



Efecto de micorrizas arbusculares en caña de azúcar y en el biocontrol de *Fusarium andiyazi*

María Eugenia Rodríguez-Luqueño¹, Edgar Martínez-Fernández^{2*}, Patricia Martínez-Jaimes², Víctor Manuel Hernández-Velázquez¹, Verónica Obregón-Barbosa¹, Jorge Luis Folch-Mallol¹. ¹Centro de Investigación en Biotecnología, ²Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad No. 1001. Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor de Correspondencia:
Edgar Martínez-Fernández
edgar@uaem.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
30 Noviembre, 2024
Aceptado:
13 Octubre, 2025
Publicado:
14 Octubre, 2025

Cita:
Rodríguez-Luqueño ME,
Martínez-Fernández E,
Martínez-Jaimes P, Hernández-
Velázquez VM, Obregón-
Barbosa V, et al. 2025. Efecto
de micorrizas arbusculares en
caña de azúcar y en el
biocontrol de *Fusarium*
andiyazi. Revista Mexicana de
Fitopatología 43(4): 96.
<https://doi.org/10.18781/R.ME>
X.FIT.2024-30

RESUMEN

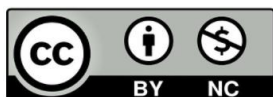
Antecedentes/Objetivo. Dentro del complejo de especies de *Fusarium* causantes de la necrosis de la raíz de la caña de azúcar destaca *F. andiyazi* por su patogenicidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos de Morelos sobre el desarrollo de la caña de azúcar y su potencial en el biocontrol de *F. andiyazi*.

Desarrollo experimental. Se recolectaron muestras de suelo en campos de caña de azúcar en Jojutla, Morelos, donde se identificaron quince morfoespecies de HMA utilizadas como tratamientos en dos bioensayos. En el primer bioensayo se evaluaron parámetros de crecimiento y colonización micorrízica. En el segundo, se analizó la biomasa de las plantas inoculadas con *F. andiyazi* y el grado de necrosis en raíces como indicador del biocontrol. Los datos se analizaron mediante ANOVA y pruebas de separación de medias ($p \leq 0.05$).

Resultados. En el primer bioensayo, los géneros *Acaulospora* y *Glomus* obtuvieron los mayores valores en la micorrización, además, incrementaron significativamente la altura de las plantas, longitud y peso fresco de raíces. Por otra parte, en el segundo bioensayo con las plantas micorrizadas sometidas a la inoculación con *F. andiyazi* se presentó un desarrollo significativo en la longitud y peso seco de raíces. Las morfoespecies *G. ambisporum* y *G. mosseae*, limitaron la infección en raíces aproximadamente a solo un 10 % de daño.

Conclusión. Los HMA nativos de Morelos demostraron su capacidad para estimular el crecimiento de la caña de azúcar y disminuyeron los daños causados por *F. andiyazi*.

Palabras clave: Glomeromycota, Colonización micorrízica, Micorrizas, *Fusarium*, Caña de azúcar



INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) tiene un alto valor económico en las zonas tropicales del mundo, a partir de su jugo se obtiene el 80 % de azúcar y 40 % del etanol combustible (Juntahum *et al.*, 2020). México destaca como el sexto productor de caña de azúcar a nivel mundial, con más de 800 000 ha en 267 municipios de 15 entidades federativas. En Morelos se tiene una alta producción con 101 t ha⁻¹ (SIAP, 2023).

Las enfermedades representan uno de los factores limitantes de la productividad de la caña de azúcar en el mundo, estas son originadas por varios grupos de hongos, bacterias, virus y nematodos. Las de etiología fungosa son las más comunes en México dentro de las que destacan: el carbón (*Sporisorium scitamineum*), roya naranja (*Puccinia kuehnii*), pokkah boeng o deformación del ápice (*Gibberella fujikuroi*), mancha de ojo (*Bipolaris sacchari*), pudrición del tallo o muermo rojo (*Physalospora tucumanensis* = *Colletotrichum falcatum*), mancha café (*Cercospora longipes*), mal de piña (*Ceratocystis paradoxa*) (Salgado-García *et al.*, 2013) y necrosis de la raíz (*Fusarium* spp.) (Martínez-Fernández *et al.*, 2015). En esta última enfermedad se involucra un complejo de especies de *Fusarium* en donde destaca *F. andiyazi* por su patogenicidad (Martínez-Jaimes *et al.*, 2020).

Actualmente nuevas prácticas de manejo, incluyendo sistemas de labranza mejorados, aplicación de fertilizantes y manejo de las comunidades de los microorganismos del suelo, se están desarrollando para incrementar la producción de la caña de azúcar. Dentro de los organismos benéficos destacan los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), los cuales son de amplia distribución, actúan como simbioses obligados en las raíces de las plantas y desempeñan un papel primordial en el funcionamiento de los agroecosistemas (Verbruggen *et al.*, 2010). Además, se ha documentado que los HMA están adaptados a varios ambientes y tienen relaciones simbióticas con más de 200 000 especies de plantas; sin embargo, solo 240 especies de HMA han sido descritas a la fecha, aunque estudios moleculares indican que la diversidad de especies es mayor (Lee *et al.*, 2013).

