



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,  
A.C.  
México

Manjarrez-Martínez, M. J.; Alarcón, A.; Ferrera-Cerrato, R.  
Fertilización foliar en plantas de *Annona cherimola* Mill., inoculadas con hongos micorrízicos  
arbusculares  
Terra Latinoamericana, vol. 23, núm. 4, octubre-diciembre, 2005, pp. 553-562  
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.  
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311146014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# FERTILIZACIÓN FOLIAR EN PLANTAS DE *Annona cherimola* Mill., INOCULADAS CON HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

## Foliar Fertilization on *Annona cherimola* Mill. Plants Inoculated with Arbuscular Mycorrhizal Fungi

M. J. Manjarrez-Martínez<sup>1</sup>, A. Alarcón<sup>1</sup> y R. Ferrera-Cerrato<sup>1‡</sup>

### RESUMEN

El presente estudio se estableció en invernadero para evaluar el efecto de la fertilización foliar y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plántulas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). Después de 30 días en almácigo, las plántulas se transplantaron y se inocularon con 10 g de suelo-inóculo del consorcio micorrízico *Glomus* Zac-19. Dos formulaciones foliares comerciales se asperjaron cada 15 días durante 125 días: fertilizante mineral 31-11-11 NPK (Agroleaf<sup>®</sup>, Scotts) a dosis de 10 g L<sup>-1</sup> agua y fertilizante orgánico Humiforte<sup>®</sup> (a base de aminoácidos) en dosis de 17.5 mL L<sup>-1</sup> agua. Los tratamientos consistieron de plantas testigo, plantas inoculadas, plantas fertilizadas con cada fuente fertilizante y plantas con la combinación del consorcio micorrízico y las fuentes fertilizantes. A 90 días, se cuantificaron tasa fotosintética, conductancia estomática, concentración de CO<sub>2</sub> y contenido de clorofila (*a*, *b* y total). Las plantas se cosecharon a 125 días después del trasplante, y se evaluaron el área foliar, peso seco de follaje, volumen radical, contenido de nitrógeno foliar y porcentaje de colonización micorrízica. La tasa fotosintética fue mayor en plantas inoculadas con *Glomus* Zac-19; sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El mayor contenido de clorofila se presentó en los tratamientos *Glomus* Zac-19 y *Glomus* Zac-19 con fertilizante orgánico. La biomasa y el contenido de nitrógeno foliar de las plantas fueron significativamente incrementados por la inoculación del consorcio micorrízico. Se observó interacción positiva entre el consorcio micorrízico con el fertilizante orgánico. La aplicación de los fertilizantes no redujo la colonización de los HMA en el sistema

radical, la cual fue mayor que 20% en los tratamientos inoculados.

**Palabras clave:** *Glomus* Zac-19, chirimoya, crecimiento vegetativo

### SUMMARY

A study was conducted to determine the effect of foliar fertilization and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) seedlings. Thirty-day-old seedlings were transplanted and inoculated with 10 g of inoculum of the mycorrhizal consortium *Glomus* Zac-19. During 125 days, two solutions of commercial foliar fertilizer formulations were applied every 15 days. One consisted of 10 g of mineral fertilizer 31-11-11 NPK (Agroleaf<sup>®</sup>, Scotts) diluted in a liter of water, and the second consisted of 17.5 mL of organic fertilizer Humiforte<sup>®</sup> (based on amino acids) diluted in a liter of water. Treatments consisted of control plants, inoculated plants, plants fertilized with each fertilizer source, and plants with the combination of the mycorrhizal consortium and the fertilizer sources. After 90 days, photosynthetic rate, stomatal conductance, concentration of CO<sub>2</sub>, and chlorophyll content (*a*, *b* and total) in leaves were measured. Plants were harvested 125 days after transplanting, and leaf area, leaf dry mass, root volume, leaf nitrogen content, and mycorrhizal colonization were evaluated. The photosynthesis rate was higher in plants inoculated with *Glomus* Zac-19; nevertheless, no differences were observed between treatments. Treatments of *Glomus* Zac-19 and *Glomus* Zac-19 with organic fertilizers presented the highest chlorophyll *a* content. Plant biomass and nitrogen content were significantly increased by mycorrhizal inoculation. Positive interaction was observed between the mycorrhizal consortium with the organic fertilizer. Application of fertilizers did not reduce AMF colonization in the root system, which was higher by 20% in the inoculated treatments.

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, estado de México.

<sup>‡</sup> Autor responsable ([ronaldfc@colpos.mx](mailto:ronaldfc@colpos.mx))

**Index words:** *Glomus Zac-19*, *cherimoya*, *vegetative growth*.

## INTRODUCCIÓN

La familia Anonaceae agrupa alrededor de 75 géneros conocidos, de éstos sólo tres producen frutos comestibles: *Rollinia*, *Asimina* y *Annona* (Manica, 1994). El género *Annona* está integrado por más de 100 especies distribuidas en las regiones subtropicales y tropicales del mundo y, desde tiempos remotos, han sido apreciadas por sus frutos. De entre estas especies sobresalen la guanábana (*Annona muricata*), chirimoya (*A. cherimola*), saramuyo (*A. squamosa*), anona común (*A. reticulata*), ilama (*A. diversifolia*) y el híbrido atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Morton, 1987).

En México, la chirimoya es una especie que ha empezado a repuntar en el mercado de las frutas debido a su exquisito sabor, alto contenido en carbohidratos, calcio y fósforo que la hacen de fácil digestión y sobre todo porque se le puede consumir en forma fresca o procesada (licores, helados y mermeladas). Asimismo, y debido a la demanda de este frutal por países como Japón, Arabia Saudita, Canadá y Estados Unidos, el interés por su cultivo ha incrementado. En México, hasta 1992 se contaba con 80 ha reportadas para este cultivo en el estado de Michoacán (SARH, 1992). En la actualidad, 518 ha se destinan a este frutal cuya producción se estima de 1744 t, las cuales son principalmente producidas en Campeche, Michoacán, San Luis Potosí, Jalisco, Oaxaca, Puebla y estado de México (Nava-Díaz *et al.*, 2000).

