

# TOLERANCIA A SEQUÍA Y SALINIDAD EN *Cucurbita pepo* var. *pepo* ASOCIADA CON HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES DEL DESIERTO SONORENSE

## TOLERANCE TO DROUGHT AND SALINITY BY *Cucurbita pepo* var. *pepo* ASSOCIATED WITH ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI OF THE SONORAN DESERT

Citlalli Harris-Valle<sup>1</sup>, Martín Esqueda<sup>1\*</sup>, Elisa Valenzuela-Soto<sup>1</sup>, Alejandro Castellanos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. 83000. Hermosillo, Sonora, México. (esqueda@ciad.mx). <sup>2</sup>Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. 83000. Hermosillo, Sonora, México.

### RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se usan como biofertilizantes porque al colonizar las raíces pueden mejorar el crecimiento, la producción y el estado hídrico de las plantas. El beneficio potencial del hospedero es mayor con HMA nativos. En este estudio se evaluó el efecto de un inóculo mixto y un consorcio de siete especies de HMA nativos del Desierto Sonorense asociados con *Cucurbita pepo* var. *pepo* cultivada con sequía, así como alta y baja salinidad. La respuesta de estos inóculos se comparó con un HMA procedente de una región templada y el testigo. El diseño experimental fue completamente al azar y se hizo un análisis factorial 4 (tres inóculos y el testigo) × 2 (con y sin estrés) con baja salinidad o sequía; para los datos de estrés salino alto se aplicó un ANOVA. Las variables analizadas fueron peso seco vástago y raíz, porcentaje de humedad foliar, potenciales hídrico y osmótico, porcentaje de raíces micorrizadas, micelio en suelo y número total de esporas. Se encontró que el inóculo mixto de HMA nativos disminuyó el estrés fisiológico en *C. pepo* var. *pepo* causado por la sequía y baja salinidad, mientras que el consorcio de siete especies de HMA nativos mejoró la respuesta al estrés salino alto, comparado con los otros tratamientos ( $p \leq 0.05$ ).

**Palabras clave:** *Cucurbita pepo* var. *pepo*, micorrizas, sequía, salinidad, potencial hídrico, potencial osmótico.

### INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se encuentran en la mayoría de los suelos y se asocian con plantas, estableciendo una

### ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are used as biofertilizers because when colonizing the roots they can improve growth, production and plant water status. The potential benefit of host is higher with native AMF. In this study the effect of a mixed inoculum and a consortium of seven species of AMF native of the Sonoran Desert associated with *Cucurbita pepo* var. *pepo* planted with drought, and high and low salinity was evaluated. The response of these inocula was compared with AMF from a temperate region and the control. The experimental design was a completely random design and a factorial analysis was performed: 4 (three inocula and the control) × 2 (with and without stress) with low salinity or drought; for high saline stress data an ANOVA was applied. The variables analyzed were shoot and root dry weight, percentage of leaf moisture, water and osmotic potential, percentage of mycorrhized roots, mycelium in soil and total number of spores. It was found that mixed inoculum of native AMF decreased physiological stress in *C. pepo* var. *pepo* caused by drought and low salinity, while the consortium of seven species of native AMF improved response to high saline stress, compared with other treatments ( $p \leq 0.05$ ).

**Key words:** *Cucurbita pepo* var. *pepo*, mycorrhizae, drought, salinity, water potential, osmotic potential.

### INTRODUCTION

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are found in most soils and are associated with plants, establishing a symbiotic interaction required, improving the absorption of minerals and water, and tolerance to different types of biotic and abiotic stresses (Smith and Read, 2008). The mycorrhizal symbiosis is not very specific and efficiency of plant-fungus interaction varies depending on

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: octubre, 2010. Aprobado: octubre, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 959-970. 2011.

interacción simbiótica obligada, mejorando la absorción de minerales y agua, y la tolerancia a distintos tipos de estreses abióticos y bióticos (Smith y Read, 2008). La simbiosis micorrízica es poco específica y la eficiencia de la interacción planta-hongo varía dependiendo de las especies asociadas o las características del ambiente (Piotrowski *et al.*, 2004; Bucher, 2006).

Rilling y Mummey (2006) señalan que los HMA mejoran el crecimiento y las relaciones hídricas de las plantas a través de cambios en la conductancia estomática y la transpiración. Estos organismos incrementan el crecimiento, la supervivencia y el rendimiento de las plantas en condiciones de baja disponibilidad de agua, por lo que se consideran de alta importancia agrícola y ecológica (Augé, 2001).

La respuesta de una planta micorrizada con la misma especie de HMA varía según las condiciones ambientales. Por ello ha aumentado el interés en estudiar la asociación con HMA nativos. La inoculación de consorcios de HMA procedentes de regiones semiáridas en *Solanum tuberosum* L. y *Sorghum bicolor* (L.) Moench, mejoran el estado hídrico, la producción de biomasa y la calidad de la papa o sorgo, comparado con un aislado puro de *Glomus intraradices* N. C. Schenck & G. S. Smith (Davies *et al.*, 2005; Cho *et al.*, 2006). En diferentes variedades de *Cucurbita pepo* L. la inoculación con HMA mejora la producción total y el contenido de fósforo en la planta (Lau *et al.*, 1995; Schroeder y Janos, 2005). Asimismo, la asociación de *G. intraradices* con esta misma cucurbitácea contrarresta los efectos perjudiciales del estrés salino (Colla *et al.*, 2008).

Las prácticas de cultivo tradicionales como el monocultivo y la destrucción de la rizosfera por el arado, reducen las poblaciones de HMA que promueven la resistencia de los cultivos a la desecación y aumentan aquellos con menor grado de adaptación a esas condiciones (Boddington y Dodd, 2000). La Costa de Hermosillo (LCH), estado de Sonora, México, es una región agrícola semiárida donde la carencia de agua y la salinidad en los suelos ha ocasionado el abandono de poco más de 80 000 ha de cultivo (Halvorson *et al.*, 2003; Castellanos *et al.*, 2005). Aún así, es una zona importante para la producción de hortalizas, entre las que destaca la calabaza italiana *C. pepo* var. *pepo* con una producción de más de 9000 t (SAGARPA, 2010).

species associated or environmental characteristics (Piotrowski *et al.*, 2004; Bucher, 2006).

Rilling and Mummey (2006) indicate that AMF improve growth and water relations of plants through changes in the stomatic conductance and transpiration. These organisms increase the growth, survival and performance of plants under low water availability, so they are considered of high ecological and agricultural importance (Augé, 2001).