Los HMA colonizan las raíces de las plantas en donde desarrollan sus hifas, arbusculos y vesículas en las células corticales y también forman esporas e hifas en la rizósfera. La formación de una red hifal por los HMA aumenta significativamente el acceso de las raíces a una mayor área de suelo, favoreciendo el crecimiento de las plantas (Bowles *et al.*, 2016). Esta simbiosis es particularmente importante porque mejora la absorción de agua y nutrientes en la planta, principalmente fósforo y nitrógeno, y a cambio los HMA obtienen carbohidratos para su desarrollo (Campo *et al.*, 2020). La colonización de los HMA incrementa la resistencia a patógenos que causan la necrosis de las raíces, mediante la acción de diferentes mecanismos: al modificar la estructura morfológica de la raíz, regular la síntesis de metabolitos secundarios, mejorar el microambiente de la rizósfera, competir directamente con los microorganismos patógenos por los sitios de invasión e inducir la formación de un sistema de defensa en la planta (Weng *et al.*, 2022). Los objetivos de este trabajo fueron aislar especies de hongos micorrízicos arbusculares de suelos de caña de azúcar de Morelos y evaluar su potencial para promover el crecimiento de las plantas y limitar la infección de *Fusarium andiyazi* en las raíces.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este trabajo se realizó en el laboratorio de Control Biológico del Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB) y en el laboratorio de Entomología y Fitopatología del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Colecta de muestras de suelo. Las colectas de muestras de suelo para la obtención de los HMA se realizaron en cultivos de caña de azúcar del municipio de Jojutla, Morelos. Se ubicaron cinco sitios en donde se tomaron muestras de suelo de la rizósfera de plantas asintomáticas de caña de azúcar de la variedad CP 72-2086, con cinco meses de desarrollo. Las muestras de suelo se colectaron a 10 cm de la base de las plantas y a una profundidad de entre 10 y 30 cm (Juntahum *et al.*, 2020). Por cada sitio de colecta se obtuvieron dos muestras de suelo de 1 kg cada una que fueron colocadas en bolsas herméticas.

Aislamiento de las esporas de los HMA. De las muestras de suelo colectadas se recuperaron esporas de HMA utilizando la técnica de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963) y centrifugación con sacarosa al 50 % (Brundrett *et al.*, 1996). Las esporas se cuantificaron bajo microscopio estereoscópico y se determinó la cantidad de esporas obtenidas por cada 100 g de suelo seco.

Identificación de las esporas de los HMA. Las fracciones de las muestras de suelo analizadas se depositaron en vidrios de reloj para su observación bajo el microscopio estereoscópico Leica DM50 para la separación de las esporas de acuerdo a sus características morfológicas tales como la forma, tamaño y colores que se indican en la guía INVAM (International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi). Con las esporas seleccionadas se hicieron preparaciones temporales con una solución de PVLG (Alcohol-Polivinil-Lacto-Glicerol). Posteriormente, estas preparaciones se observaron con el microscopio óptico Nikon Eclipse Ni bajo el objetivo 40X y las esporas de los HMA se identificaron tomando como referencia las obras taxonómicas de Pérez y Schenk (1990), Schüßler y Walker (2010), Souza (2015) y se consultó la base de datos del INVAM (<http://invam.caf.wvu.edu>).

Propagación de HMA nativos de caña de azúcar en plantas trampa. Las esporas colectadas se agruparon de acuerdo con sus características morfológicas y se sometieron a un proceso de desinfección con 0.5 mL de gentamicina durante 10 minutos. Cada grupo de esporas seleccionadas, identificadas como morfoespecies, representó el inóculo inicial utilizando plantas de sorgo como hospederos en macetas de 2 L de capacidad con una mezcla de turba, perlita y vermiculita (1:1:1) (Marro *et al.*, 2014).

Las plantas de sorgo inoculadas con los diferentes grupos de HMA identificados (Cuadro 1) se dejaron crecer durante un periodo de 45 días, para posteriormente ser removidas de las macetas. De estas plantas se separó la raíz junto con el sustrato adherido y se colocaron en una bandeja de plástico, donde se fragmentaron manualmente. Estas mezclas de fragmentos de raíz y restos del sustrato con esporas de los HMA de cada morfoespecie, se utilizaron para establecer los dos bioensayos en caña de azúcar.