Existen varios problemas relacionados con la producción de las anonas en todo el mundo y México no es la excepción. De manera general, la problemática de este cultivo puede agruparse en tres categorías: 1) falta de cultivares sobresalientes para la producción en regiones de México, 2) desconocimiento del manejo agronómico del cultivo (acondicionamiento del terreno definitivo; aplicación de podas, fertilización y plaguicidas) y 3) desconocimiento de los sistemas de propagación de plantas y manejo del vivero.

El viverismo como parte de la actividad frutícola dedicada a la obtención de árboles para una plantación es de gran importancia para asegurar la productividad futura de los mismos, lo que la hace una actividad sumamente trascendente para el fruticultor (Ryugo, 1988). Esta actividad, en la actualidad, atraviesa por

una crisis de desconfianza hacia los productos químicos y biológicos que se ofrecen comercialmente. Desde el punto de vista oficial, es necesario aplicar una certificación varietal y fitosanitaria para que los productores produzcan plantas libres de plagas y enfermedades, vigorosas y de calidad en el vivero (SEP, 1981; Sotomayor y Duicela, 1988).

Para diversas especies frutícolas, la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la etapa de vivero ha demostrado incrementar la producción de biomasa, acortar el periodo de estancia antes de la injertación y acelerar procesos fisiológicos que redundan en mayor desarrollo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Los mecanismos por los que la micorriza beneficia a las plantas son conocidos y ampliamente difundidos (Smith *et al.*, 1994; González-Chávez *et al.*, 1998; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

En los sistemas productivos, la respuesta a la inoculación con HMA ha sido inconsistente, debido a su interacción con diversos componentes físicos, químicos y biológicos del suelo. En los sistemas de producción de plantas en vivero, la fertilización tiene como fin, procurar la nutrición equilibrada al cultivo (Hartmann *et al.*, 2002). Sin embargo, la aplicación de fertilizantes es controversial, por un lado se menciona que la aplicación temprana de nutrientes es innecesaria por las reservas propias de la semilla (Hanger, 1984) y, por otro lado, su uso ha sido condenado por sus efectos negativos en el ambiente.

La respuesta inmediata y a largo plazo de la aplicación de fertilizantes en el vivero, depende de muchos factores, entre los que pueden mencionarse el método y la dosis, la formulación del fertilizante y la genética misma de las plantas (Trinidad y Aguilar, 1999). En relación con estos factores, se han documentado algunas fuentes y dosis de fertilizantes aplicadas al suelo en frutales inoculados con HMA (Jaen *et al.*, 1997). Sin embargo, el efecto de fertilizantes foliares y la formulación de los mismos en plantas inoculadas con HMA se han estudiado poco. Con base en lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos formulaciones de fertilización foliar en el desarrollo de plántulas de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) inoculadas con un consorcio de HMA, en condiciones de invernadero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como material vegetal se utilizaron semillas de chirimoya, colectadas en Coatepec, Harinas, estado de

México, mismas que se sembraron para su germinación, en charolas de plástico, con arena esterilizada con presión de vapor de agua ( $1.26 \text{ kg cm}^{-2}$ , 3 h). Treinta días después de la germinación, las plantas de 15 cm de altura en promedio, se trasplantaron, individualmente a raíz desnuda, a bolsas de polietileno negro de 6 kg de sustrato. El sustrato de crecimiento consistió en la mezcla de arena y suelo de San Salvador Atenco (1:2 v/v), el cual presentó las características: pH de 7.1, 1.3% de materia orgánica, 0.07% de N,  $16 \text{ mg kg}^{-1}$  de P-Olsen y textura franco-arcillo-arenosa.

El consorcio micorrízico *Glomus* Zac-19, integrado por *Glomus diaphanum*, *G. albidum* y *G. clarum* (Chamizo et al., 1998), se propagó en sorgo como hospedante y arena como sustrato para obtener el inoculante que estuvo compuesto de hifas, segmentos de raíz colonizados en 68% y 560 esporas en 100 g de inóculo [método de tamizado y decantación en húmedo (Gerdemann y Nicolson, 1963)]. En el momento del trasplante, en los tratamientos que así lo contemplaban, se adicionaron 10 g de inoculante de modo que los propágulos micorrízicos estuvieran en contacto directo con la raíz.

Los fertilizantes foliares se emplearon en dos formulaciones: Agroleaf<sup>®</sup> (Scotts) 31-11-11 NPK mineral a dosis de  $10 \text{ g L}^{-1}$  agua (fertilizante mineral) y Humiforte<sup>®</sup>, formulación con base en aminoácidos en dosis de  $17.5 \text{ mL L}^{-1}$  agua (fertilizante orgánico). Se realizaron aplicaciones al follaje cada 15 días durante los 125 días que duró este experimento. La aplicación de los fertilizantes se realizó entre 7:00 y 8:00 h de la mañana, para evitar problemas de evaporación o daños por quemaduras en las hojas (Taiz y Zeiger, 1998). Los riegos sucesivos se realizaron con agua corriente, cada tercer día. Durante el desarrollo del experimento, se requirió controlar la mosquita blanca (*Bemisia vaporarorium*), para lo cual se realizaron cuatro aplicaciones de Talstar (Bifentrina) a razón de  $1.5 \text{ mL L}^{-1}$  agua, en todas las plantas.

El experimento correspondió a un factorial  $3^2$ , el cual consideró tres tipos de fertilización (sin aplicación, fertilizante mineral y fertilizante orgánico) y dos niveles de inoculación (con y sin inoculación). En total, se consideraron seis tratamientos, con ocho repeticiones cada uno, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos consistieron de plantas testigo, plantas inoculadas con *Glomus* Zac-19, plantas con fertilizante mineral

(Agroleaf<sup>®</sup>), plantas con fertilizante orgánico (Humiforte<sup>®</sup>), plantas con *Glomus* Zac-19 más fertilizante mineral, y plantas con *Glomus* Zac-19 más fertilizante orgánico.