The response of a mycorrhized plant with the same species of AMF varies with environmental conditions. For this reason, the interest in studying the association with native AMF has increased. The inoculation of associations of AMF from semiarid regions in *Solanum tuberosum* L. and *Sorghum bicolor* (L.) Moench improved the water status, biomass production and quality of potato or sorghum compared with a pure isolate of *Glomus intraradices* N. C. Schenck & G. S. Smith (Davies *et al.*, 2005; Cho *et al.*, 2006). In different varieties of *Cucurbita pepo* L., inoculation with AMF improves total yield and phosphorus content in the plant (Lau *et al.*, 1995; Schroeder and Janos, 2005). Also, the association of *G. intraradices* with the same cucurbitaceae counteracts the harmful effects of saline stress (Colla *et al.*, 2008).

Traditional farming practices such as monoculture and destruction of rhizosphere by plowing reduce populations of AMF that promote crop resistance to drying and increase those with lower degree of adaptation to these conditions (Boddington and Dodd, 2000). La Costa de Hermosillo (LCH), State of Sonora, México, is a semiarid farming region where lack of water and soil salinity has caused the abandonment of just over 80 000 ha of crops (Halvorson *et al.*, 2003; Castellanos *et al.*, 2005). Even so, it is an important area for the production of vegetables, among which zucchini *C. pepo* var. *pepo* highlights with a production of more than 900 t (SAGARPA, 2010).

The objective of this study was to evaluate the effect of native AMF of the Sonoran Desert, from saline fields of LCH, on the growth and water balance of *C. pepo* var. *pepo* grown under conditions of saline stress and drought. The results were compared with the effect of *Glomus claroideum* N. C. Schenck & G. S. Smith from temperate climate, in order to determine whether the use of biofertilizers composed of native AMF of semiarid regions are more effective in reducing the effect of stress by drought and salinity.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de HMA nativos del Desierto Sonorense, procedentes de campos salinos de LCH, en el crecimiento y balance hídrico de *C. pepo* var. *pepo* cultivada en condiciones de estrés salino y sequía. Los resultados se compararon con el efecto de *Glomus claroideum* N. C. Schenck & G. S. Smith procedente de clima templado, con la finalidad de determinar si la utilización de biofertilizantes compuestos de HMA nativos de regiones semiáridas son más efectivos para disminuir el efecto del estrés por sequía y salinidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de inóculos

Las esporas de HMA nativos se obtuvieron en suelos de campos salinos abandonados en LCH, Sonora. Los sitios presentaron salinidad de 5 dS m<sup>-1</sup>, pH de 8, relación de adsorción de sodio de 3, sodio intercambiable 3.5 % y 70 % de arena. Con la finalidad de incrementar el número de esporas se cultivó *C. pepo* var. *pepo* en muestras de suelo procedentes de LCH, obteniéndose un inóculo conformado por siete morfoespecies de HMA (In7): *Glomus* sp. 1 (103 esporas g<sup>-1</sup>), *Glomus claroideum* (90 esporas g<sup>-1</sup>), *Glomus intraradices* (34 esporas g<sup>-1</sup>), *Pacispora* sp. 1 (27 esporas g<sup>-1</sup>), *Glomus* sp. 2 (11 esporas g<sup>-1</sup>), *Glomus* sp. 3 (10 esporas g<sup>-1</sup>) y *Pacispora* sp. 2 (7 esporas g<sup>-1</sup>). Las plantas se desarrollaron bajo una luz diurna >800 lum m<sup>-2</sup>, con un riego diario de 100 mL hasta la floración. Para producir el inóculo mixto compuesto por dos morfoespecies (In2): *Glomus* sp. 1 (42 esporas g<sup>-1</sup>) y *Glomus* sp. 3 (24 esporas g<sup>-1</sup>), se inocularon 30-50 esporas de cada morfoespecie por planta de sorgo usando suelo estéril. Las plantas trampa crecieron a una temperatura y humedad relativa promedio de 25 °C y 35 %, con iluminación diurna >800 lum m<sup>-2</sup>.

### Condiciones de cultivo y tratamientos de inoculación

Se sembraron cinco semillas de *C. pepo* var. *pepo* en 5 L de sustrato estéril (5:2 turba negra: suelo) en macetas de 30 cm de diámetro×35 cm de alto. Las plantas se cultivaron hasta floración con luz diurna de 850 lum m<sup>-2</sup> durante 8 h, con humedad relativa y temperatura diurna promedio de 26.5 % y 23-28 °C. En cada tratamiento se usaron seis repeticiones y la unidad experimental fue de tres plantas por maceta. La temperatura, iluminación y humedad del ambiente se monitoreó con un equipo HOB0 modelo 1996 serie 922811 (Lab Safety Supply, EE.UU.).

## MATERIALS AND METHODS

### Collection of inocula

Native AMF spores were obtained in saline soils of abandoned fields on LCH, Sonora. The sites had salinity of 5 dS m<sup>-1</sup>, pH 8, sodium adsorption ratio of 3, exchangeable sodium 3.5 % and 70 % of sand. In order to increase the number of spores *C. pepo* var. *pepo* was cultivated in soil samples from LCH, obtaining an inoculum comprised of seven morphospecies of AMF (In7): *Glomus* sp. 1 (103 spores g<sup>-1</sup>), *Glomus claroideum* (90 spores g<sup>-1</sup>), *Glomus intraradices* (34 spores g<sup>-1</sup>), *Pacispora* sp. 1 (27 spores g<sup>-1</sup>), *Glomus* sp. 2 (11 spores g<sup>-1</sup>), *Glomus* sp. 3 (10 spores g<sup>-1</sup>) and *Pacispora* sp. 2 (7 spores g<sup>-1</sup>). Plants were grown under daylight >800 lum m<sup>-2</sup>, with a daily irrigation of 100 mL until flowering. To produce the mixed inoculum composed of two morphospecies (In2): *Glomus* sp. 1 (42 spores g<sup>-1</sup>) and *Glomus* sp. 3 (24 spores g<sup>-1</sup>), 30-50 spores were inoculated of each morphospecies per plant of sorghum using sterile soil. The trap plants grew at an average temperature and relative humidity of 25 °C and 35 %, with daylight >800 lum m<sup>-2</sup>.