Bioensayo 1. Influencia de HMA en el desarrollo de plantas de caña de azúcar. Para evaluar el efecto de los HMA en el desarrollo de plantas de caña de azúcar se estableció un diseño completamente al azar con 16 tratamientos. Se aplicaron las morfoespecies de manera separada o en consorcios y un testigo absoluto con tres repeticiones por tratamiento. Cada planta representó una unidad experimental. Para cada tratamiento se usaron macetas de vivero que se llenaron hasta la mitad con el sustrato preparado como se indicó anteriormente y se añadieron 50 g de las mezclas con las esporas de HMA (Djocogue *et al.*, 2019). Posteriormente, se colocaron plantas sanas de caña de azúcar de un mes de edad (variedad CP 72-2086), obtenidas de cultivo *in vitro* y se cubrieron hasta el cuello del tallo con otra capa de sustrato. Las plantas testigo no se inocularon con los HMA. A los 60 días,

se evaluaron las siguientes variables: altura (cm), diámetro de tallo (cm), longitud de la raíz (cm), peso fresco de la raíz (g), peso seco de la raíz (g). Las plantas se fertilizaron dos veces a la semana con la solución de Hoagland sin P y se regaron con agua corriente cuando se requería (Ravnskov *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Morfoespecies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) utilizados como tratamientos en los bioensayos en caña de azúcar.

Tratamientos	Morfoespecies de HMA
T1	<i>Acaulospora lacunosa/Acaulospora tuberculata</i>
T2	<i>Claroideoglosum lamellosum</i>
T3	<i>Acaulospora lacunosa</i>
T4	<i>Septoglosum deserticola</i>
T5	<i>Glomus ambisporum</i>
T6	<i>Rhizophagus irregularis</i>
T7	<i>Acaulospora tuberculata</i>
T8	<i>Glomus aggregatum</i>
T9	<i>Acaulospora 1/Glomus aggregatum/Sclerocystis 2</i>
T10	<i>Claroideoglosum luteum</i>
T11	<i>Glomus mosseae/ Funnelformis geosporum</i>
T12	<i>Sclerocystis 1</i>
T13	<i>Glomus mosseae</i>
T14	<i>Paraglosum occultum</i>
T15	<i>Funnelformis geosporum</i>
T16	Testigo

Evaluación de la colonización de HMA en raíces de la caña de azúcar. Se analizaron plantas a los 30 días después de la inoculación de los tratamientos indicados en el Cuadro 1. De las plantas con cada uno de los tratamientos aplicados con los HMA se tomaron fragmentos finos de raíces de 1-2 cm, los cuales se aclararon con KOH al 10 % y se tiñeron con azul de tripano 0.05 % con lactoglicerol de acuerdo al método de Phillips y Hayman (1970). Con estos segmentos se hicieron preparaciones con glicerol al 50 % y se observaron con el microscopio óptico Nikon Ni (40X). Se determinó el porcentaje de colonización micorrízica con el método de intersección magnificada considerando la presencia de hifas, arbusculos o vesículas (McGonigle *et al.*, 1990).

Bioensayo 2. Efecto de la aplicación de HMA en el biocontrol de *Fusarium andiyazi*. Se utilizó una cepa de *F. andiyazi* de la colección de hongos fitopatógenos del laboratorio de Entomología y Fitopatología del CIB de la cual previamente se había comprobado su patogenicidad (Martínez-Jaimes *et al.*, 2020).

A los 30 días después de la aplicación de los diferentes tratamientos de HMA en las plantas de caña de azúcar se procedió a realizar la inoculación de *F. andiyazi*. Se aplicó 50 mL de una suspensión de 10^6 conidios mL^{-1} , directamente en la base de los tallos (Yadav y Naik, 2014). Las plantas del tratamiento testigo sin HMA se inocularon 50 mL con la suspensión de conidios de *F. andiyazi*. Después de un periodo de 30 días se evaluaron las siguientes variables: altura (cm), número de tallos, diámetro de tallos (cm), longitud de raíz (cm), peso fresco de las raíces (g) y peso seco de raíces (g). Al final del experimento, la severidad de la enfermedad en las plantas de caña de azúcar se evaluó de acuerdo a la siguiente escala (Asran y Buchenauer, 2003): 0=0 %, 1=1 a 25 %, 2=26 a 50 %, 3=51 a 75 %, 4=76 a 100 % de necrosis en raíces; 5= sistema radicular muerto y fragmentado; 6= toda la planta muerta.

Análisis estadístico. Con los datos de las variables analizadas en los bioensayos 1 y 2, se realizó una prueba de análisis de varianza, además se utilizaron pruebas de comparación múltiple de medias Tukey con niveles de significancia al 95 % para comparar las diferencias entre los tratamientos. El porcentaje de colonización de raíces por los HMA que no cumplían con los supuestos de distribución normal, se transformaron para homogeneizar las varianzas mediante la función arco seno. Se aplicó un ANOVA y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS v9.0.