A 90 días después del trasplante, se determinaron la tasa fotosintética ( $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), conductancia estomática ( $\text{moles cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y concentración interna de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ air}$ ) en una hoja madura (3<sup>a</sup> a 4<sup>a</sup> hoja por debajo del ápice) con un medidor portátil de gases infrarrojo LICOR-6200 (Portable Photosynthesis System). Además, se cuantificó el contenido de clorofila *a*, *b* y total ( $\text{mg cm}^{-2}$ ) (Harborne, 1973).

En el momento de la cosecha, 125 días después del trasplante, se evaluaron área foliar, con un integrador de área foliar LI-COR 3100 ( $\text{cm}^2$ ); peso seco de follaje (g) después de 72 h a  $105^\circ\text{C}$ , volumen radical cuantificado con base en el volumen de agua desplazado por la raíz en una probeta graduada ( $\text{cm}^3$ ) y el nitrógeno foliar (por ciento y contenido total en hojas) mediante el método microkjeldahl. Por su parte, la colonización micorrízica se estimó con base en el procedimiento de clareo y tinción con azul tripano (Phillips y Hayman, 1970), cuantificando el porcentaje de colonización del hongo (Biermann y Linderman, 1981) mediante observación al microscopio a objetivo de inmersión (100x). Con base en la medición de la altura de la planta (cm) y el diámetro de tallo (cm), se calculó la tasa relativa de crecimiento acumulado del tallo (TRCAT) de acuerdo con la ecuación propuesta por Hurtado y Sieverding (1986):

Tasa relativa de crecimiento acumulado del tallo =

$$\frac{[3.1416 \text{ [(diámetro de tallo, cm)/2]}^2 + \text{altura de planta, cm}]}{\text{Edad de la planta (días)}}$$

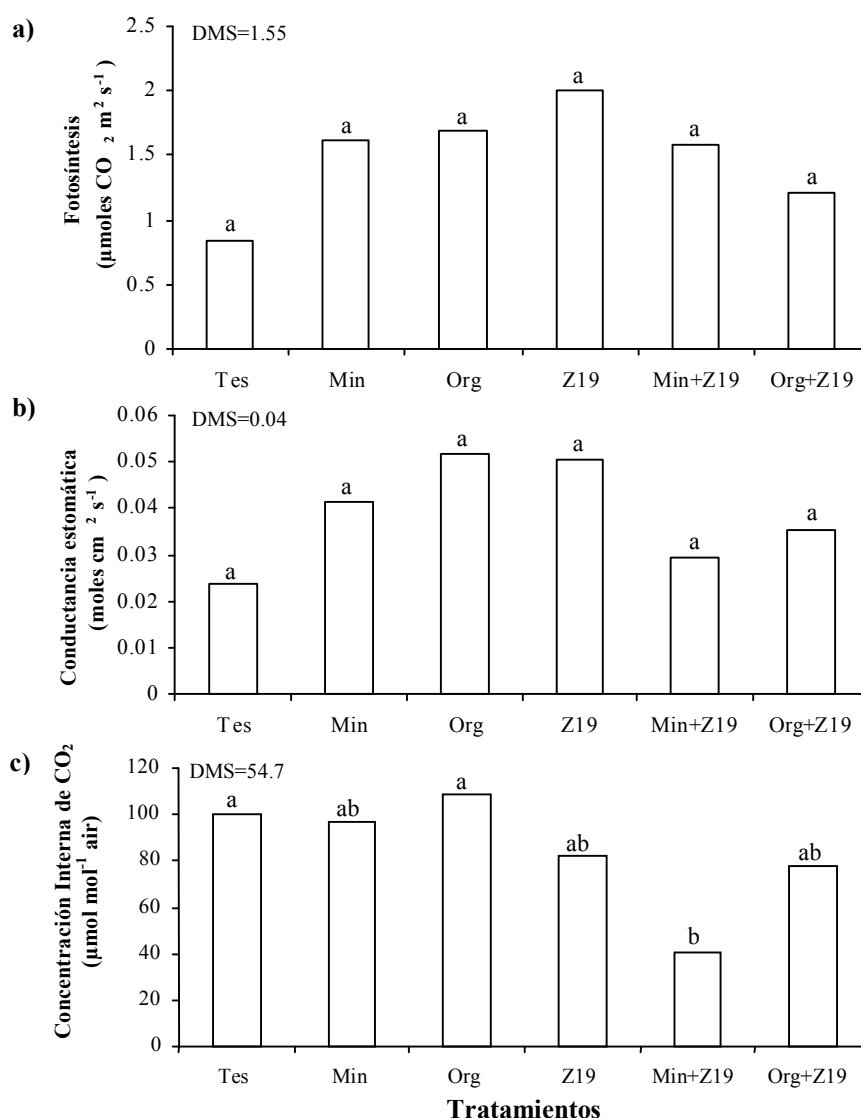
A los datos obtenidos de cada variable, en ambas fechas de muestreo, se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05\%$ ) así como un análisis de correlación de Pearson, mediante el paquete SAS para computadora (SAS Institute, 1995).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A 90 días después del trasplante, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la fotosíntesis y la conductancia estomática (Figuras 1a y 1b). Sin embargo, la concentración interna de  $\text{CO}_2$

mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1c). A pesar de no presentarse diferencias significativas, los valores más bajos de fotosíntesis y conductancia estomática correspondieron a plantas testigo, así como a las plantas con la combinación de *Glomus* Zac-19 con el fertilizante orgánico y con el fertilizante mineral (Figuras 1a y 1b). Los mayores valores para la actividad fotosintética se presentaron en las plantas con la sola inoculación de *Glomus* Zac-19 (Figura 1a). Para el caso de la concentración interna de CO<sub>2</sub>, el tratamiento con la combinación del

consorcio micorrízico y fertilizante mineral presentó significativamente el valor más bajo en comparación con el tratamiento testigo (Figura 1c). La reducida tasa fotosintética en las plantas testigo puede ser explicada con base en desbalances nutrimentales (N y P, por ejemplo), los cuales influyen directamente no sólo en la tasa fotosintética, sino también en todo el metabolismo vegetal (Flüge *et al.*, 1980). La estimulación y modificación del intercambio gaseoso en plantas inoculadas con HMA en diversas condiciones ambientales han sido descritas por