### Cultivation conditions and inoculation treatments

Five seeds of *C. pepo* var. *pepo* were sown in 5 L of sterile substrate (5:2 black peat: soil) in pots of 30 cm of diameter×35 cm high. The plants were grown to flowering with daylight of 850 lum m<sup>-2</sup> for 8 h, with relative humidity and diurnal average temperature of 26.5 % and 23-28 °C. In each treatment six replicates were used and the experimental unit was three plants per pot. The temperature, lighting and humidity were monitored with a HOB0 computer model 1996 number 922 811 (Lab Safety Supply, USA).

The inoculation was started 10 d after sowing in all treatments and consisted of inoculating in each plant 3 g In2, 1.5 g In7, 1 g of inoculum with *G. claroideum* from Hueyotlipan, State of Tlaxcala (InG). These quantities were defined considering 100-150 spores g<sup>-1</sup> of the most abundant morphospecies in each inoculum. In the control (T0) 1 g of sterile soil per plant to standardize the management of experimental units was added. Stress treatments were initiated 5 d after inoculation to stabilize the plant-AMF interaction.

### Stress by drought

In this evaluation preliminary experiments were performed to know the minimum volume of irrigation water that would allow growing the plants to bloom, avoiding death by desiccation.

La inoculación se inició 10 d después de la siembra en todos los tratamientos y consistió en inocular en cada planta 3 g In2, 1.5 g In7, 1 g de un inóculo con *G. claroideum* procedente de Hueyotlipán, estado de Tlaxcala (InG). Estas cantidades se definieron considerando 100-150 esporas  $\text{g}^{-1}$  de la morfoespecie más abundante en cada inóculo. En el testigo (T0) se adicionó 1 g de suelo estéril por planta para uniformizar el manejo de las unidades experimentales. Los tratamientos con estrés se iniciaron 5 d después de la inoculación, para estabilizar la interacción planta-HMA.

#### Estrés por sequía

En esta evaluación se realizaron experimentos preliminares para conocer el volumen mínimo de agua de riego que permitiera cultivar las plantas hasta floración, evitando la muerte por desecación. Dicho volumen fue 25-50 mL diarios por maceta (25-40 % de humedad). Para mantener una humedad de 50-60 % en el sustrato se requirieron 100  $\text{mL d}^{-1}$  de agua, con lo cual no se observó síntomas de desecación (condición sin estrés).

#### Estrés salino bajo

Se añadieron diariamente 100 mL de agua por maceta manteniendo una salinidad de  $1.4 \pm 0.43 \text{ dS m}^{-1}$  para las plantas sin estrés, y 100 mL de agua con NaCl 40 mM manteniendo una salinidad de  $3.8 \pm 1.2 \text{ dS m}^{-1}$  para las plantas con estrés por salinidad baja.

#### Estrés salino alto

En los cuatro tratamientos se aplicó un riego diario de 100 mL de agua con NaCl 50 mM, manteniendo una salinidad promedio de  $4.5 \text{ dS m}^{-1}$  con variaciones entre 3.5 y  $6 \text{ dS m}^{-1}$ .

#### Evaluación de la respuesta

El peso seco total del vástago y radical se midió colocando ambas partes de la planta en una estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 72 h o hasta peso constante. Los porcentajes de humedad foliar se cuantificaron por diferencia entre peso fresco y seco de secciones de hojas. El potencial hídrico ( $\Psi$ ) se registró con una bomba de Scholander (PMS Instrument Co.). Las muestras se congelaron a  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  para obtener el exudado intracelular del tejido foliar y medir el potencial osmótico con un osmómetro (Wescor Vapor 5520). Los resultados de osmolaridad se convirtieron a potencial osmótico con la ecuación de Van't Hoff ( $\Psi_s = -CiRT$ ).

Las características de micorrización se evaluaron procesando las muestras con el método de tamizado en húmedo. El número

This volume was 25-50 mL per pot daily (25-40 % moisture). To maintain humidity of 50-60 % in the substrate  $100 \text{ mL d}^{-1}$  of water was required, with which signs of drying (no stress condition) were not observed.

#### Low saline stress

Daily, 100 mL of water were added per pot maintaining a salinity of  $1.4 \pm 0.43 \text{ dS m}^{-1}$  for stress-free plants, and 100 mL of water with NaCl 40 mM maintaining a salinity of  $3.8 \pm 1.2 \text{ dS m}^{-1}$  for plants with stress by low salinity.

#### High saline stress

In the four treatments a daily irrigation of 100 mL of water with NaCl 50 mM was applied, maintaining an average salinity of  $4.5 \text{ dS m}^{-1}$  with variations between 3.5 and  $6 \text{ dS m}^{-1}$ .

#### Evaluation of the response

The total dry weight of shoot and root was measured by placing both parts of the plant in an oven at  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  for 72 h or to constant weight. Foliar moisture percentages were quantified by the difference between fresh and dry weight of leaf sections. Water potential ( $\Psi$ ) was recorded with a Scholander pump (PMS Instrument Co.). The samples were frozen at  $-80 \text{ }^\circ\text{C}$  to obtain the intracellular exudate of leaf tissue and measure the osmotic potential with an osmometer (Wescor Vapor 5520). Osmolarity results were converted to osmotic potential with Van't Hoff's equation ( $\Psi_s = -CiRT$ ).

Mycorrhizal characteristics were evaluated by processing the samples with the wet sieving method. The total number of spores (NTE) was quantified by the sucrose flotation method and display with an optical microscope. To measure the external mycelium 0.02 to 0.025 g of screening were placed on a slide with glycerin and quantified the number of hyphae found along four lines evenly distributed in the coverslip (Herrera-Peraza *et al.*, 2004). Mycorrhizal colonization (CM) was assessed by staining 100-150 mg of dry roots ( $45 \text{ }^\circ\text{C}$ ) with trypan blue (Phillips and Hayman, 1970) calculating the percentage of mycorrhized roots.

#### Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized in all experiments. Drought stress and low salinity was analyzed with a factorial arrangement 4 (three inocula and control)  $\times$  2 (with and without stress) of treatments. Significant differences ( $p \leq 0.05$ ) by a combination of factors were compared based on standard error. For high saline stress data an ANOVA was applied and

total de esporas (NTE) se cuantificó con el método de flotación en sacarosa y visualización con un microscopio óptico. Para medir el micelio externo se colocaron 0.02-0.025 g de tamizado en un portaobjetos con glicerina y se cuantificó el número de hifas encontradas a lo largo de cuatro líneas uniformemente distribuidas en el cubreobjetos (Herrera-Peraza *et al.*, 2004). La colonización micorrízica (CM) se evaluó tiñendo 100-150 mg de raíces secas (45 °C) con azul de tripano (Phillips y Hayman, 1970), calculando el porcentaje de raíces micorrizadas.

#### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar en todos los experimentos. El estrés por sequía y salinidad baja se analizó con un arreglo factorial 4 (tres inóculos y el testigo) × 2 (con y sin estrés) de tratamientos. Las diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) por la combinación de factores se compararon con base en el error estándar. Para los datos de el estrés salino alto se aplicó un ANOVA y las diferencias estadísticas de las medias se compararon por el método de Tukey-Kramer ( $p \leq 0.05$ ). Para todos los análisis estadístico se usó NCSS versión 2006 (Hintze, 2006).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estrés por sequía

El cultivo de *C. pepo* var. *pepo* bajo condiciones de estrés por sequía duró 57 d, durante el cual ocurrió la floración. El análisis factorial mostró variaciones en el peso seco del vástago (PSV) y de la raíz (PSR), por el efecto combinado de la sequía y el inóculo de HMA ( $p \leq 0.05$ ). Sin embargo la relación vástago:raíz (V:R) cambió únicamente con o sin sequía, obteniéndose los valores más altos en plantas sin estrés (10-25 %) *vs.* cultivadas con sequía (Cuadro 1).

Con el estrés por sequía, las plantas inoculadas con las cepas nativas de HMA (In2 e In7) aumentaron el PSV en 0.03-0.06 g en comparación con los otros dos tratamientos; además, con In2 e In7 aumentó el PSR ( $>0.05$  g) *vs.* testigo (Cuadro 1). Ruiz-Lozano y Azcón (2000) señalan que la presencia de HMA permite a las raíces de las plantas alcanzar un mayor crecimiento en comparación con plantas no micorrizadas, debido a un aumento en la cantidad de nutrimentos transferidos al tejido radical.

El estrés por sequía y la presencia de los inóculos InG, In2 e In7, cambiaron significativamente el

statistical differences of means were compared by the Tukey-Kramer ( $p \leq 0.05$ ) method. For all statistical analysis the NCSS version 2006 (Hintze, 2006) was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Stress by drought

The cultivation of *C. pepo* var. *pepo* under drought stress conditions lasted 57 d, during which flowering occurred. Factorial analysis showed variations in shoot dry weight (SDW) and root (RDW), by the combined effect of drought and inoculum of AMF ( $p \leq 0.05$ ). However the shoot: root (S: R) relationship changed only in the presence or absence of drought, resulting in higher values in plants without stress (10-25 %) *vs.* planted with drought (Table 1).

With drought stress, plants inoculated with native strains of AMF (In2 and In7) increased the SDW in 0.03 to 0.06 g compared with the other two treatments; besides, with In2 and In7 there was an increase in the RDW ( $>0.05$  g) *vs.* control (Table 1). Ruiz-Lozano and Azcón (2000) indicate that the presence of AMF allows plant roots to achieve a higher growth compared to non-mycorrhizal plants, due to an increase in the amount of nutrients transferred to the root tissue.

Drought stress and the presence of inocula InG, In2 and In7, significantly changed the percentage of water, osmotic ( $\Psi_s$ ) and water ( $\Psi$ ) potential of plants (Table 1). The presence of native AMF adapted to drought conditions improves physiological capacity of plants to withstand the low availability of water in soil (Feire-Cruz *et al.*, 2000; Marulanda *et al.*, 2006). Treatment with In2 and In7 increased the percentage of water in leaves under low water availability ( $>89$  %) and there was a similar amount of water on the leaves of plants with and without drought (Table 1). Plants exposed to drought and inoculated with In2 showed lower osmotic potentials ( $-1.25$  MPa) and similar to that recorded with InG ( $-1.3$  MPa); in the control and with In7 a  $\Psi_s$  of  $-1.1$  MPa was quantified.

The percentages of mycorrhizal colonization in roots of *C. pepo* without drought stress were higher than in water-stressed plants (Table 1). This is similar to that observed in *Triticum aestivum* L. inoculated with *Glomus etunicatum* W. N. Becker & Gerd. or

**Cuadro 1. Efecto de la sequía en el peso seco del vástago (PSV), peso seco de la raíz (PSR), relación peso seco vástago:raíz (V:R), porcentaje de humedad foliar (Agua), potencial osmótico ( $\Psi_s$ ), potencial hídrico ( $\Psi$ ), porcentaje de colonización micorrizica (CM), micelio externo (ME) y número total de esporas (NTE) de *Cucurbita pepo* var. *pepo*, en plantas con (+E) o sin estrés (-E).**

**Table 1. Effect of drought on the shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), dry weight ratio shoot: root (S:R), leaf moisture percentage (Water), osmotic potential ( $\Psi_s$ ), water potential ( $\Psi$ ), percentage of mycorrhizal colonization (MC) external mycelium (EM) and total number of spores (TNE) of *Cucurbita pepo* var. *pepo*, in plants with (+E) or without stress (-E).**

Variable	Testigo	InG	In2	In7	Significancia $p \leq 0.05$			
					E	In	E×In	
PSV (g)	+E	3.9±0.1	4.2±0.1	4.9±0.1	4.6±0.2	0*	0*	0*
	-E	6.6±0.1	6.7±0.1	6.5±0.1	6.9±0.1			
PSR (g)	+E	0.16±0.01	0.14±0.01	0.24±0.01	0.22±0.03	0*	0.02*	0.02*
	-E	0.15±0.01	0.17±0.02	0.16±0.02	0.14±0.01			
V:R	+E	24.95±1.6	30.2±1.6	20.5±1.8	21.1±2.8	0*	0.2	0.2
	-E	44.0±3.8	39.4±2.6	40.1±3.6	48.2±4.1			
Agua (%)	+E	85.9±1.3	87.4±0.6	90.7±0.2	89.5±0.7	0.3	0*	0.02*
	-E	88.2±0.5	89.4±0.6	90.0±0.4	88.9±0.6			
$\Psi_s$ (MPa)	+E	-1.2±0.04	-1.2±0.13	-1.3±0.03	-1.1±0.07	0.5	0*	0.01*
	-E	-1.07±0.04	-1.64±0.14	-1.12±0.07	-1.05±0.04			
$\Psi$ (MPa)	+E	-1.42±0.01	-0.93±0.01	-0.97±0.03	-1.03±0.02	0*	0*	0*
	-E	-1.27±0.03	-1.57±0.07	-1.18±0.01	-1.57±0.05			
CM (%)	+E	0	7.2±0.4	10.4±0.5	9.2±0.8	0.1	0.2	0*
	-E	0	17.9±2.0	12.3±1.1	11.5±0.9			
ME (g ME/g suelo)	+E	0	25.0±1.5	40.1±2.6	35.8±3.4	0*	0.1	0*
	-E	0	42.6±4.4	33.3±1.6	43.0±4.5			
NTE (esporas/10 g suelo)	+E	0	98±4	164±13	110±22	0*	0.6	0*
	-E	0	249±21	160±19	203±29			

