesta de Ají (*Capsicum annuum* L.) cv. “Cacho de Cabra” a la Inoculación con Hongos Micorrícicos Arbusculares

Claudia G. Castillo¹, César A. Ortiz¹, Fernando R. Borie² y Rosa E. Rubio²

(1) Universidad Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Agronomía, Av. Rudecindo Ortega 02950, Casilla 15-D, Temuco-Chile (e-mail: ccastill@uct.cl)

(2) Universidad de La Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Departamento Ciencias Químicas, Av. Francisco Salazar 01145, Casilla 54-D, Temuco-Chile

Resumen

El objetivo del trabajo consistió en estudiar en invernadero el efecto de la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el crecimiento de la planta y calidad del fruto de ají cv. Cacho de Cabra al ser trasplantado a un sustrato estéril (SE) y no estéril (SNE) que consistió en una mezcla suelo-arena-vermiculita. Los inóculos utilizados fueron *Glomus claroideum* y una mezcla de HMA nativos comparados con un control. Quincenalmente se midió altura y número de flores y en el fruto se determinaron parámetros químicos y nutricionales. En SE, la inoculación con ambos HMA incrementó el peso aéreo y radical, diámetro y peso de frutos en relación con el testigo, conjuntamente con un aumento en la precocidad del período de maduración. Bajo las condiciones estudiadas, las cepas de HMA utilizadas mostraron compatibilidad con la planta hospedera, lo cual sugiere que una inoculación efectiva de esta hortaliza mejoraría su uso potencial en procesos industriales.

Palabras clave: ají, *Glomus claroideum*, sustrato, calidad de fruto, inóculo

Response of Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.) cv. "Cacho de Cabra" to the Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Abstract

The aim of this work was to study, in glasshouse conditions, the effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on plant growth and fruit quality of chili pepper cv. Cacho de Cabra when plants were transplanted to a sterile (SS) and unsterile substrate (NSS) composed by a mixture of soil-sand-vermiculite. Inocula were *Glomus claroideum* and a mixture of native HMA strains which were compared with a control. Twice a month, height and flower number and nutritional and chemical fruit characteristics were measured. In SS both HMA inocula increased shoot and root weight and diameter and weight of fruits. Maturation period was also reduced. Under the studied conditions the strains used showed compatibility with host plant which suggests that an effective inoculation of this vegetable could greatly improve its usefulness in industrial processes.

Keywords: chili pepper, *Glomus claroideum*, substrate, fruit quality, inoculum

INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional depende en gran medida de las condiciones edafoclimáticas y fitosanitarias de las plantas debido al ataque de un sinnúmero de plagas y enfermedades que incrementan considerablemente los costos de producción, en especial el cultivo de ají, *Capsicum annuum* L. (Ramos y De Luna, 2005). En Chile, se cultivan alrededor de 33.900 ha al año de esta hortaliza estableciéndose el 31 % en la Región de La Araucanía (INE, 2008) donde agricultores mapuche han cultivado durante décadas el cultivar "Cacho de Cabra", ecotipo heredado de sus progenitores y que es destinado principalmente a la elaboración de merkén (González et al., 2005). Un sistema de manejo hortícola de producción integral presenta ventajas para el establecimiento de la simbiosis mutualista entre ciertos microorganismos del suelo llamados hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y las raíces de la mayoría de los cultivos agrícolas. La planta proporciona al hongo los fotosintatos requeridos para su sobrevivencia, mientras éste participa activamente en el transporte y captación de nutrientes, principalmente aquéllos de lenta movilidad como P (Zhu et al., 2001), Cu y Zn (Gaur y Adholeya, 2004) a través de redes de hifas que se extienden más allá de la zona rizosférica. Este micelio fúngico extraradical libera al medio glomalina, una glicoproteína resistente a la degradación, que incrementa la estabilidad física del suelo (Borie et al., 2008; Hallett et al., 2008) y a su vez, las raíces colonizadas por los HMA mejoran la estabilidad al agua de los agregados (Borie et al., 2000; Cavagnaro y Jackson 2007) y el estrés hídrico (Echave et al., 2005).

Actualmente la agricultura enfrenta la necesidad de disminuir los impactos ambientales, debido a una creciente sensibilidad social y a una mayor conciencia colectiva frente a la contaminación por el efecto que tiene sobre la salud y calidad de vida de las personas. Para la conservación medioambiental, la utilización de los HMA en una agricultura sostenible de bajos insumos adquiere gran relevancia ecológica y económica ya que, al mejorar el vigor de las plantas por incremento en la concentración de hormonas aumenta la productividad disminuyendo el tiempo de floración y cuajado del fruto (Mäder et al., 2000). Además, contribuye al control de patógenos de las raíces (Sosa et al., 2006) lo que permite reducir la aplicación de insumos químicos.

De allí que, siendo el ají un hospedero dependiente de la simbiosis con HMA, adquiere especial relevancia la inoculación con el hongo más efectivo para las condiciones edáficas del agrosistema. Sin embargo, en los ecosistemas la simbiosis micorrícica no es específica, pudiendo algunos hongos beneficiar en mayor grado a un hospedero y adaptarse a determinadas condiciones edafoclimáticas, requiriéndose para lograr una inoculación satisfactoria conocer la compatibilidad hospedero-hongo y así realizar una selección adecuada para un cultivo determinado (Rodríguez et al., 2004).

El objetivo del trabajo fue estudiar, en invernadero, la inoculación con *Glomus claroideum* y una mezcla de HMA nativos en un Inceptisol con ají (*Capsicum annuum* L.) cv. Cacho de Cabra y el efecto sobre parámetros de la planta y calidad del fruto al trasplantar los plantines a un sustrato estéril y no estéril.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en los invernaderos del Departamento de Ciencias Químicas de la Universidad de La Frontera, Temuco, durante los meses de enero a agosto de 2007, utilizándose como hospedero ají (*Capsicum annuum* L.) cv. Cacho de Cabra. El suelo correspondió a un Inceptisol de la localidad de Purén (38°40'S; 73°00'O) que se encontraba en barbecho de ají (Tabla 1), el cual se mezcló con arena y vermiculita en proporción 7:2,5:0,5, siendo posteriormente esterilizado en horno microondas (White Westinghouse) por 10 minutos durante tres días consecutivos con la finalidad de eliminar todos los propágulos fúngicos. Como inóculo HMA se utilizó *Glomus claroideum* (Schenk & Smith) (IN), un morfotipo aislado desde suelos provenientes de esta región (reproducido en potes trampa con maíz), una mezcla de HMA provenientes del Inceptisol (+I) y como testigo el sustrato estéril sin inoculación (-I), en un diseño completamente al azar con 40 repeticiones.