En las muestras de suelo analizadas de los cinco campos de caña de azúcar de Jojutla, Morelos, se encontraron propágulos de HMA nativos. Se presentó una variabilidad poblacional de HMA de entre 280 - 863, con un promedio de 497 esporas por 100 g de suelo. Estos resultados concuerdan con lo reportado en campos de Jalisco que presentaron en promedio 248 ± 37 esporas por 100 g de suelo (Sánchez-Lizarraga *et al.*, 2017). Dichos valores son superiores a lo reportado por Juntahum *et al.* (2020) quienes indican un número de 11-168 esporas en 100 g de suelo del noreste de Tailandia. Aunque, por otra parte, son menores a lo reportado por Salgado-García *et al.* (2013) quienes mencionan un promedio de 943 esporas por 100 g de suelo. Se ha documentado que la variación en el número de esporas en los sitios de muestreo depende de varios factores, incluyendo las prácticas de cultivo, condiciones ambientales, tipos de suelo y planta hospedera (Kadian *et al.*, 2018).

A partir de las muestras de suelo de caña de azúcar se aislaron 15 morfoespecies de HMA, 12 se identificaron a nivel especie y tres a nivel género. Estas morfoespecies se ubican en las familias Acaulosporaceae, Claroideoglomeraceae, Glomeraceae y Paraglomeraceae pertenecientes a los órdenes Diversisporales, Glomerales y Paraglomerales.

Bioensayo 1. Influencia de HMA en el desarrollo de plantas de caña de azúcar. A los 60 días después de la aplicación de los tratamientos se mostraron algunas diferencias en las variables. De acuerdo con el análisis estadístico, solo en las variables de altura, peso fresco de raíz y longitud de la raíz se observaron diferencias estadísticamente significativas $p \leq 0.05$. Referente a la altura, el valor superior se obtuvo con la aplicación de T7 (*A. tuberculata*) con 174.37 cm; en contraste con 106.63 cm que se obtuvo en el T16 (testigo) (Figura 1). El efecto positivo de los inóculos micorrízicos aplicados en caña de azúcar concuerda con Wilches-Ortiz *et al.* (2019) que obtuvieron diferencias significativas en las variables altura de la planta y diámetro de la raíz, al aplicar HMA nativos de Colombia de los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Funneliformis* en comparación a las micorrizas comerciales y fertilización química. De manera similar, Ventura *et al.* (2018) notaron un mayor desarrollo en la altura de plantas de caña de las variedades IAC SP 955094 y CTC 9004M cultivadas en Brasil al ser tratadas con HMA nativos (*Acaulospora*, *Claroideoglosum*, *Diversispora*, *Glomus* y *Gigaspora*).

En peso fresco de las raíces se observaron diferencias significativas. El análisis de varianza mostró que los mejores tratamientos fueron T11 (*G. mosseae*/*F. geosporum*) con 53.8 g y T1 (*A. lacunosa*/*A. tuberculata*) con 43.33 g. Por otro lado, los valores menores se manifestaron en T2 (*C. lamellosum*) con 9.4 g y T6 (*R. irregularis*) con 10.6 g (Figura 2). Con relación a la longitud de raíces, el valor superior fue el T15 (*F. geosporum*) con 43.37 cm y el menor valor correspondió al T16 (testigo) con 29.37 cm (Figura 3). En otras investigaciones similares también se ha resaltado el efecto positivo de estas morfoespecies. Li *et al.* (2012) al inocular *G. mosseae* en arroz obtuvieron resultados significativos de mayor altura, biomasa de la planta y rendimiento de grano. Juntahum *et al.* (2020)

evidenciaron un aumento en la productividad de caña de azúcar al incorporar al suelo la micorriza arbuscular *F. mosseae* como complemento a las micorrizas nativas de un campo de Tailandia. Por otra parte, Rojas-Martínez (2014), al aplicar *Acaulospora lacunosa* en plantas de chile (*Capsicum annuum*) obtuvo mayor influencia en longitud y peso seco de las raíces.

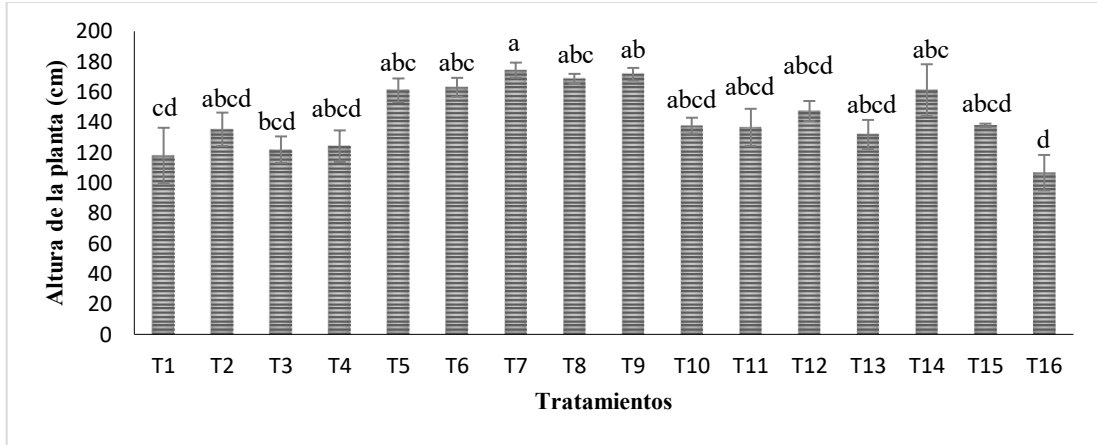


Figura 1. Efecto de la inoculación de HMA en la altura de plantas de caña de azúcar en el Bioensayo 1 (media \pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$), C.V. = 11.81.