\* Significancia  $p \leq 0.05$ . Los valores son el promedio de seis repeticiones  $\pm$  error estándar. Sin HMA (testigo), inóculo procedente de región templada de *G. claroideum* (InG), inóculo con dos morfoespecies nativas del Desierto Sonorense (In2) e inóculo compuesto por siete morfoespecies nativas del Desierto Sonorense (In7) ❖ \* Significance  $p \leq 0.05$ . The values are the average of six replicates  $\pm$  standard error. Without AMF (control), inoculum from the temperate region of *G. claroideum* (InG), inoculum with two native morphospecies of the Sonoran Desert (In2) and inoculum composed by siete native morphospecies of the Sonoran Desert (In7).

porcentaje de agua, el potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) y el hídrico ( $\Psi$ ) de las plantas (Cuadro 1). La presencia de HMA nativos adaptados a condiciones de sequía mejora la capacidad fisiológica de las plantas para resistir la baja disponibilidad de agua en el suelo (Feire-Cruz *et al.*, 2000; Marulanda *et al.*, 2006). Los tratamientos con In2 e In7 aumentaron el porcentaje de agua en las hojas en condiciones de baja disponibilidad de agua (>89 %) y hubo una cantidad similar de agua en las hojas de las plantas con y sin sequía (Cuadro

*Funneliformis mosseae* (T. H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schübler, where these percentages were increased when the availability of water for the plant increased from 50 to 405 mm of rainfall during the cultivation (Al-Karaki *et al.*, 2004).

When soil moisture was 25-40 %, the total number of spores was significantly higher with In2 vs. In7 with a difference of >5 spores  $g^{-1}$  of soil, while with InG the lowest values were obtained (6.5-10 spores  $g^{-1}$  of soil). With In2 the number of

1). Las plantas expuestas a sequía e inoculadas con In2 presentaron los potenciales osmóticos menores ( $-1.25$  MPa), siendo similar a lo registrado con InG ( $-1.3$  MPa); en el testigo y con In7 se cuantificó un  $\Psi_s$  de  $-1.1$  MPa.

Los porcentajes de colonización micorrízica en las raíces de *C. pepo* sin estrés por sequía fueron mayores que en plantas con estrés hídrico (Cuadro 1). Lo anterior es similar a lo observado en *Triticum aestivum* L. inoculado con *Glomus etunicatum* W. N. Becker & Gerd. o *Funneliformis mosseae* (T. H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schübler, donde dichos porcentajes aumentaron cuando la disponibilidad de agua para la planta aumentó de 50 a 405 mm de precipitación pluvial durante el cultivo (Al-Karaki *et al.*, 2004).

Cuando la humedad en el suelo fue 25-40 %, el número total de esporas fue significativamente mayor con In2 *vs.* In7 con una diferencia de  $>5$  esporas  $g^{-1}$  de suelo, mientras que con InG se obtuvieron los valores menores (6.5-10 esporas  $g^{-1}$  de suelo). Con In2 la cantidad de esporas no varió en los tratamientos con o sin estrés por sequía (Cuadro 1).

El micelio externo fue significativamente mayor con los HMA nativos *vs.* InG, obteniéndose valores similares entre In2 e In7 con alrededor de 40 mg ME  $g^{-1}$  de suelo. El efecto positivo en el estado hídrico de las plantas y la mayor producción de micelio externo por las morfoespecies presentes en los inóculos de HMA nativos, puede estar relacionado con el incremento en la retención de agua en el sustrato debido al aumento en la cantidad de micelio en el suelo como lo señalan Ben-Khaled *et al.* (2003) y Augé (2004).

### Estrés salino bajo

Esta evaluación duró 47 d y el análisis factorial mostró que el peso seco de la raíz varió significativamente por el estrés salino. La presencia de sales en bajas concentraciones disminuyó de 0.05 a 0.1 g el crecimiento radical *vs.* tratamientos sin estrés. Además, el PSV, la V:R, el porcentaje de humedad foliar y el potencial hídrico fluctuaron con la condición de salinidad en el suelo y la presencia de los distintos inóculos ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 2).

El PSV fue aproximadamente 45 % más alto con la inoculación de HMA nativos en relación con InG y el testigo. Al comparar las plantas con y sin estrés salino bajo se encontró que con In2 e In7

spores did not vary in the treatments with or without drought stress (Table 1).

The external mycelium was significantly greater with native AMF *vs.* InG, obtaining similar values between In7 and In2 with around 40 mg ME  $g^{-1}$  of soil. The positive effect on plant water status and increased production of external mycelium by morphospecies present in the native AMF inocula may be related to the increase of water retention in the substrate due to the increase in the amount of mycelium on the ground as pointed out by Ben-Khaled *et al.* (2003) and Augé (2004).

### Low saline stress

This evaluation lasted 47 d and the factorial analysis showed that the root dry weight varied significantly by the saline stress. The presence of salts at low concentrations decreased from 0.05 to 0.1 g the root growth *vs.* treatments without stress. Furthermore, SDW, S:R, the percentage of leaf moisture and water potential fluctuated with the condition of salinity in the soil and the presence of different inocula ( $p \leq 0.05$ ) (Table 2).

The SDW was approximately 45 % higher with the inoculation of native AMF in relation to InG and the control. When comparing plants with and without low saline stress it was found that with In2 and In7 the SDW increased more than 7 g. With treatments In2 and In7 under saline stress, the RDW fell 0.02 g for both compared with InG. In addition, the root growth was reduced from 0.05 to 0.1 g with respect to the treatments without stress. With all inocula low salinity increased the S:R relationship *vs.* non-saline condition; with or without stress, the highest values were quantified with In2 followed by In7 (Table 2).

The native AMF improved the water status of plants by increasing more than 82 % the leaf water in low salinity conditions, with respect to the other two treatments. The leaf osmotic potential in *C. pepo* growing with salinity of 3.8 dS  $m^{-1}$  was similar to In7 and InG ( $-1.5$  and  $-1.6$  MPa), being greater than those quantified in In2 and the control (Table 2).