A macetas de 100 mL de capacidad conteniendo la mezcla estéril del Inceptisol, se añadió una banda de 5 g del inóculo HMA respectivo (suelo conteniendo esporas, micelio y raíces colonizadas), sobre el cual se sembraron dos semillas por maceta de ají siendo raleado a los 15 días a un plantín

por maceta. Al finalizar la etapa de almácigo, a los 45 días después de la siembra (DDS), se seleccionaron 4 plantines de altura similar que se trasplantaron a bandejas de 10 L de capacidad conteniendo suelo proveniente de la localidad de Pillanlelbún serie Temuco (por la cercanía al sitio de estudio) mezclado con arena y vermiculita (7:2,5:0,5), utilizándose la mitad de la mezcla sin esterilizar (SNE) y la otra mitad esterilizado por 10 minutos en horno microondas durante tres días consecutivos (SE) (Tabla 1).

Tabla 1: Caracterización edáfica del Inceptisol inoculado con HMA nativos (+I) y *Glomus claroideum* (IN) en sustrato estéril (SE) y sustrato no estéril (SNE)

	Inceptisol	SE			SNE		
		(-I)	(+I)	(IN)	(-I)	(+I)	(IN)
pH	5,9	5,3 a	5,6 a	5,6 a	5,2 b	5,3 ab	5,5 a
Dap (g mL ⁻¹)	1,41	0,87 a	0,81 a	0,82 a	0,55 a	0,58 a	0,61 a
MO (%)	5,0	7,6 ab	7,4 b	10,3 a	9,8 a	12,6 a	13,7 a
P (mg kg ⁻¹)	48	1,6	nd	Nd	8,4 a	11,2 a	8,2 a

Desde los 90 DDS, cada quince días, se midió altura de planta (regla) y se contabilizó el número de flores. Al término del ensayo, entre los 170 DDS y 205 DDS se realizó la cosecha de frutos de acuerdo a cambios de tonalidad de la pared de la baya, que al comienzo presenta color verde y luego cambia a un rojo intenso por la presencia de pigmentos carotenoides. Las plantas se separaron cuidadosamente del sustrato y las raíces se lavaron con abundante agua para determinar peso aéreo y radical (balanza analítica digital Denver Instrument Company AA-200) mediante secado en estufa de aire forzado (Memmert D-91126) a 65°C por 48 h. Posteriormente, la parte aérea se calcinó durante 8 h en mufla a 480°C (Vulcan A-550) para la obtención de cenizas extrayéndose los nutrientes mediante una mezcla ácida y determinándose P por espectrofotometría visible a 700 nm (Shimadzu UV-150-02), macronutrientes (Ca, Mg, K, Na) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn) por espectrofotometría de absorción atómica, EAA (Unicam 969) según metodología descrita por Sadzawka et al. (2000).

A la cosecha, se evaluó en una fracción de raíces frescas de las plantas el porcentaje de colonización HMA, tiñéndose trozos de 1 cm de longitud con azul de tripán 0,05 % y contabilizándose la colonización fúngica bajo lupa estereoscópica (Nikon SMZ-2B) según método del intercepto de líneas (Giovanetti y Mosse, 1980). En los sustratos correspondientes a los distintos tratamientos, se contabilizó en placa de Doncaster el número de esporas HMA, bajo lupa estereoscópica separándolas desde 20 g de sustrato y haciendo pasar la suspensión a través de un juego de tamices de distinta malla (500 µm, 250 µm, 106 µm y 53 µm) con posterior decantación y centrifugación (Sorvall T6000B) a 3000 rpm por 5 minutos en gradiente de sacarosa.

En el ciclado del P, las plantas además de la simbiosis micorrícica, utilizan otro mecanismo muy importante para la captación del nutriente que es la actividad fosfatásica ácida (P-asa), la que se determinó utilizando como sustrato *p*-nitrofenilfosfato de acuerdo a metodología propuesta por Tabatabai y Bremner (1969) con modificaciones realizadas por Rubio et al. (1990) para suelos ácidos derivados de cenizas volcánicas, cuantificando por espectrofotometría visible (Shimadzu UV-150-02) a 400 nm el *p*-nitrofenol liberado.

En el fruto se evaluaron parámetros de calidad como: peso, largo (L), diámetro ecuatorial (D_{ec}), largo y diámetro de pedúnculo (D_{ped}) medidos con vernier además de, algunas características químicas como: a) *pH*, medido con un potenciómetro (Microprocessor pH meters 211) directamente en la pulpa molida; b) *acidez total titulable (ATT)*, por neutralización de la acidez libre total con una solución de NaOH 0,01 M mediante titulación potenciométrica (peachímetro Hanna pH 211) hasta punto final 8,2 (AOAC, 1992); c) *ácido ascórbico (AA)*, por trituración de una mezcla de 2 g de fruto fresco con ácido oxálico al 1 % y posterior centrifugación a 2500 rpm durante 15 min siendo el sobrenadante filtrado

por una membrana (Millipore, tipo RA, tamaño poro 1,2 mm) al vacío y 10 mL del filtrado se pasaron por una jeringa (filtro Advantec R celulosa estéril 0,20AS), midiéndose de este segundo filtrado 2 mL que se mezclaron con 20 mL de ácido oxálico 1 % y se titularon con 2,6-diclorofenolindofenol (DI) según método Tillmans (AOAC, 1992); d) *sólidos solubles totales* (SST): por medición de los °Brix en gotas de pulpa mediante refractómetro de mano (Atago, ATC-1E); e) *nutrientes*: por calcinación del fruto seco durante 8 h en mufla a 480°C, con tratamiento posterior de las cenizas en una mezcla ácida para analizar macronutrientes (Ca, Mg, K, Na) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn) por EAA mientras que, P se determinó por espectrometría visible a 700 nm (Sadzawka et al., 2000).