**Figura 1. Fotosíntesis, conductancia estomática y concentración interna de CO<sub>2</sub> en *Annona cherimola* Mill. bajo el efecto de dos formulaciones foliares en interacción con *Glomus* Zac-19, a 90 días después del trasplante e inoculación. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf<sup>®</sup>); Org = fertilizante orgánico (Humiforte<sup>®</sup>); Z19 = *Glomus* Zac-19. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.**

Augé (2000); sin embargo, el efecto combinado de la inoculación de HMA con aplicación de fertilizantes, tanto orgánicos, como inorgánicos, sobre el intercambio gaseoso aún no se ha bien entendido. Manjarrez *et al.* (1999) mencionaron que la aplicación de materia orgánica en plantas de chile serrano inoculadas con HMA inhibió significativamente la tasa fotosintética y la conductancia estomática. Sin embargo, se requiere de mayor estudio para el entendimiento de este tipo de respuestas fisiológicas en plantas inoculadas con HMA.

Se reporta que la inoculación de plantas con HMA causa aumentos significativos de la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> (Venanzi *et al.*, 1993; Alarcón *et al.*, 1998; Davies *et al.*, 2000). Por otro lado, las aplicaciones foliares de N-P-K conducen a la disminución temporal de la fotosíntesis neta, conductancia estomática y del mesófilo, así como la transpiración, las cuales se recuperan totalmente días después de la aplicación. No obstante, la naturaleza de este estrés y su posterior recuperación no se han definido hasta el momento y no parecen estar asociada con síntomas visibles de daño en las plantas (Boote *et al.*, 1978; Swietlik y Faust, 1984).

Los tratamientos Min, Z19, Min+Z19 y Org+Z19 presentaron mayor contenido de clorofila (*a*, *b* y total) superando estadísticamente a plantas testigo y plantas fertilizadas con el producto orgánico (Figura 2).

El incremento en el contenido de clorofila total en el tratamiento Org+Z19 fue mayor que 45% con respecto al testigo (Figura 2). No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos con fertilizante mineral, *Glomus* Zac-19 y con *G. Zac-19* con aplicación, tanto del fertilizante mineral, como del fertilizante orgánico (Figura 2). Similar tendencia se observó para el contenido de clorofila *a*, mientras que el contenido de clorofila *b* no presentó diferencias significativas entre tratamientos (Figura 2). El incremento en el contenido de clorofila total, inducido por la aplicación de fertilizantes, concuerda con lo reportado por otros autores para especies como girasol, trigo y espinaca (Evans, 1983; Evans y Terashima, 1988; Venanzi *et al.*, 1993). Sin embargo, no se cuenta con literatura que relacione la fertilización foliar con el contenido de clorofila en hojas de especies frutales, en simbiosis con HMA.

A 125 días después del trasplante, el área foliar presentó diferencias estadísticas significativas en los tratamientos *Glomus* Zac-19 y *Glomus* Zac-19 con fertilizante orgánico (Cuadro 1). El resto de los tratamientos no mostró diferencias significativas entre sí, aunque numéricamente el testigo produjo mayor área foliar en comparación con plantas fertilizadas con cada fuente fertilizante (Cuadro 1). En cuanto al peso seco del follaje, la aplicación del producto orgánico en plantas inoculadas incrementó la producción de

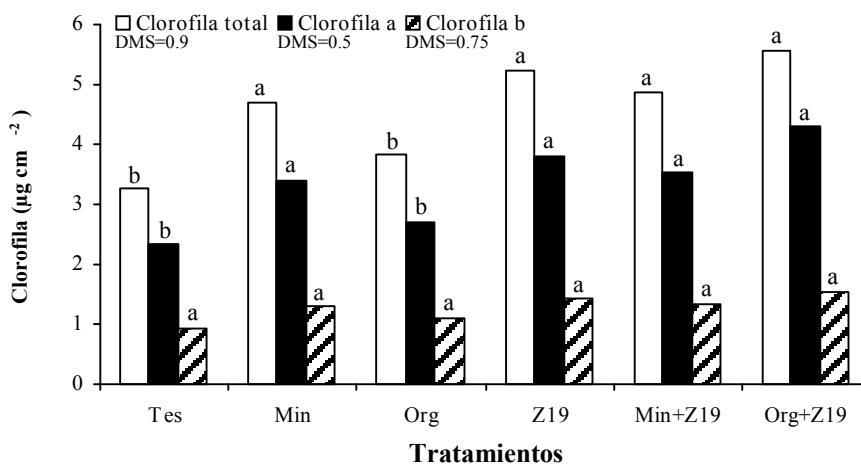


Figura 2. Efecto de dos formulaciones foliares e inoculación de *Glomus* Zac-19 en el contenido de clorofila en *Annona cherimola* Mill. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf®); Org = fertilizante orgánico (Humiforte®); Z19 = *Glomus* Zac-19, a 90 días después del trasplante e inoculación. Letras idénticas sobre las barras correspondientes a clorofila total, a y b, respectivamente, son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

**Cuadro 1. Producción de biomasa de *Annona cherimola* Mill. fertilizada con dos fórmulas foliares e inoculadas con el consorcio micorrízico arbuscular *Glomus Zac-19*, a 125 días después del trasplante e inoculación.**

Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares	Tipo de fertilización foliar aplicada	Área foliar cm <sup>2</sup>	Peso seco de follaje g	Volumen radical cm <sup>3</sup>
No inoculadas	Sin	428.6 b <sup>†</sup>	2.55 c	9.18 c
	Fertilizante mineral <sup>‡</sup>	403.1 b	2.53 c	7.75 c
	Fertilizante orgánico <sup>§</sup>	379.5 b	2.56 c	7.50 c
Inoculadas	Sin	680.4 a	4.78 ab	13.25 ab
	Fertilizante mineral	508.1 b	3.58 bc	10.12 bc
	Fertilizante orgánico	762.7 a	5.68 a	14.87 a
	DMS	170.8	1.23	3.72
Significancia:				
Inoculación		0.01	0.01	0.01
Fertilización foliar		0.05	0.01	0.05
Inoculación*Fertilización foliar		0.01	0.01	0.01