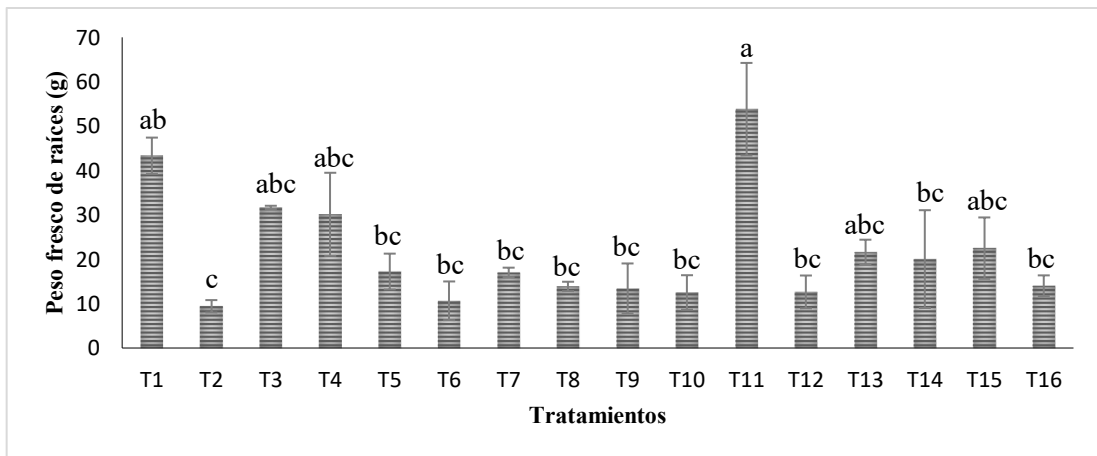


Figura 2. Efecto de la inoculación de HMA en el peso fresco de las raíces de caña de azúcar en el Bioensayo 1 (media \pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$), C.V. = 17.67.

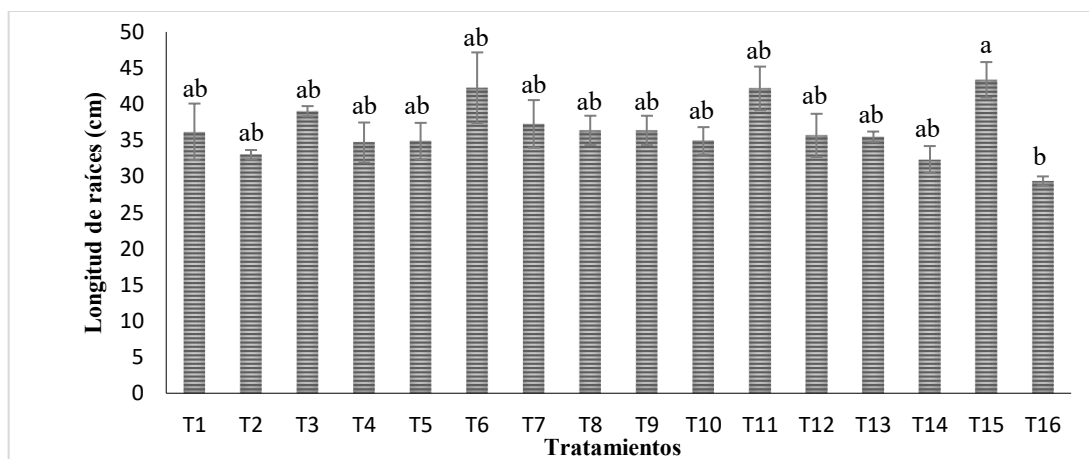


Figura 3. Efecto de la inoculación de HMA en la longitud de raíz de plantas de caña de azúcar en el Bioensayo 1 (media \pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$), C.V. 12.19.