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. En el tratamiento estadístico de los datos se verificó normalidad y posteriormente mediante transformación arcoseno, se realizó un análisis de varianza usando ANDEVA de una vía, seguido por el test de Tukey de rango múltiple ($\alpha = 0,05$). Para el análisis se utilizó el programa SPSS para Windows versión 13.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a los parámetros fúngicos evaluados, no se encontraron diferencias en la colonización de las raíces del ají por efecto de la inoculación HMA, presentando el mayor porcentaje la micorriza nativa (+I) con 16,2 % mientras que, (IN) sólo alcanzó 11,2 % (datos no mostrados). La colonización HMA resultó baja si se compara con el 76,7 % informado por Demir (2004) en plantas de ají inoculadas con *Glomus intraradices* o relacionada con otras hortalizas cultivadas habitualmente en esta región como lechuga, pimiento y perejil (Rubio et al., 1997).

En SE, la cantidad de esporas HMA se incrementó notablemente al inocular con *G. claroideum* (IN) y morfotipos nativos (+I), sin diferencias entre HMA, aumentando aproximadamente en 10 veces sobre el control (Fig. 1A). La baja cantidad de propágulos (393 esporas 100 mL⁻¹) encontrados en (-I) probablemente provenían de la esterilización incompleta del suelo en horno microonda, que no logró erradicar completamente las comunidades fúngicas. En SNE, la densidad de esporas HMA en (IN) aumentó significativamente respecto a (-I) siendo la micorriza nativa (+I) el tratamiento con menor cantidad de propágulos con sólo 140 esporas 100 mL⁻¹ (Fig. 1B). Estos resultados mostrarían que la micorriza nativa proveniente del Inceptisol se potenció en SE, mientras en SNE, probablemente ocurrieron antagonismos con los HMA provenientes del suelo Pillanlelbún.

Las fosfatasas son enzimas que participan en la mineralización del P orgánico siendo su mecanismo de acción básicamente extracelular y una vez generadas por los microorganismos o raíces de las plantas, se pueden estabilizar en la materia orgánica del suelo, o en las partículas coloidales inorgánicas siendo gradualmente liberadas al existir una baja disponibilidad de P en el suelo (Borie et al., 1998). La actividad fosfatasa ácida, forma predominante en estos suelos, no mostró ningún poder discriminatorio en SE (Fig. 1C) fluctuando entre 1.460 µg g⁻¹ en (IN) hasta 1.970 µg g⁻¹ para (+I); mientras que, en SNE, el tratamiento (+I) mostró un incremento estadísticamente significativo ($\alpha = 0,05$) de alrededor de 94 % sobre el testigo (-I) que no presentó diferencias con (IN) (Fig. 1D).

Estos valores de P-asa resultan bastante elevados en comparación con los informados por Castillo et al. (2008) en un ensayo en invernadero utilizando un Inceptisol cultivado con lupino, donde la cantidad de enzima encontrada fue alrededor de 500 µg g⁻¹ considerando además, que el lupino no se micorriza, por tanto, la exudación de fosfatasas por las raíces proteoideas sería uno de los principales mecanismos de captación de P.

Desde los 90 DDS hasta los 200 DDS, la mayor altura de planta, en SE, correspondió al tratamiento inoculado con *G. claroideum* seguido por (+I), que a los 90 DDS presentó plantas de altura similar a (-I), pero teniendo desde los 100 DDS una altura superior al control. A la cosecha, los tratamientos inoculados con HMA mostraron mayor altura, con aproximadamente 15 cm sobre el testigo que presentó una altura prácticamente constante desde los 90 DDS, con un leve incremento a los 135 DDS (Fig. 2A). En SNE, la altura de las plantas inoculadas con *G. claroideum* fueron significativamente mayores ($\alpha = 0,05$) que el resto de los tratamientos mostrando un crecimiento gradual hasta los 200 DDS y superando (IN) en 15 % a (-I) (Fig. 2B). Estos resultados muestran el

efecto positivo de la inoculación con HMA en el Inceptisol con ají Cacho de Cabra, similar a lo informado por Waterer y Coltman (1989) y Manjarrez-Martínez et al. (1999) en ensayos de campo, quienes encontraron una alta afinidad del ají por la micorriza, asociada a un mayor peso de follaje y área foliar.