The number of AMF spores of In7 and InG decreased with low salinity conditions for crops without stress, similar to that observed under natural conditions in saline *vs.* non-saline soils (Carvalho

**Cuadro 2. Efecto de la baja salinidad en el peso seco del vástago (PSV), peso seco de la raíz (PSR), relación peso seco vástago:raíz (V:R), porcentaje de humedad foliar (Agua), potencial osmótico ( $\Psi_s$ ), potencial hídrico ( $\Psi$ ), porcentaje de colonización micorrizica (CM), micelio externo (ME) y número total de esporas (NTE) de *Cucurbita pepo* var. *pepo*, en plantas con (+E) o sin estrés (-E).**

**Table 2. Effect of low salinity on the shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), dry weight ratio shoot:root (S:R), leaf moisture percentage (Water), osmotic potential ( $\Psi_s$ ), water potential ( $\Psi$ ), percentage of mycorrhizal colonization (MC), external mycelium (EM) and total number of spores (TNE) of *Cucurbita pepo* var. *pepo*, in plants with (+E) or without stress (-E).**

Variable	Testigo	InG	In2	In7	Significancia $p \leq 0.05$			
					E	In	E×In	
PSV (g)	+E	4.5±0.4	4.8±0.3	8.3±0.5	7.0±0.5	0*	0*	0*
	-E	4.9±0.2	4.5±0.4	5.7±0.4	5.8±0.5			
PSR (g)	+E	0.18±0.02	0.21±0.01	0.19±0.02	0.19±0.01	0*	0.7	0.4
	-E	0.85±0.04	0.86±0.04	0.84±0.09	0.91±0.09			
V:R	+E	25±2.2	23±2.4	41±2.4	36±1.7	0*	0*	0*
	-E	17±1.2	16±1.7	20±6.3	19±2.2			
Agua (%)	+E	78.1±1.1	79.7±0.8	82.2±0.5	83.8±0.7	0*	0*	0*
	-E	86.1±0.7	86.5±0.5	86.8±0.9	87.2±0.4			
$\Psi_s$ (MPa)	+E	-1.91±0.10	-1.52±0.13	-1.80±0.06	-1.62±0.01	0*	0.04*	0.45
	-E	-1.22±0.04	-1.08±0.06	-1.22±0.08	-1.21±0.03			
$\Psi$ (MPa)	+E	-3.31±0.28	-3.51±0.42	-2.42±0.42	-2.42±0.36	0*	0*	0*
	-E	-3.66±0.15	-3.59±0.19	-2.77±0.31	-3.49±0.27			
CM (%)	+E	0	50.3±4.0	36.0±4.0	26±0.4	0.02*	0.1	0*
	-E	0	22.1±2.1	24.2±4.1	22.9±2.9			
ME (g ME/g suelo)	+E	0	31.8±1.2	50.6±1.7	51.7±1.2	0*	0*	0*
	-E	0	49.8±2.5	35.5±1.3	39.5±1.4			
NTE (esporas/10 g suelo)	+E	0	62±12	138±22	92±15	0.2	0.02*	0*
	-E	0	95±8	94±11	152±17			

\* Significancia  $p \leq 0.05$ . Los valores son la media de seis repeticiones  $\pm$  error estándar. Simbología de tratamientos de inoculación como en el texto y Cuadro 1 ❖ \* Significance  $p \leq 0.05$ . The values are the mean of six replicates  $\pm$  standard error. Symbolism of inoculation treatments as in the text and Table 1.

el PSV aumentó más de 7 g. Con los tratamientos In2 e In7 bajo estrés salino, el PSR disminuyó 0.02 g para ambos comparados con InG. Además el crecimiento radical se redujo de 0.05 a 0.1 g con respecto a los tratamientos sin estrés. Con todos los inóculos la salinidad baja aumentó la relación V:R vs. condición no salina; con o sin estrés los valores más altos se cuantificaron con In2 seguido de In7 (Cuadro 2).

Los HMA nativos mejoraron el estado hídrico de las plantas al aumentar en más de 82 % el agua foliar en condiciones de salinidad baja, respecto a

*et al.*, 2003; García *et al.*, 2008). In treatments with native AMF and low salinity (Table 2), it was observed that the amount of external mycelium was 30 % higher with respect to InG, and the values were similar between In2 and In7 of *ca.* 50 mg ME g<sup>-1</sup> of soil.

### High saline stress

With high salinity the SDW increased more than 1 g and doubled the S:R relationship with In7 compared with the control. The percentage of water



los otros dos tratamientos. El potencial osmótico foliar en *C. pepo* creciendo con salinidad de 3.8 dS m<sup>-1</sup> fue similar con In7 e InG (-1.5 y -1.6 MPa), siendo mayores a los cuantificados en In2 y el testigo (Cuadro 2).

La cantidad de esporas de HMA de In7 e InG disminuyó con la condición de salinidad baja respecto a los cultivos sin estrés, similar a lo observado en condiciones naturales en suelos salinos vs. no salinos (Carvalho *et al.*, 2003; García *et al.*, 2008). En los tratamientos con HMA nativos y salinidad baja (Cuadro 2) se observó que la cantidad de micelio externo fue 30 % mayor con respecto a InG, y los valores fueron similares entre In2 e In7 de ca. 50 mg ME g<sup>-1</sup> de suelo.

### Estrés salino alto

Con salinidad alta el PSV aumentó más de 1 g y se duplicó la relación V:R con In7 en comparación con el testigo. El porcentaje de agua en las hojas y el potencial hídrico se evaluó sólo con baja salinidad porque la alta salinidad dañó las hojas, lo cual no permitió medir ambas variables. Con salinidad alta (4.5 dS m<sup>-1</sup>) el potencial osmótico de las plantas fue mayor a -2.7 MPa con In7, y ≤ -2.3 MPa con los otros tres tratamientos (Cuadro 3).

La colonización micorrízica fue mayor en 24.5 % con InG al aplicar salinidad alta, respecto a los

in the leaves and water potential was evaluated only with low salinity because the high salinity damaged leaves, which did not allow measuring both variables. With high salinity (4.5 dS m<sup>-1</sup>) the osmotic potential of plants was higher than -2.7 MPa with In7, and ≤ -2.3 MPa with the other three treatments (Table 3).