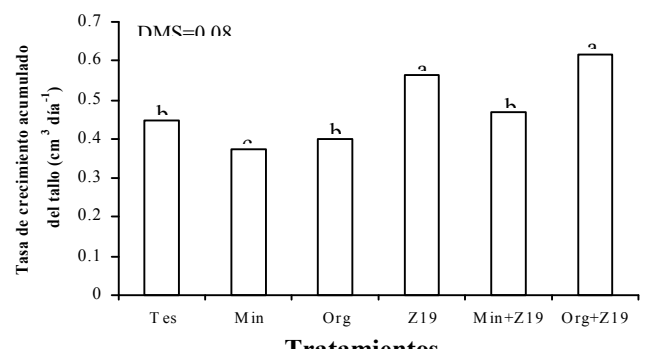
<sup>†</sup> Medias con letras idénticas en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. <sup>‡</sup> Fertilizante mineral (Agroleaf<sup>®</sup>); <sup>§</sup> Fertilizante orgánico (Humiforte<sup>®</sup>). n = 8.

biomasa en 56%, comparado con el testigo (Cuadro 1). El volumen radical de plantas inoculadas con el consorcio *Glomus Zac-19* y con adición del fertilizante orgánico fue estadísticamente superior al de todos los tratamientos (Cuadro 1). Por su parte, plantas no inoculadas y con aplicación de las fuentes fertilizantes no mostraron diferencias estadísticas significativas entre sí (Cuadro 1).

La TRCAT fue significativamente mayor en los tratamientos *Glomus Zac-19* y en el *G. Zac-19* más la aplicación del fertilizante orgánico; este último presentó un incremento de 27% en comparación con el testigo (Figura 3). Los tratamientos testigo y *Glomus Zac-19* más fertilizante mineral no presentaron diferencias significativas entre sí, pero la respuesta en la TRCAT fue superior a los tratamientos en los cuales sólo se aplicó la fertilización foliar. La mayor producción de biomasa se obtuvo en plantas inoculadas con aplicación del fertilizante foliar orgánico, mientras que la menor biomasa se obtuvo en el tratamiento con la sola aplicación del fertilizante orgánico. Al respecto, existen reportes acerca de la baja eficiencia de las aplicaciones foliares sobre el crecimiento de las plantas, sobre todo cuando se aplica como única fuente de fertilización (Hansen, 1980). Este efecto se observó en las plantas con la sola fertilización foliar, cuyo crecimiento no fue significativo con respecto a plantas testigo. El factor fertilización no produjo incrementos favorables en las variables mencionadas en comparación con los obtenidos por el factor inoculación y en la combinación de ambos factores (Cuadro 1; Figura 3). La fertilización foliar por sí sola no fue suficiente para

favorecer el vigor y el crecimiento de las plantas, por lo que su aplicación debe ser complementaria a otras prácticas de fertilización al suelo (Stevanovic y Dzamic, 1998; Vieira *et al.*, 1998; Lovatt, 1999; Trinidad y Aguilar, 1999; Favela *et al.*, 2000).

La aplicación del fertilizante orgánico produjo mayor respuesta significativa en el porcentaje de nitrógeno, en comparación con plantas testigo (Figura 4a). En cuanto a la inoculación con el consorcio micorrízico, la mejor respuesta se observó con la combinación con el fertilizante orgánico en comparación con la sola inoculación del consorcio, sin embargo, ambos tratamientos no presentaron

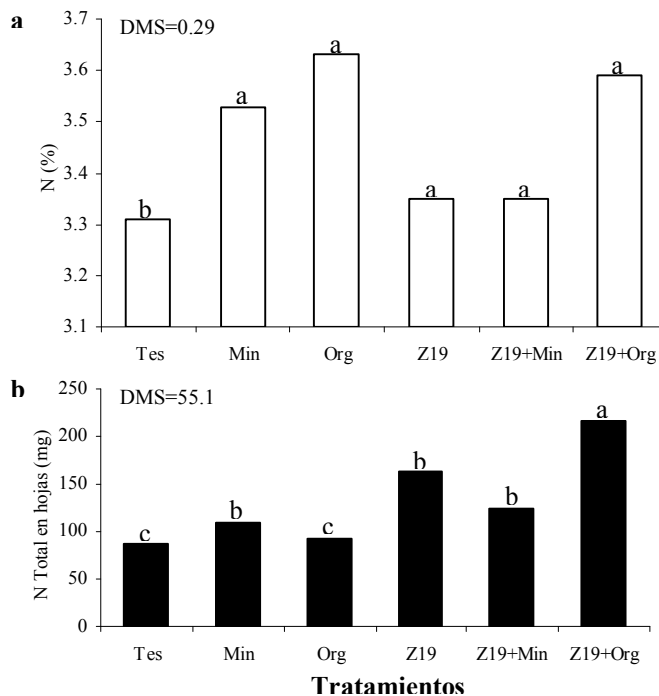


**Figura 3. Efecto de dos formulaciones foliares en interacción con *Glomus Zac-19* sobre la tasa relativa de crecimiento acumulado del tallo de *Annona cherimola* Mill., a 125 días después del trasplante e inoculación.** Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf<sup>®</sup>); Org = fertilizante orgánico (Humiforte<sup>®</sup>); Z19 = *Glomus Zac-19*. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

diferencias estadísticas significativas (Figura 4a). No obstante, con base en los resultados obtenidos en cuanto al peso seco del follaje (Cuadro 1), las plantas inoculadas con el consorcio micorrízico y en su combinación con el fertilizante orgánico produjeron incrementos significativos en el contenido total de nitrógeno (Figura 4b). Sin embargo, las plantas exclusivamente fertilizadas, con ambas formulaciones fertilizantes, presentaron menor contenido de este nutrimento, al igual que plantas testigo. Se puede inferir que la inoculación con el consorcio micorrízico en las plantas de *Annona cherimola* permitió un mejor aprovechamiento de la fertilización foliar, en particular cuando el fertilizante es de origen orgánico, de tal forma que se favorece el crecimiento vegetativo. Por otra parte, existen reportes que relacionan la actividad del micelio externo de HMA con la absorción y translocación de fuentes orgánicas de nitrógeno del suelo (Hodge *et al.*, 2001), así como la posible contribución del ciclo de la urea en la asimilación de  $\text{NH}_4^+$  por la planta hospedante, el cual se describió recientemente durante el metabolismo del micelio de los HMA (Bago *et al.*, 2001).