Colonización de HMA en las raíces de caña de azúcar. Los HMA aplicados de manera individual o en consorcio en caña de azúcar de la variedad CP 72-2086 colonizaron las raíces en grado diferente, de un 13.3 a 93.3 %. En el análisis microscópico de las raíces se observaron estructuras típicas de HMA tales como esporas, hifas, vesículas y arbusculos. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p \leq 0.05$), siendo el T8 (*G. aggregatum*) donde se evidenció una mayor colonización con 93.3 %, seguido del T1 (*A. lacunosa/A. tuberculata* con 73.3 %. En contraste, T5 (*G. ambisporum*) presentó la menor colonización micorrízica con 13.3 % (Cuadro 2). El grado de colonización desarrollado en raíces de las plantas inoculadas con los diferentes tratamientos es semejante a lo observado en las plantas cultivadas en México, así, en la Chontalpa, Tabasco, se tuvo un promedio de 88.9 % (Salgado-García *et al.*, 2013), y en un campo de la localidad el Arenal, Jalisco, se observó un 60 % (Sánchez-Lizarraga *et al.*, 2017). De manera correspondiente, en un cultivo del noreste de Tailandia se reportó 10-22 % de colonización micorrízica (Juntahum *et al.*, 2020). En estos reportes se analizó la colonización micorrízica en la caña de azúcar, sin mencionar la participación de las morfoespecies de manera separada. La especie *G. aggregatum* fue la que colonizó con mayor eficiencia la raíz de la caña de azúcar (Figura 4) como se ha documentado en otras plantas; como es el caso de haba con una colonización del 30 al 89 % (Abd-Alla *et al.*, 2015), en regaliz (*Glycyrrhiza glabra*) colonizó 86.5 % (Selvaraj y Sumithra, 2011), en *Acacia seyal* colonizó 31.57 % (Manga *et al.*, 2017).

Bioensayo 2. Efecto de la aplicación de los HMA en el biocontrol de *Fusarium andiyazi*.

Plantas del tratamiento testigo (sin aplicación de HMA) presentaron síntomas característicos de marchitez, como flacidez de hojas y una ligera clorosis después de 30 días de la inoculación con *F. andiyazi*; similar a lo reportado por Martínez-Jaimes *et al.* (2020). En cambio, los tratamientos con las plantas previamente inoculadas con HMA y el patógeno solo desarrollaron una ligera clorosis en el follaje. Adicionalmente, no se observaron diferencias en variables altura de planta, número de tallos, diámetro de tallos y peso fresco de raíces. En la variable longitud de raíces se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). El análisis de medias mostró que plantas del T3 (*A. lacunosa*) desarrollaron la mayor longitud de raíces con 42.58 cm, en cambio, las

plantas T16 (testigo) tuvieron el menor valor al registrar 28.13 cm (Figura 5). Además, en peso seco de la raíz se observaron diferencias significativas con el T5 (*Glomus ambisporum*) con 7.20 g a diferencia del T16 (testigo) con 1.56 g (Figura 6).

Cuadro 2. Colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en las raíces de caña de azúcar.

Tratamientos	Morfoespecies de HMA	Colonización % ± SD *
T1	<i>Acaulospora lacunosa/Acaulospora tuberculata</i>	73.3 ± 3.8 ab
T2	<i>Claroideoglomerum lamellosum</i>	23.3 ± 15.3 bc
T3	<i>Acaulospora lacunosa</i>	16.6 ± 4.7 bc
T4	<i>Septoglomerum deserticola</i>	50.0 ± 26.6 abc
T5	<i>Glomus ambisporum</i>	13.3 ± 4.7 c
T6	<i>Rhizophagus irregularis</i>	46.7 ± 12.3 abc
T7	<i>Acaulospora tuberculata</i>	33.3 ± 9.3 bc
T8	<i>Glomus aggregatum</i>	93.3 ± 10.6 a
T9	<i>Acaulospora 1/Glomus aggregatum/Sclerocystis 2</i>	66.6 ± 16.2 abc
T10	<i>Claroideoglomerum luteum</i>	26.7 ± 10.7 bc
T11	<i>Glomus mosseae/ Funneliformis geosporum</i>	50.0 ± 18.4 abc
T12	<i>Sclerocystis 1</i>	36.6 ± 9.4 abc
T13	<i>Glomus mosseae</i>	20.0 ± 7.4 bc
T14	<i>Paraglomerum occultum</i>	70.0 ± 13.3 abc
T15	<i>Funneliformis geosporum</i>	70.0 ± 10.6 abc

SD=Desviación estándar. * medias con letras diferentes son estadísticamente significantes (Tukey, $p \leq 0.05$) C.V. 18.4 %.