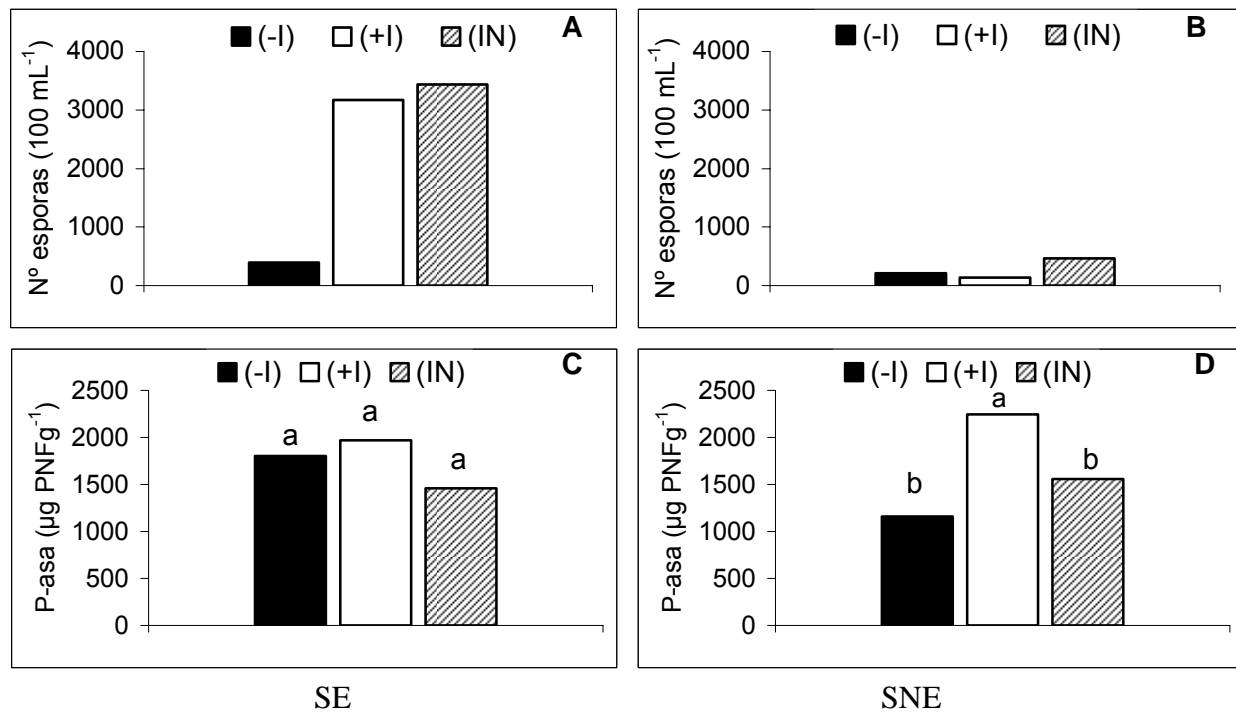


Fig. 1: Número de esporas A) y B), actividad fosfatásica ácida (P-asa) C), D), en sustrato estéril (SE), y sustrato no estéril (SNE)

El peso seco de la planta, es un criterio muy utilizado para medir el crecimiento y magnitud del sistema de asimilación de una planta, referido frecuentemente al área foliar total, ya que la cantidad de área determina el importe de energía solar que es absorbida y convertida a materiales orgánicos (Shibles, 1987). A los 90 DDS, en ambos sustratos, el área foliar del tratamiento (IN) presentó la mayor superficie. Según Steer y Pearson (1976) en las plantas de ají todas las hojas exportan el mismo porcentaje de C fijado, siendo la tasa de fijación por unidad de área, diferente para las hojas jóvenes que las adultas. Además, en la etapa de madurez, Azofeifa y Moreira (2004) encontraron que la planta de ají envía más fotoasimilados hacia la producción de frutos que hacia la formación de la parte vegetativa contribuyendo aproximadamente con 7,5 veces más C, que el fijado por los mismos frutos. Por otra parte, antecedentes informados por Miccolis et al. (1999), muestran que al cosechar los frutos completamente maduros, se favorece la senescencia del follaje disminuyendo su actividad.

Durante el período comprendido entre los 90 DDS y 135 DDS, en SE, de acuerdo a la cantidad de flores en las plantas, se observó que el período de floración máxima se alcanzó entre los 90 DDS y 105 DDS disminuyendo drásticamente después de los 120 DDS (Fig. 2C). El mayor número de flores se alcanzó en el tratamiento (+I), que a los 105 DDS superó en alrededor de 200 % al testigo (-I). En SNE, las flores aumentaron desde los 90 DDS hasta los 105 DDS, excepto para el tratamiento (IN) y en general, a los 120 DDS, las flores disminuyeron produciéndose un descenso drástico a los 135 DDS (Fig. 2D).

En SE, el peso de las plantas fue significativamente diferente entre tratamientos ($\alpha = 0,05$) alcanzando los mayores pesos las plantas inoculadas con micorriza nativa (+I) y con *Glomus claroideum* (IN), tratamientos que no presentaron diferencias entre ellos, con un aumento en masa del último de aproximadamente 185 % sobre el testigo (Fig. 2E). Por el contrario, en SNE, el peso aumentó significativamente en (IN) con incrementos de 30 % sobre el testigo (-I) y de 54 % sobre (+I) (Fig. 2F). En ambos sustratos, la inoculación más efectiva resultó *G. claroideum* (IN), mientras

que la micorriza nativa (+I) que contenía los HMA provenientes del Inceptisol en barbecho de ají, al ser inoculado en el SNE, posiblemente no alcanzó un sinergismo con los HMA nativos provenientes del suelo Pillanlelún.