Mycorrhizal colonization was higher in 24.5 % with InG when applying high salinity, in regard to the native fungi (15-20 %). The increase in salinity from 3.8 to 4.5 dS m<sup>-1</sup> decreased the percentage of MC in all treatments inoculated with AMF in 25, 15 and 5 % with InG, In2 and In7 (Tables 2 and 3). This is similar to that observed by Al-Karaki (2000) when he evaluated the effect of AMF on plants of *Lycopersicum esculentum* Mill. exposed to different levels of salinity, where an increase in electric conductivity of 4.7 to 7.4 dS m<sup>-1</sup> decreased in 15 % the percentages of mycorrhizal colonization of *F. mosseae*.

In plants where the salinity was 4.5 dS m<sup>-1</sup>, In7 produced more than 10 mg of external mycelium g<sup>-1</sup> of ground, being 20 and 14 % higher than with In2 and InG (Table 3). This could be related to the sensitivity of certain AMF facing the saline soil condition because the presence of salts can affect germination and growth, changing the specific rate of mycelial extension (Juniper and Abbot, 2006).

**Cuadro 3. Efecto de la salinidad alta en el peso seco del vástago (PSV), peso seco de la raíz (PSR), relación peso seco vástago:raíz (V:R), potencial osmótico (Ψ<sub>s</sub>), porcentaje de colonización micorrízica (CM), micelio externo (ME) y número total de esporas (NTE) de *Cucurbita pepo* var. *pepo*.**

**Table 3. Effect of high salinity on the shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), dry weight ratio shoot:root (S:R), osmotic potential (Ψ<sub>s</sub>), percentage of mycorrhizal colonization (MC), external mycelium (EM) and total number of spores (TNE) of *Cucurbita pepo* var. *pepo*.**

Variable	Testigo	InG	In2	In7
PSV (g)	5.3bc	4.7c	6.0ab	6.9a
PSR (g)	0.09ab	0.10a	0.08bc	0.06c
V:R	62.8bc	46.1c	79.8ab	118.0a
Ψ <sub>s</sub> (MPa)	-2.30ab	-2.07ab	-2.72a	-1.75b
CM (%)	0	24.5a	15.3b	20.1b
ME (g ME g <sup>-1</sup> suelo)	0	40.3c	56.5b	69.8a
NTE (esporas 10 g <sup>-1</sup> suelo)	0	355a	232b	170B

Los valores son la media de seis repeticiones ± error estándar. \*Medias con letras distintas en una columna son diferentes (p≤0.05). La simbología de tratamientos de inoculación están en el texto y el Cuadro 1 ❖ The values are the mean of six replicates ± standard error. \*Means with different letters in a column are different (p≤0.05). The symbolism of inoculation treatments are in the text and Table 1.

hongos nativos (15-20 %). El aumento en la salinidad de 3.8 a 4.5 dS m<sup>-1</sup> disminuyó el porcentaje de CM en todos los tratamientos inoculados con HMA en 25, 15 y 5 % con InG, In2 e In7 (Cuadros 2 y 3). Ello es similar a lo observado por Al-Karaki (2000) cuando evaluó el efecto de HMA en plantas de *Lycopersicon esculentum* Mill. expuestas a diferentes niveles de salinidad, donde un incremento en la conductividad eléctrica de 4.7 a 7.4 dS m<sup>-1</sup> disminuyó en 15 % los porcentajes de colonización micorrízica de *F. mosseae*.

En las plantas donde la salinidad fue 4.5 dS m<sup>-1</sup>, In7 produjo más de 10 mg de micelio externo g<sup>-1</sup> de suelo, siendo 20 y 14 % mayor que con In2 e InG (Cuadro 3). Lo anterior podría relacionarse con la sensibilidad de ciertos HMA ante la condición salina del suelo porque la presencia de sales puede afectar su germinación y crecimiento, modificando la tasa específica de extensión micelial (Juniper y Abbot, 2006).

Los HMA nativos de regiones áridas o semiáridas permiten que especies vegetales poco resistentes al estrés salino mejoren su crecimiento debido a un aumento en la asimilación de fósforo, porque los hongos asociados presentan una mayor producción de hifas en el suelo comparado con las cepas procedentes de otros climas (Augé *et al.*, 2003; Bhoopander y Mukerji, 2004). En el presente estudio, el In7 de HMA nativos produjo mayor micelio externo en el suelo que InG e In2 cuando la salinidad fue 4.5 dS m<sup>-1</sup>, y además el más efectivo para obtener mayor PSV e incrementar el potencial osmótico foliar (Cuadro 3).

Los inóculos de HMA (In7, In2 e InG) evaluados en este trabajo modificaron de forma variable el crecimiento, estado hídrico y características de micorrización (CM, ME y NTE) en el cultivo de *C. pepo* var. *pepo* con o sin estrés. El efecto de los factores abióticos y la asociación micorrízica en las plantas sometidas a estrés hídrico es complejo; cualquier cambio ambiental afecta la fisiología de la planta y el desarrollo del hongo, por lo cual la respuesta varía de acuerdo con la composición de la comunidad de HMA y la condición de estrés (Quilambo, 2003; Escudero y Mendoza, 2005; Bucher, 2006).

El análisis de los resultados indica que los HMA nativos permiten un mejor crecimiento y balance hídrico que la especie fúngica procedente de una región templada (*G. claroideum*). De manera similar, en *Citrus volkameriana* Pasq. se encontró que aislados de

Native AMF of arid and semiarid regions allow that plant species little resistant to saline stress, improve their growth due to an increase in assimilation of phosphorous, because the associated fungi have a higher production of hyphae in the soil compared with strains from other climates (Augé *et al.*, 2003; Bhoopander and Mukerji, 2004). In this study, the In7 of native AMF produced more external mycelium in the soil than InG and In2 when salinity was 4.5 dS m<sup>-1</sup>, and also the most effective to obtain more SDW and increase leaf osmotic potential (Table 3).

The AMF inocula (In7, In2 and InG) evaluated in this study variably altered growth, water status and characteristics of mycorrhization (MC, EM, and TNE) in the cultivation of *C. pepo* var. *pepo* with and without stress. The effect of abiotic factors and mycorrhizal association in plants subjected to water stress is complex; any environmental change affects plant physiology and development of the fungus, thus the response varies according to the composition of the community of AMF and the stress condition (Quilambo, 2003; Escudero and Mendoza, 2005; Bucher, 2006).

The analysis of results indicates that native AMF allow for better growth and water balance than fungal species from a temperate region (*G. claroideum*). Similarly, in *Citrus volkameriana* Pasq., it was found that *Glomus* isolates from semiarid regions allow plants under stress conditions to maintain a better water status than the AMF from temperate environments (Fidelibus *et al.*, 2001).