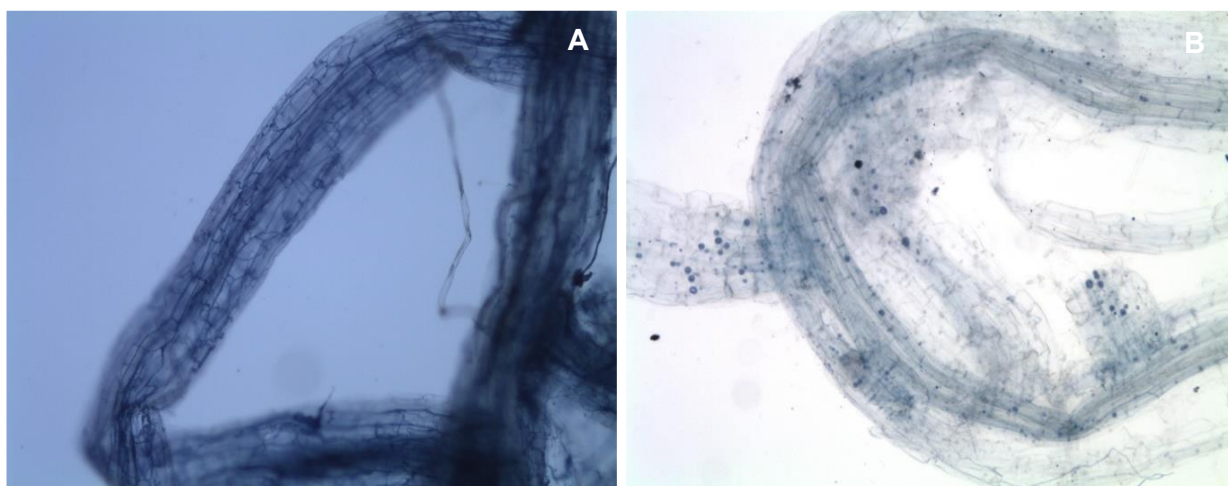


Figura 4. Colonización micorrízica de los HMA en raíces de caña de azúcar teñidas con azul de tripano (40X). (A) Desarrollo de hifas de *Glomus aggregatum* (T8). (B) Desarrollo de hifas y esporas de *Claroideoglomerum luteum*.

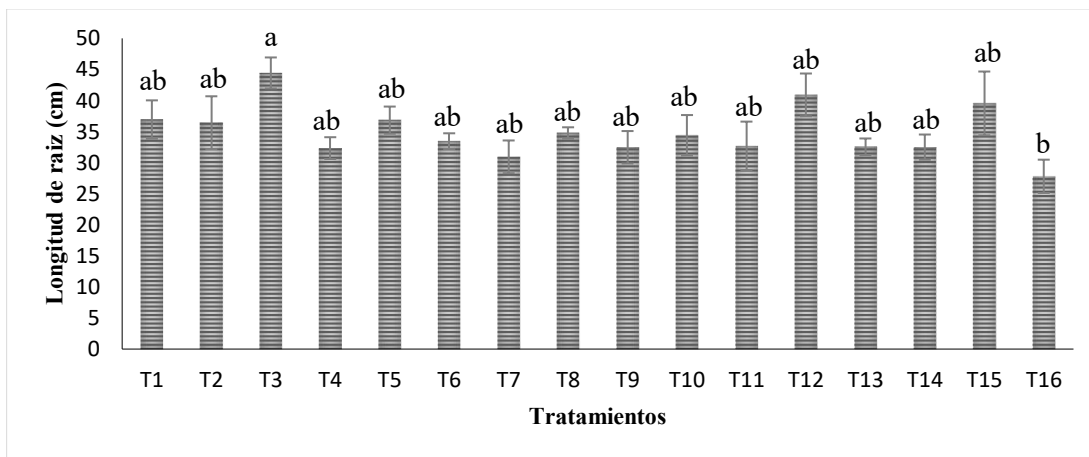


Figura 5. Efecto de la inoculación de HMA en la longitud de raíz de plantas de caña de azúcar en el Bioensayo 2 (media \pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$), C.V. 14.39.

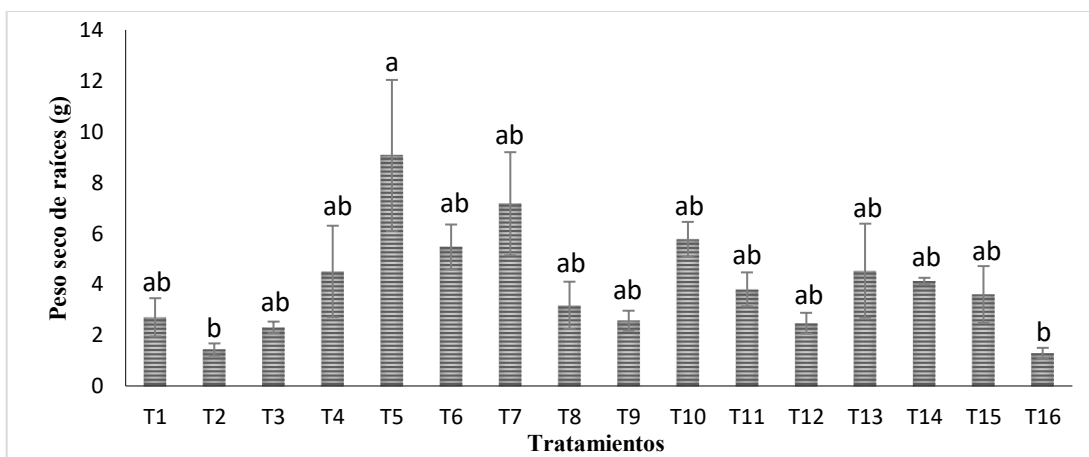


Figura 6. Efecto de la inoculación de HMA en el peso seco de la raíz de plantas de caña de azúcar en el Bioensayo 2 (media \pm error estándar). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo con la prueba Tukey ($p \leq 0.05$), C.V. 27.42.