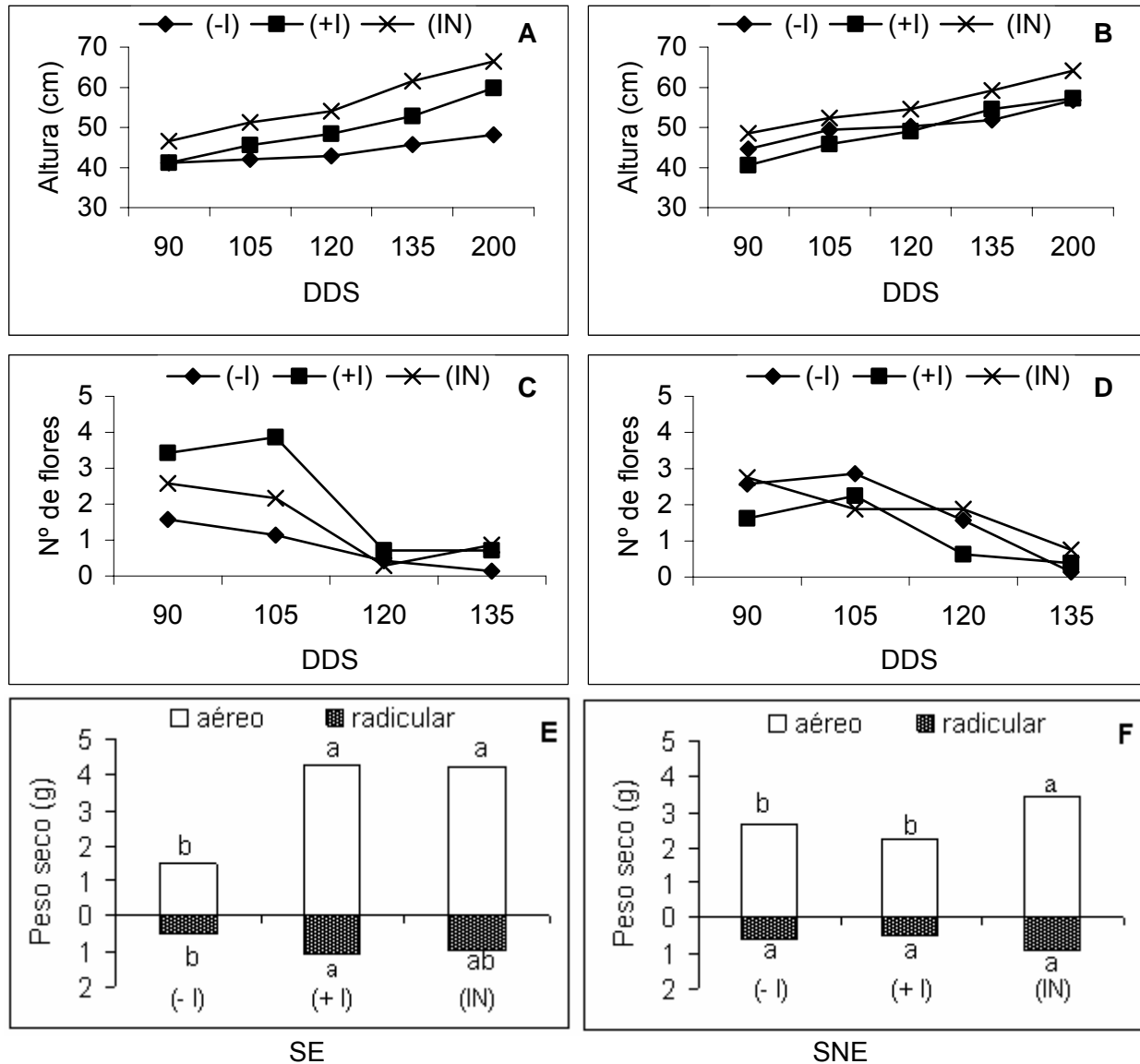


Fig. 2: Parámetros de la planta de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. Cacho de Cabra en sustrato estéril (SE) y sustrato no estéril (SNE) inoculado con HMA nativos (+I) y con *Glomus claroideum* (IC)

Sensoy et al. (2007), tuvieron una respuesta similar en ocho genotipos de ají inoculados con *Glomus intraradices* y *Gigaspora margarita*, en cinco genotipos obtuvieron pesos de plantas mayores que el testigo mientras que, con tres genotipos las plantas presentaron menor peso que el control. Estas diferencias de masa según Román (2005), estarían relacionadas con la asociación simbiótica entre los HMA y las plantas, ya que al modificarse el balance de los reguladores del crecimiento se favorecería el porte y vigor de las plantas colonizadas. Las raíces de las plantas de ají, mantuvieron un comportamiento similar al observado en la parte aérea, en SE, con (IN) y (+I) se obtuvieron mayores pesos en relación al testigo (Fig. 2E), mientras en SNE (Fig. 2F) el mayor peso radical correspondió al tratamiento con mayor masa, es decir, (IN).

La concentración de nutrientes en los tejidos vegetales de una planta se relaciona con el rendimiento. En SE, se encontraron diferencias en los contenidos foliares de Mg y Na, al igual que el K que fue significativamente mayor en los tratamientos (IN) y (+I) incrementando en un 147 % en

relación con (-I) seguido por Ca que mostró la misma tendencia (Tabla 2). En el contenido de P foliar, se detectaron diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) siendo (IN) y (+I) superior 429 % a (-I). En SNE, se observaron diferencias en el contenido de Ca entre (IN) y (+I) y de K entre (IN) con (-I).

En SE, en el contenido de Zn y Fe en la parte aérea se encontraron diferencias entre (IN) con (-I). El Fe en (+I) aumentó 1447 % en relación a (-I) y en 332 % respecto a (IN) (Tabla 2). Estos resultados concuerdan con antecedentes de la literatura que señalan que los HMA mejoran la captación de nutrientes para la planta por aumento del volumen de suelo mediante extensas redes hifales que se extienden más allá de la zona rizosférica, especialmente P (Smith y Read, 1997), Cu y Zn (Tarafdar y Marschner, 1994). En SNE, se encontraron diferencias por efecto de la inoculación con *G. claroideum* en el contenido de Mn (Tabla 2).

Tabla 2: Movilización de nutrientes a la parte aérea de plantas de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. Cacho de Cabra

Nutrientes (mg maceta ⁻¹)	SE			SNE		
	(-I)	(+I)	(IN)	(-I)	(+I)	(IN)
P	0,85 b	3,48 a	4,47 a	2,19 a	2,30 a	2,93 a
Ca	22,01 b	57,27 a	66,42 a	34,43 ab	30,64 b	45,88 a
Mg	4,90 b	15,33 a	14,5 a	14,21 b	12,16 ab	19,35 a
K	43,54 b	103,20 a	105,65 a	39,43 b	58,22 ab	78,19 a
Na	5,91 b	14,73 a	14,96 a	4,33 a	4,70 ab	6,57 a
Fe	0,19 b	8,21 a	2,94 ab	0,60 a	0,66 a	0,70 a
Mn	0,26 a	0,64 a	0,64 a	0,12 b	0,07 ab	0,15 a
Cu	0,003 a	0,124 a	0,139 a	0,025 a	0,032 a	0,038 a
Zn	0,024 b	0,093 ab	0,189 a	0,078 a	0,063 a	0,092 a

En el tejido foliar de *Capsicum annuum* cv. Mirasol y *Capsicum annuum* cv. Guajillo se determinaron los rangos óptimos de concentración para P, K, Ca, Mg informándose 0,31 %, 5,86 %, 2,69 % y 0,78 %, respectivamente (Valdez et al., 2005). Los nutrientes encontrados en *Capsicum annuum* cv. Cacho de cabra fueron expresados en contenidos (Tabla 2), pero las concentraciones resultan inferiores a los óptimos, alcanzándose con (IN) las concentraciones máximas para P, Ca, Mg correspondiente a 0,09 %, 1,3 % y 0,3 %. Sin embargo, Azofeifa y Moreira (2005) encontraron que en Chile dulce los nutrientes en las distintas partes de la planta varían de acuerdo con el ciclo de crecimiento, de manera que al finalizar el ciclo, la planta acumula N, P, K, Mg y S, en mayor cantidad en los frutos y Ca principalmente en la parte aérea, siendo la fructificación la etapa fenológica que modula las fluctuaciones.