La contribución de los HMA no sólo se relaciona con el mejoramiento de la nutrición por P, sino también con la mayor capacidad de translocación de N del suelo y su correspondiente asimilación por su hospedante, como se ha señalado en otros experimentos (Alarcón *et al.*, 2000; 2001). En este sentido, el micelio externo de los HMA contribuye en la absorción de nutrimentos contenidos en un sustrato, lo que incrementa la capacidad de aprovechamiento de los nutrimentos por la planta, así como su crecimiento y desarrollo.

Swietlik y Faust (1984) mencionaron que las plantas compensan sus requerimientos nutricionales a través de la disponibilidad de N, así como de otros macronutrimentos, en el suelo. Sin embargo, de acuerdo con la limitada disponibilidad de N en el sustrato utilizado en este experimento (Vázquez y Bautista, 1993), la presencia de los HMA en el sistema radical de las plantas compensó su crecimiento mediante la actividad de estos hongos en la absorción y translocación de nutrimentos (Smith *et al.*, 1994; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Partiendo de este hecho, el comportamiento del crecimiento de las plantas inoculadas de chirimoya con fertilización foliar coincide con lo reportado sobre el uso de esta práctica como complemento de otras prácticas que mejoren la fertilidad de un suelo (Hansen, 1980; Russo, 1993). Sin embargo, es



**Figura 4.** Por ciento (a) y contenido total (b) de nitrógeno foliar de *Annona cherimola* Mill., por efecto de la aplicación de fertilizantes foliares e inoculación de hongos micorrízicos arbusculares, a 125 días después del trasplante e inoculación. Tes = testigo, Min = fertilizante mineral (Agroleaf<sup>®</sup>); Org = fertilizante orgánico (Humiforte<sup>®</sup>); Z19 = *Glomus Zac-19*. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (Tukey, 5%). DMS = diferencia mínima significativa. n = 8.

importante considerar la fuente de fertilización por asperjar, ya que, en este caso, las plantas de chirimoya inoculadas tuvieron mayor respuesta a la fertilización con el producto de origen orgánico en comparación con el fertilizante mineral.

La respuesta de las plantas a las aplicaciones foliares de nutrimentos depende de factores relacionados con la cantidad de nutrimento absorbido por la hoja, la movilidad del nutrimento dentro de la planta y la fitotoxicidad de la solución nutritiva al follaje (Kannan, 1980). Con este contexto, las diferencias obtenidas en el crecimiento vegetal entre las dos formulaciones utilizadas pueden explicarse con base en la naturaleza de sus respectivas formulaciones. En este sentido, Widders (1991) mencionó que no se ha encontrado selectividad por los tejidos de las hojas en cuanto a la asimilación de formas orgánicas e inorgánicas de N, por lo que, probablemente, ambos fertilizantes foliares pueden presentar una tasa de absorción similar. En este caso, el aprovechamiento de cada fuente fertilizante por



la planta puede ser diferente; el fertilizante inorgánico (Agroleaf<sup>®</sup>) debe ser absorbido para, posteriormente, asimilar el N en forma de aminoácidos (Ruiz y Romero, 1999). El fertilizante orgánico (Humiforte<sup>®</sup>) es más fácilmente absorbido y transportado (Shim *et al.*, 1973), lo cual supone mayor eficiencia en la utilización del N. No obstante, algunas investigaciones con aplicación de ácidos húmicos y aminoácidos han mostrado diversos efectos en la nutrición de frutales. Como ejemplo, la aplicación de estas fuentes orgánicas ha disminuido el contenido de micronutrientes como el zinc (Pilanah y Kaplan, 2003), mientras que el contenido de hierro ha incrementado significativamente (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2002).

Widders (1991), al utilizar cuatro fuentes de N foliar (triazona -orgánico-, urea, amonio y nitrato) aplicado en jitomate, encontró que la forma nitrogenada aplicada no produjo diferencias en la absorción y translocación del mismo. Sin embargo, la forma orgánica triazona se translocó preferentemente hacia tejidos vegetativos, como tallos y hojas, en lugar de tejidos reproductivos como ocurrió con el nitrato, provocando mayor crecimiento vegetativo. Este efecto de translocación hacia tejidos vegetativos puede explicar la respuesta en crecimiento de las plantas inoculadas con aplicación de fertilizante foliar orgánico. Trinidad y Aguilar (1999) mencionaron que algunos compuestos orgánicos, como los ácidos húmicos y la urea, pueden actuar como activadores de la absorción de nutrientes aplicados en aspersiones foliares. En este caso, la constitución orgánica del fertilizante Humiforte<sup>®</sup> aplicado puede presentar ventajas en la absorción en la hoja y asimilación por las plantas de chirimoya, sobre todo cuando están en simbiosis con HMA. En este sentido, la condición micorrizada de una planta produce modificaciones en la morfología y fisiología de las hojas (Augé, 2000; Cruz *et al.*, 2000; Valencia *et al.*, 2000). Considerando lo anterior, es posible que los HMA puedan también contribuir directamente en la fisiología de la hoja al favorecer la permeabilidad de las células epidérmicas, así como la expresión de transportadores que faciliten la absorción de los nutrientes aplicados al follaje. No obstante, esta hipótesis de la posible inducción de mayor permeabilidad de la epidermis, así como la expresión de transportadores en hojas de plantas en simbiosis con HMA, requiere de mayor estudio para ser comprobada.