## CONCLUSIONS

The arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) from saline fields of the Sonoran Desert decreased the negative effect of drought stress and salinity in crops of *C. pepo* var. *pepo*, improving growth and water status of plants compared to AMF from a temperate region (*G. claroideum*) and the control. The isolate composed of two native morphospecies conferred more benefit to plants exposed to drought and low salinity, and the inoculum consisting of seven morphospecies of native AMF was the best inoculum under high salinity conditions. This study provides a basis to further investigate the native AMF of arid and semi-arid regions, for use as

*Glomus* procedentes de regiones semiáridas permiten que las plantas en condiciones de estrés mantengan un mejor estado hídrico que los HMA procedentes de ambientes templados (Fidelibus *et al.*, 2001).

## CONCLUSIONES

Los hongos micorrízicos arbusculares procedentes de campos salinos del Desierto Sonorense, disminuyeron el efecto negativo del estrés por sequía y salinidad en los cultivos de *C. pepo* var. *pepo*, mejorando el crecimiento y el estado hídrico de las plantas en comparación con HMA procedente de una región templada (*G. claroideum*) y el testigo. El aislado compuesto por dos morfoespecies nativas confirió mayor beneficio a las plantas expuesta a sequía y baja salinidad, y el inóculo compuesto por siete morfoespecies de HMA nativos fue el mejor inoculante en condiciones de alta salinidad. Este estudio sirve de base para aumentar la investigación de los HMA nativos de regiones áridas y semiáridas, para usarlos como biofertilizantes en cultivos comerciales en condiciones de baja disponibilidad de agua o salinidad en el suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN II-14, US National Science Foundation (Grant GEO-04523250) por el financiamiento parcial. Citlalli Harris-Valle agradece a CONACYT-México por su beca doctoral.

## LITERATURA CITADA

Al-Karaki, G. N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza* 10: 51-5.

Al-Karaki, G., B. McMichael, and J. Zak. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14: 263-269.

Augé, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.

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

Augé, R. M., J. L. Moore, K. Cho, D. M. Sylvia, A. Al-Agely, and A. M. Saxton. 2003. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. *J. Plant Physiol.* 160: 1147-1156.

Ben-Khaled, L., A. Morte-Gómez, E. M. Ouarragi, and A. Oihabi. 2003. Réponses physiologiques et biochimiques du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association Mycorrhizes-Rhizobium sous une contrainte saline. *Agronomie* 23: 571-580.

biofertilizers in commercial crops under conditions of low availability of water or soil salinity.

—End of the English version—



Bhoopander, G., and K. G. Mukerji. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions. *Mycorrhiza* 14: 307-312.

Boddington, C. L., and J. D. Dodd. 2000. Effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. *Plant Soil* 218: 137-144.

Bucher, M. 2006. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytologist* 173: 11-26.

Carvalho, L. M., P. M. Correia, R. J. Ryel, and M. A. Martinis-Loução. 2003. Spatial variability of arbuscular mycorrhizal fungal spores in tow natural plant communities. *Plant and Soil* 251: 227-236.

Castellanos, A. E., M. J. Martínez, J. M. Llano, W. L. Halvorson, M. Espiricueta, and I. Espejel. 2005. Successional trends in Sonora Desert abandoned agricultural fields in northern Mexico. *J. Arid Environ.* 60: 437-455.

Cho, K., H. Toler, J. Lee, B. Ownley, J. C. Stutz, J. L. Moore, and R. M. Augé. 2006. Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. *J. Plant Physiol.* 163: 517-528.

Colla, G., Y. Roupheal, M. Cardarelli, M. Tullido, A. M. Rivera, and A. Rea. 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils* 44: 501-509.

Davies F. T., C. M. Calderon, and Z. Huaman. 2005. Influence of arbuscular micorriza indigenous to Peru and a flavonoid on growth, yield, and leaf elemental concentration of "Yungay" potatoes. *HortScience* 40: 381-385.

Escudero, V., and A. Mendoza. 2005. Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. *Mycorrhiza* 15: 291-299.

Feire-Cruz, A., T. Ishii, and K. Kadoya. 2000. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water-stress conditions. *Mycorrhiza* 10: 121-123.

Fidelibus, M. W., C. A. Martin, and J. C. Stutz. 2001. Geographic isolates of *Glomus* increase root growth and whole-plant transpiration of *Citrus* seedlings grown with high phosphorus. *Mycorrhiza* 10: 231-236.

García, I., R. Mendoza, and M. C. Pomar. 2008. Deficit and excess of soil water impact on plant growth of *Lotus tenuis* by affecting nutrient uptake and arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 304: 117-131.

Halvorson, W. L., A. E. Castellanos, and J. Murrieta-Saldívar. 2003. Sustainable land use requirements attention to ecological signals. *Environ. Manage.* 32: 551-558.

- Herrera-Peraza, R. A., E. Furrázola, R. Fernández-Valle, and Y. Torres. 2004. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba Ciencias Biológicas* 35: 113-123.
- Hintze, J. 2006. NCSS, PASS and GESS. NCSS, Kaysville, UT, USA.
- Juniper, S., and L. K. Abbott. 2006. Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 16: 371-379.
- Lau, T. C., X. Lu, R. T. Koide, and A. G. Stephenson. 1995. Effects of soil fertility and mycorrhizal infection on pollen production and pollen grain size of *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *Plant, Cell and Environ.* 18: 169-177.
- Marulanda, A., J. M. Barea, and R. Azcón. 2006. An indigenous drought-tolerant strain of *Glomus intraradices* associated with a native bacterium improves water transport and root development in *Remata sphaerocarpa*. *Microbial Ecol.* 52: 670-678.
- Phillips, J. M., and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Piotrowski, J. S., T. Denich, J. N. Klironomos, J. M. Graham, and M. C. Rillig. 2004. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. *New Phytologist* 164: 365-373.
- Quilambo, O. A. 2003. The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Afr. J. Biotechnol.* 2: 539-546.
- Rilling, M. C., and D. L. Mummey. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* 171: 41-53.
- Ruiz-Lozano, J. M., and R. Azcón. 2000. Symbiotic efficiency and infectivity of an autochthonous arbuscular mycorrhizal *Glomus* sp. from saline soils and *Glomus deserticola* under salinity. *Mycorrhiza* 10: 137-143.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca y Alimentación. 2010. <http://www.siap.gob.mx> (Consultado: agosto, 2010).
- Schroeder, M. S., and D. P. Janos. 2005. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. *Mycorrhiza* 15: 203-216.
- Smith, E., and D. J. Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London. 787 p.