En SE, los frutos se cosecharon desde los 178 DDS hasta los 205 DDS. Para la producción hortícola resultó relevante que los primeros frutos maduraron a los 178 DDS en el tratamiento (IN), con 17 días de antelación a (+I), tratamiento cuyos frutos maduraron con 4 días de posterioridad a (-I). En SNE, la maduración fue homogénea, ocurriendo a los 197 DDS para los tratamientos (IN) y (-I), con siete días de antelación respecto a (+I) que fue el más tardío, con 204 DDS. En SE, la longitud de los frutos provenientes de las plantas inoculadas con *G. claroideum* (IN), fue notoriamente mayor que en los otros tratamientos, seguida por (+I) que contenía los HMA nativos, mientras los frutos provenientes del testigo presentaron menor tamaño siendo superados por (IN) en 93 %. El D_{ec} de los frutos fue significativamente superior ($\alpha = 0,05$) para el tratamiento (IN) y (+I) presentando diferencias con el control (Tabla 3).

En SNE, el tratamiento inoculado con *G. claroideum* (IN) tuvo mayores frutos; por el contrario, en el tratamiento (+I), que contenía la micorriza nativa, los frutos fueron de menor tamaño incluso que el testigo (Tabla 3). El D_{ec} fue bastante homogéneo al igual que la longitud, mientras el D_p tuvo un aumento significativo ($\alpha = 0,05$) con el tratamiento (IN) (Tabla 3). En un ensayo en campo realizado

en la comuna de Purén con ecotipos locales de ají, mediciones del fruto realizadas por González et al. (2005), alcanzaron promedios de 170 mm, superiores a las obtenidas en el SNE, que alcanzó una longitud de 125,5 mm para (IN). Sin embargo, las condiciones ambientales y manejo son distintas ya que, normalmente esta hortaliza cultivada en campo requiere fertilización.

Tabla 3: Parámetros de calidad del fruto de plantas de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. Cacho de Cabra crecidas en: sustrato estéril (SE) y sustrato no estéril (SNE)

Parámetros de calidad	SE			SNE		
	(IN)	(+I)	(IN)	(IN)	(+I)	(IN)
Peso fresco (g)	4,89 b	10,15 a	10,97 a	8,56 a	5,83 b	8,97 a
L (mm)	75,8 c	117,0 b	146,5 a	103,25 b	83,5 c	125,50 a
D _{ec} (mm)	13,5 b	16,6 ab	17,0 a	15,25 a	13,5 a	14,5 a
D _p (mm)	4,1 b	5,3 ab	6,3 a	5,0 a	4,5 a	5,5 a
L _p (mm)	31,3 a	30,0 a	33,5 a	31,3 a	32,5 a	29,5 a
AA (mg 100 g ⁻¹)	293,33 a	226,23 b	269,80 ab	254,88 a	239,48 ab	203,30 b
pH	5,42 a	5,26 a	5,19 a	5,27 a	5,18 a	5,25 a
ATT (% ác. cítrico)	18,05 a	20,05 a	18,93 a	21,03 a	20,55 a	18,58 a
SST (°Brix)	11,53 a	11,30 a	12,23 a	11,4 a	11,0 a	11,3 a
°Brix/ATT	0,75 a	0,62 a	0,67 a	0,56 a	0,55 a	0,61 a

El AA, es un parámetro importante en la calidad del fruto, destacando el ají rojo que contiene 30 % más de vitamina C que el ají verde (Howard et al., 1994). En SE, el contenido de AA en los frutos maduros no presentó diferencias con medias que fluctuaron entre 226 mg 100 g⁻¹ y 293 mg 100 g⁻¹ (Tabla 3); en SNE, se encontraron diferencias presentando un mayor contenido el testigo (-I) con 255 mg 100 g⁻¹ (Tabla 3). Estos resultados son superiores a los informados por Topuz (2007) en un ensayo en invernadero, mantenido durante dos años consecutivos, con manejo similar al utilizado en prácticas comerciales, donde los contenidos de AA en algunos cultivares de *Capsicum annuum* fluctuaron entre 63,1 mg 100 g⁻¹ y 64,9 mg 100 g⁻¹ y también mayores a los obtenidos por Perucka y Materska (2007) en frutos frescos con rangos entre 101,19 mg 100 g⁻¹ y 167,54 mg 100 g⁻¹.

En la etapa de madurez del fruto, las reacciones metabólicas aumentan y por lo tanto, se incrementa la concentración de ácidos orgánicos involucrados en el ciclo de Krebs (Chitarra y Chitarra, 1990). Estos ácidos conforman las reservas energéticas y reacciones metabólicas involucrando la síntesis de pigmentos, enzimas y otros materiales junto con degradación de pectinas y celulosas, que son esenciales en los procesos de maduración. Entre estos ácidos, el ascórbico y cítrico, son determinantes en la acidez del fruto (Akl et al., 1995). En SE, la ATT fluctuó entre 18,05 % y 20,05 % y en SNE, entre 18,58% y 21,03%, sin diferencias entre tratamientos (Tabla 3).

El pH del fruto estuvo dentro del rango de 5,18 a 5,26; en SE, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos siendo menos ácido el fruto correspondiente al testigo (-I), mientras los frutos ácidos provenían de los tratamientos inoculados (inóculo nativo y *G. claroideum*) mientras en SNE, no se encontraron diferencias en relación a este parámetro (Tabla 3).