Por otra parte, la aplicación foliar de sustancias húmicas ha sido tema controversial en cuanto a su limitada capacidad de ser absorbidas y aprovechadas por las hojas. En este sentido, Marschner (1995) mencionó que el principal problema de la aplicación de fertilizantes foliares se debe a la baja tasa de penetración en hojas con gruesa capa de cutícula, rápido secado de las soluciones fertilizantes, limitada translocación de ciertos nutrientes en las hojas, entre otros factores. En el caso de las sustancias húmicas, su molécula, además de compleja, es muy grande, lo que podría dificultar su aprovechamiento. Sin embargo, este tipo de sustancias se ha intensivamente utilizado como mejoradores de la nutrición vegetal (Rauthan y Schnitzer, 1981; Trinidad y Aguilar, 1999; Sánchez-Sánchez *et al.*, 2002; Pilanah y Kaplan, 2003).

Con relación al porcentaje de colonización micorrízica total, se encontró que el tratamiento con la combinación de *Glomus* Zac-19 con fertilizante orgánico presentó el mayor porcentaje (28.5%). Sin embargo, esta superioridad sólo fue numérica, ya que no se obtuvieron diferencias significativas con los tratamientos con *Glomus* Zac-19 más la aplicación del fertilizante inorgánico (27.6%) y con *Glomus* Zac-19 (20.9%). Por otro lado, el porcentaje de arbuscúlos se comportó de manera similar. Los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos inoculados en los cuales se aplicaron los fertilizantes foliares (22.9 y 22.0% mineral y orgánico, respectivamente) y ligeramente menor en el tratamiento con la sola inoculación de *Glomus* Zac-19 (15.7%). Esto indica que la formación de la micorriza en las plantas de *A. cherimola* no fue afectada por la fertilización foliar, por lo que es posible aplicarlos conjuntamente en las plantas propagadas en el vivero.

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson, el valor de correlación entre la colonización total y el porcentaje de arbuscúlos fue de 96%. Por otra parte, la colonización total tuvo 63% de correlación, tanto con el peso seco de follaje, como con el volumen radical ( $P \leq 0.001$ ). Estos valores son indicativos de que la promoción del crecimiento de las plantas fue influida directamente por la colonización de los HMA en el sistema radical. En este sentido, aun cuando se presentó baja colonización en las plantas inoculadas, ésta contribuyó significativamente en la promoción del crecimiento vegetativo y nutrición por nitrógeno, efectos que González-Chávez *et al.* (1998) y Alarcón *et al.* (2001) han discutido.

## CONCLUSIONES

La aplicación por sí sola de fertilizantes foliares no produjo efectos significativos en la producción de biomasa, fotosíntesis, contenido de clorofila y contenido de nitrógeno foliar en plantas de *Annona cherimola*. Por su parte, la inoculación del consorcio *Glomus Zac-19* tuvo un efecto significativo en la fisiología y en el crecimiento de las plantas. El efecto de la aplicación del fertilizante orgánico Humiforte® contribuyó en incrementos significativos del crecimiento y contenido de nitrógeno foliar en las plantas inoculadas con el consorcio micorrízico. El porcentaje de colonización de los hongos dentro de la raíz de chirimoya no fue disminuido por la fertilización foliar con ambas fuentes utilizadas. Los resultados indican que la fertilización con el producto orgánico puede ser empleado de manera conjunta con la inoculación con HMA, en los sistemas de producción de plantas en el vivero.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación a través del proyecto 31947-B "Bioproducción de Frutales Exóticos en Vivero". Los autores agradecen al Dr. Frederick T. Davies (Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University) los comentarios y sugerencias para el mejoramiento del escrito.

## LITERATURA CITADA

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17: 171-191.
- Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, A. Villegas-Monter y J.J. Almaraz. 1998. Efecto de la simbiosis micorrízica en la fotosíntesis de *Citrus volkameriana* Tan & Pasq. pp. 119-125. *In: Zulueta-Rodríguez, R, M.A. Escalona-Aguilar y D. Trejo-Aguilar (eds.). Avances de la investigación micorrízica en México. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.*
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2000. Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en la dinámica de aparición de estolones y nutrición de plantas de fresa cv. Fern obtenidas por cultivo *in vitro*. *Terra* 18: 211-218.
- Alarcón, A., M.C. González-Chávez, R. Ferrera-Cerrato y A. Villegas-Monter. 2001. Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de *Vitis vinifera* L. micropropagadas. *Terra* 19: 29-35.
- Andrés, A.J. y A. Regollar. 1996. El cultivo de la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.) en el estado de Michoacán. Centro Regional Universitario Centro-Occidente. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Augé, R.M. 2000. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Bago, B., P. Pfeffer y Y. Schachar-Hill. 2001. Could the urea cycle be translocating nitrogen in the arbuscular mycorrhizal symbiosis? *New Phytol.* 149: 4-8.
- Biermann, B. y R.G. Linderman. 1981. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae. A proposed method towards standardization. *New Phytol.* 87: 423-432.
- Boote, K.J., R.N. Gallaher, W.K. Robertson, K. Hinson y L.C. Hammond. 1978. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agron. J.* 70: 787-791.
- Chamizo-Checa, A., R. Ferrera-Cerrato y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Rev. Mex. Micol.* 14: 37-40.
- Cruz, A.F., T. Ishii y K. Kadoya. 2000. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water-stress conditions. *Mycorrhiza* 10: 121-123.
- Davies Jr., F.T., A.A. Estrada-Luna, T.L. Finnerty, J.N. Egilla y V. Olalde-Portugal. 2000. Applications of mycorrhizal fungi in plant propagation systems. pp. 120-138. *In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Mundi Prensa. México, D.F.*
- Evans, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L). *Plant Physiol.* 72: 297-302.
- Evans, J.R. e I. Terashima. 1988. Photosynthetic characteristics of spinach leaves growth with different nitrogen treatments. *Plant Cell Physiol.* 29: 157-165.
- Favela, C.E., J.I. Cortés F., G. Alcántar G., J.D. Etchevers B., G. Baca C. y J. Rodríguez A. 2000. Aspersiones foliares de zinc en nogal pecanero en suelos alcalinos. *Terra* 18: 239-245.
- Flüge, U.I., M. Freisl y H.W. Heldt. 1980. Balance between metabolite accumulation and transport in relation to photosynthesis by isolated spinach chloroplast. *Plant Physiol.* 65: 574-577.
- Gerdemann, J.W. y T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 46: 234-244.
- González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en frutales. Universidad Autónoma de Tlaxcala-Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Hanger, B.C. 1984. Importance of early nutrition in plants. *Plant Propagators* 34: 124-134.
- Hansen, P. 1980. Yield components and fruit development in "Golden Delicious" apples as affected by the timing of nitrogen supply. *Scientia Hort.* 12: 243-257.
- Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies Jr. y R.L. Geneve. 2002. *Plant propagation, principles and practices.* 7<sup>th</sup> ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Hodge, A., C.D. Campbell y A.H. Fitter. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen from organic material. *Nature* 413: 297-299.
- Hurtado, T. y E. Sieverding. 1986. Estudio del efecto de hongos formadores de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en cinco especies latifoliadas regionales en la zona geográfica del Valle de Cauca, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 16: 109-115.