Durante la madurez otro factor determinante en la calidad del fruto (Alleyne y Clark, 1997) son los SST, que incrementan por metabolización de la mayoría de los carbohidratos solubles durante la respiración o biosíntesis de polisacáridos y acumulación de azúcares; los procesos metabólicos relacionados con el avance en la maduración, influyen directamente en los niveles de SST, presentando los frutos en avanzada madurez los mayores niveles (Lyon et al., 1992), por disociación

de algunas moléculas y enzimas estructurales en compuestos solubles. Los frutos provenientes de ambos sustratos no presentaron diferencias en los SST (Tabla 3). El balance entre el contenido de SST y la acidez (SST/ATT) indica la palatabilidad o aceptabilidad del fruto, razón que es característica para cada especie (Almeida et al., 2001); esta relación fue mayor en SE que en SNE y fluctuó entre 0,55 y 0,75.

El contenido de nutrientes minerales en los frutos de ají se muestra en la Tabla 4, siendo mayores en los frutos provenientes de plantas crecidas en SNE, destacando K, Cu, Zn y especialmente Fe con un elevado contenido. Según Poblete (1971), el valor nutritivo de las solanáceas radica principalmente en la presencia de vitamina C y minerales del tipo Ca, Fe y P. El Ca posee una función estructural como integrante de la pared celular, manteniendo la firmeza de manera que los requerimientos del fruto estarían relacionados con la estabilidad de la pared y la integridad de la membrana (Belakbir et al., 1998). El K se relaciona con la acumulación y traslocación de carbohidratos y con pérdidas menores de agua, por parte de la planta, al regular la abertura de estomas. Según Song y Fujiyama (1996), existiría una relación de tipo antagónica entre K y Ca.

Tabla 4: Contenido nutricional de los frutos de ají

Contenido (mg fruto ⁻¹)	SE			SNE		
	(-I)	(+I)	(IN)	(-I)	(+I)	(IN)
P	0,10	0,08	0,07	0,19	0,18	0,17
Ca	0,07	0,06	0,15	0,12	0,10	0,11
Mg	0,13	0,15	0,14	0,22	0,17	0,24
K	1,72	1,94	2,04	2,11	1,24	2,68
Na	0,07	0,05	0,08	0,04	0,03	0,04
Mn	19,98	7,46	15,68	13,73	15,85	11,40
Zn	17,50	9,17	10,63	19,45	16,90	8,83
Cu	6,10	8,05	7,55	22,20	15,80	15,00
Fe	80,75	74,23	147,12	632,18	431,35	343,70

Finalmente, la horticultura está orientada fundamentalmente a la producción industrial, lo que requiere sistemas que permitan la obtención de plantines y frutos de óptima calidad en el menor tiempo posible. Así, con una inoculación temprana de HMA en cultivos de ají utilizando ecotipos locales se podrían aprovechar, en forma más eficiente, los nutrientes del suelo obteniendo plantas más vigorosas de modo de poder aliviar mejor situaciones de estrés vegetal, debido a la adaptabilidad que presentan estos ecotipos a las condiciones locales y de manejo ecológico.

De acuerdo con la respuesta positiva obtenida en la planta y fruto de ají Cacho de Cabra, en invernadero, por efecto de la inoculación con un hongo nativo muy común en esta región, *Glomus claroideum*, se puede inferir que se produjo compatibilidad hospedero-hongo bajo las condiciones del ensayo, lo cual es beneficioso al pensar en una aplicación masiva de inoculantes. Además, este estudio es factible de ser proyectado a condiciones de campo ya que, según antecedentes informados por González et al. (2005) evaluando en la comuna de Purén el rendimiento de ecotipos locales de ají, la mejor respuesta se obtuvo con el cultivar Cacho de Cabra. Lo anterior podría indicar que en esas condiciones edafoclimáticas el ají presentó afinidad con la micorriza nativa del suelo, debido a que en cualquier agrosistema de bajos insumos existe presencia de HMA, la cual es susceptible de ser incrementada mediante inoculación con un hongo simbiote efectivo.

CONCLUSIONES

La inoculación con *Glomus claroideum* (IN) resultó positiva para la producción de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. "Cacho de cabra" obteniéndose plantas más vigorosas, con mayor altura, peso y área foliar que aceleraron el proceso de maduración de los frutos en 25 días en relación a los otros tratamientos y mejoraron la calidad del fruto. Contenidos elevados de ácido ascórbico se encontraron

en el fruto de ají "Cacho de Cabra", en relación a otros cultivares de ají. Bajo las condiciones estudiadas, en el sustrato estéril, la inoculación con *Glomus claroideum* y HMA nativos provenientes del Inceptisol produjeron compatibilidad hospedero-hongo resultando la asociación bastante efectiva, pero poco infectiva.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado parcialmente por el Proyecto FONDECYT N° 1070283.

REFERENCIAS

- Akl, A., A. Eid y M. Yegab; *Effect of urea, some micronutrients and growth regulator foliar spray on the yield, fruit quality and some vegetative characters of Washington navel orange trees: fruit physical and chemical properties*, Hortscience, 30, 30-80 (1995).
- Almeida, H. y otros cinco autores; *Calidad de frutas de Latinoamérica para industria: Jobo (Spondias mombin L.)*. Proceeding Interamerican Society Tropical Horticulture, 43, 72-76 (2001).
- Alleyne, V. y J. Clark; *Fruit composition of Arapaho black-berry following nitrogen fertilization*. Hortscience, 32, 282-283 (1997).
- A.O.A.C.; *Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemistry*. 11 ed. Washington, AOAC. 1115p. (1992).
- Azofeifa, A. y M. Moreira; *Análisis de crecimiento del chile jalapeño (Capsicum annuum L. cv. Ho), en Alajuela, Costa Rica*. Agronomía Costarricense, 28, 57-67 (2004).
- Azofeifa, A. y M. Moreira; *Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile dulce en Alajuela, Costa Rica*. Agronomía Costarricense, 29, 77-84 (2005).
- Belakbir, A., J. Ruiz y L. Romero; *Yield and fruit quality of pepper (Capsicum annuum L.) in response to bio regulators*. Hortscience, 33, 85-87 (1998).
- Borie, F., R. Rubio y C. Schalchli; *Micorrizas arbusculares y actividad fosfatásica de diez cultivares de trigo*. Agricultura Técnica, 58, 47-55 (1998).
- Borie, F., R. Rubio, A. Morales y C. Castillo; *Relación entre densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza*. Revista chilena de historia natural, 73, 749-756 (2000).
- Borie, F., R. Rubio y A. Morales; *Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation*. Journal Soil Science Plant Nutrition, 8 (2), 9-18 (2008).
- Castillo, C.G., I. Astroza, F. Borie y R. Rubio; *Efecto de cultivos hospederos y no hospederos sobre propágulos micorrícicos arbusculares*. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 8 (1), 37-54 (2008).
- Cavagnaro, T.R. y L.E. Jackson; *Isotopic fractionation of zinc in field grown tomato*. Canadian Journal of Botany, 85(6), 230-235 (2007).
- Chitarra, M. y A. Chitarra; *Pós-colheita de frutas e hortaliças. Fisiologia emanuseio*. Lavras: ESAL. 293p. (1990).
- Demir, S.; *Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper*. Turk Journal Biology, 28, 85-90 (2004).
- Echave, M. y otros cuatro autores; *Responses of mycorrhizal infection in the drought resistance and growth of Lotus glaber*. Lotus Newsletter, 35(2), 182-186 (2005).

Gaur, A. y A. Adholeya; *Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils*. Current Science, 86, 528-534 (2004).

Giovanetti, M. y B. Mosse; *An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots*. New Phytologist, 84, 489-500 (1980).

González, C., D. Merino y G. Leonelli; *Caracterización y evaluación de la producción de semilla orgánica de ají (*Capsicum annuum* L.) y determinación de la calidad organoléptica del merkén, en comunidades mapuche de la IX Región, Chile*. Simiente, 75 (3-4), 40 (2005).

Hallett, P. y otros cinco autores; *Disentangling the impact of AM fungi versus roots on soil structure and water transport*. Plant Soil, (2008), doi:10.1007/s11104-008-9717-y

Howard, L.R. y otros cuatro autores; *Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapeños*. Journal Food Science, 59, 362-365 (1994).

INE; <http://www.censoagropecuario.cl/noticias/07/11/files/9.xls> (2008).

Lyon, B., S. Senter, y J. Payne; *Quality characteristics of oriental persimmons (*Diospyrus kaki* L.) cv. Fuyu grow in the shoutheastern United States*. Journal of Food Sciencie, 57, 693-695 (1992).

Mäder, P. y otros cuatro autores; *Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation*. Biology and Fertility of Soils, 31, 150-156 (2000).

Manjarrez-Martínez, M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez; *Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano*. Terra, 17(1), 9-15 (1999).

Miccolis, V., V. Candido y V. Marano; *Influence of harvest time on yield of some sweet cultivars grown in greenhouses*. Acta Horticulturae, 491, 205-208 (1999).

Perucka, I. y M. Materska; *Antioxidant vitamin contents of *Capsicum annuum* fruit extracts as affected by processing and varietal factors*. Scientia Polish Technology Alimentary, 6, 67-74 (2007).

Poblete, E.; *El cultivo de los chiles dulces*. Novedades hortícolas, 16, 21-27 (1971).

Ramos, F. y A. De Luna; *Evaluación de variedades de chile en sistema hidropónico bajo invernadero*. Second World Pepper Convention, Zacatecas, México, pp. 337-344 (2005)

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

Román, F.; *Plant promoting growth hormonal concentration induced by arbuscular mycorrhizal fungus on two chili cultivars (*Capsicum annuum* L.)*. Tesis Doctoral, Universidad de Colima, Mexico (en línea), 23 Sept. 2008, http://digeset.ucof.mx/tesis_posgrado/Pdf/Francisco%20Roman%20Garcia.pdf, (2005).

Rubio, R., E. Moraga y F. Borie; *Acid phosphatase activity and vesicular-arbuscular infection associated with roots of four wheat cultivars*. Journal of Plant Nutrition, 13, 585-598 (1990).

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

Sadzawka, A. y otros cinco autores; *Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos*. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 63 p. (2000).

Sensoy, S. y otros cuatro autores; *Responses of some different pepper (Capsicum annuum L.) genotypes to inoculation with two different arbuscular mycorrhizal fungi*. Scientia Horticulturae, 113, 92–95 (2007).

Shibles, R.; *Crop physiology*. Iowa State University, Iowa, USA, 214 p. (1987).

Smith S.E. y D.J. Read; *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego, California, USA, 605 p. (1997)

Song, J. y H. Fujiyama; *Ameliorative effect of potassium on rice and tomato subjected to sodium salinization*. Soil Scientia and Plant Nutrition, 42, 493-501 (1996).

Sosa, T., J. Sánchez, E. Morales y F. Cruz; *Interacción micorrizas arbusculares-Trichoderma harzianum y efectos sobre el crecimiento de Brachiaria decumbens growth*. Acta Biológica Colombiana, 11 (1), 43-54 (2006).

Steer, B.T. y Pearson C.J.; *Photosynthate translocation in Capsicum annuum*. Planta, 128, 155-162 (1976).

Tabatabai, M. y J. M. Bremner; *Use of p-nitrophenol phosphatase activity*. Soil Biology and Biochemistry, 1, 301-307 (1969).

Tarafdar, J.C. y H. Marschner; *Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plants*. Soil Scientia and Plant Nutrition: 40, 593-600 (1994).

Topuz, A.; *Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (Capsicum annuum L.) grown in Turkey*. Journal of Food Composition and Analysis, 20, 596–602 (2007).

Valdez, R. y otros seis autores; *CND nutrient norms for dried "mirasol" type pepper (Capsicum annuum L.)*. Second World Pepper Convention, 150-156 (2005).

Waterer, D. y R. Coltman; *Mycorrhizal infection level of bell pepper transplants influences subsequent responses to soil solution phosphorus*. Journal of Plant Nutrition, 12, 327-340 (1989).

Zhu, Y.G., T.R. Cavagnaro, S.E. Smith y S. Dickson; *Backseat driving? Accessing phosphate beyond the rhizosphere depletion zone*. Trends Plant Science, 6, 194-195 (2001).