- Jaen, C.D., A.E. Becerril R., M.T. Colinas L. y J.A. Santizo R. 1997. Crecimiento y producción de fresa inoculada con *Glomus mosseae*, asperjada con AG<sub>3</sub> y fertilizada con NPK. *Agrociencia* 31: 165-169.
- Kannan, S. 1980. Mechanism of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects. *J. Plant Nutr.* 2: 717-735.
- Lovatt, C.J. 1999. Management of foliar fertilization. *Terra* 17: 257-264.
- Manica, I. 1994. Fruticultura-cultivo das anonáceas. *Atacherimóla-Graviola*. EVANGRAF. Porto Alegre, Brasil.
- Manjarrez, M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra* 17: 9-15.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London, UK.
- Morton, J.F. 1987. Annonaceae. pp. 65-90. *In: Fruits for warm climates*. Creative Resources Systems. Winterville, NC.
- Nava-Díaz, C., S. Osada-Kawasoe, G. Rendón-Sánchez y V. Ayala-Escobar. 2000. Organismos asociados a chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) en Michoacán, México. *Agrociencia* 34: 217-226.
- Phillips, J.M. y D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Pilana, N. y M. Kaplan. 2003. Investigation of effects on nutrient uptake of humic acid applications of different forms to strawberry plant. *J. Plant Nutr.* 26: 835-843.
- Rauthan, B.S. y M. Schnitzer. 1981. Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Plant Soil* 63: 491-495.
- Ruiz, J.M. y L. Romero. 1999. Cucumber yield and nitrogen metabolism in response to nitrogen supply. *Sci. Hort.* 82: 309-316.
- Russo, V.M. 1993. Effects of fertilizer type and rate, and liming on banana squash yield. *J. Plant Nutr.* 16: 1821-1828.
- Ryugo, K. 1988. *Fruit culture: its science and art*. John Wiley. New York.
- Sánchez-Sánchez, A., J. Sánchez-Andreu, M. Juárez, J. Jordá y D. Bermúdez. 2002. Humic substances and amino acids improve effectiveness of chelate FeEDDHA in lemon trees. *J. Plant Nutr.* 25: 2433-2442.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1992. *Anuario Estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos*. México, D.F.
- SAS Institute, Inc. 1995. *SAS/STAT User's guide*. Version 6.03. Cary, NC.
- SEP (Secretaría de Educación Pública). 1981. *Guía de planeación y control de las actividades frutícolas*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Shim, K.K., J.S. Titus y W.E. Splittstoesser. 1973. The fate of carbon and nitrogen form urea applied to foliage of senescing apple trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 98: 360-366.
- Smith, S.E., V. Gianinazzi-Pearson, R. Koide y J.W. Cairney. 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant Soil* 159: 103-113.
- Sotomayor, H.I. y G.L. Duicela. 1988. *Manual práctico de semilleros y viveros de café*. Instituto Nacional Autónoma de Investigaciones Agropecuarias. Quevedo, Ecuador.
- Stevanovic, D.R. y R.A. Dzamic. 1998. The effect of foliar nutrition on root morphology in pear seedlings. *Acta Hort.* 477: 149-152.
- Sugiyama, N. y M. Hirooka. 1993. Uptake of ammonium-nitrogen by blueberry plants. *J. Plant Nutr.* 16: 1975-1981.
- Swietlik, D. y M. Faust. 1984. Foliar nutrition of fruit crops. *Hort. Rev.* 6: 287-355.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. *Plant physiology*. 2<sup>nd</sup> ed. Sinauer Publishers. Sunderland, MA.
- Trinidad S., A. y D. Aguilar M. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17: 247-255.
- Valencia, F.S., J. González C., J.T. Frías H., M.E. Salas G., G. Virgen C., V. Olalde-Portugal y F.T. Davies Jr. 2000. Influencia de *Glomus fasciculatum* en el intercambio de gases y calidad de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.). pp. 170-178. *In: Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato (eds.)*. *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Mundi Prensa. México, D.F.
- Vázquez, A.A. y N. Bautista A. 1993. *Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua*. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Venanzi, G., M. Lupattelli, N. Poccheschi y G. Frenguelli. 1993. Photosynthetic characteristics of *Helianthus annuus* L. as affected by nitrogenous fertilizers. *Photosynthetica* 28: 29-35.
- Vieira, R.F., E.J.B.N. Cardoso, C. Vieira y S.T.A. Cassini. 1998. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *J. Plant Nutr.* 21: 169-180.
- Widders, I. E. 1991. Absorption and translocation of foliar applied triazone-N as compared to other nitrogen sources in tomato. *J. Plant Nutr.* 14: 1035-1045.