Las plantas de caña de azúcar sin tratamiento de micorrizas presentaron una severidad grado 2, es decir entre el 25 y 50 % de la infección radical ocasionada por *Fusarium andiyazi*. En tanto, las plantas que fueron inoculadas con tratamientos de micorrizas, presentaron una severidad grado 1, entre 0 y 25 % de infección radical. En las plantas del T5 (*G. ambisporum*) y T13 (*G. mosseae*) se observó un porcentaje de infección del 10 %. En este sentido, se ha documentado que *G. mosseae* aplicado en plantas de jitomate disminuye el índice de la enfermedad causada por *Rhizoctonia solani* en un 60 % (Kareem y Hassan, 2014).

Este efecto benéfico de los HMA en la reducción de la severidad de enfermedades en plantas involucra la participación compatible de especies de HMA y su hospedante. Esta interacción refleja una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes lo que fortalece a la planta ante el eventual ataque de patógenos (Olumayoga *et al.*, 2018; Ravnskov *et al.*, 2020). Además, se ha documentado que la resistencia a las plantas micorrizadas se debe a la activación de algunos mecanismos de defensa incluyendo la producción de metabolitos secundarios tales como los compuestos fenólicos (Corrales-Sánchez *et al.*, 2021) las cuales

tienen propiedades antimicrobianas (Mandal *et al.*, 2010). Estos compuestos se acumulan en los exudados de la raíz suprimiendo el desarrollo de los patógenos en la rizósfera (Ren *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

De las muestras de suelo de caña de azúcar de Jojutla, Morelos se aislaron 15 morfoespecies de HMA, 12 se identificaron a especie y tres a nivel género. Los géneros de mayor abundancia de HMA fueron: *Acaulospora*, *Claroideoglossum* y *Glomus*.

La aplicación de los HMA en caña de azúcar influyó significativamente en el desarrollo de la altura de las plantas, peso fresco y longitud de las raíces. Los HMA colonizaron las raíces de la caña de azúcar en grado diferente sobresaliendo la especie *G. aggregatum* con un 93.3 % de colonización. Las plantas de caña de azúcar inoculadas con *Glomus ambisporum* y *Glomus mosseae* disminuyeron la severidad de la enfermedad inducida por *F. andiyazi*. Finalmente, plantas de caña de azúcar micorrizadas inoculadas con *F. andiyazi* mostraron un desarrollo significativo en longitud y peso seco de las raíces.

Limitaciones

En este trabajo no se realizó la identificación molecular de los hongos micorrízicos arbusculares.

Conflictos de interés

No existente.

Financiamiento

Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Agradecimientos

El primer autor agradece al CONAHCYT por la beca para estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- Abd-Alla MH, Nafady NA and Khilaf DM. 2015. Assessment of nanoparticles contamination of faba bean *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* *Glomus aggregatum* symbiosis: Implications for induction of autophagy process in root nodule. Agriculture, Ecosystems and Environment 218: 163-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.022>
- Asran MR and Buchenauer H. 2003. Pathogenicity of *Fusarium graminearum* isolates on maize (*Zea mays* L.) cultivars and relation with deoxynivalenol and ergosterol contents. Journal of Plant Disease and Protection 110(3): 2009-2019. <https://www.jstor.org/stable/43215506>
- Bowles MT, Barrios-Masias HF, Carlisle AE, Cavagnaro RT and Jackson EL. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. Science of the Total Environment 567: 1223-1234. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.178>
- Brundrett MC, Bougher N, Dell B, Grove T and Malajczuk N. 1996 Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR Monograph Series. 155-158. <https://doi.org/10.13140/2.1.4880.5444>
- Campo S, Martin-Cardoso H, Olive M, Pla E, Catalana-Fornier M, *et al.* 2020. Effect of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on growth, productivity and blast resistance in rice. Rice 13: 42. <https://doi.org/10.1186/s12284-020-00402-7>
- Corrales-Sánchez JB, López-Meyer M, Valdez-Morales M, Trejo-Aguilar D, Bojórquez-Armenta YJ, *et al.* 2021. Arbuscular mycorrhiza symbiosis reduces the *Rhizoctonia* root rot and alters the phenolic profile in common bean. Acta Biológica Colombiana 27(3): 316-325. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n3.87627>
- Djougoue PF, Simo C, Minyaka E, Tassong-Saah D, Njonzo-Nzo SA, *et al.* 2019. Influence of *Gigaspora margarita* and *Acaulospora tuberculata* on tolerance to *Phytophthora megakarya* in *Theobroma cacao* under plant nursery conditions. International Journal of Advance Agricultural Research 7: 21-31. <https://doi.org/10.33500/ijaar.2019.07.003>

- Gerdemann, JW. and Nicolson H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extract from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society 46(2): 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- INVAM. International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Endomycorrhizal Fungi. West Virginia University. www.invam.caf.wvu.edu/. (Consulta: diciembre 2023).
- Juntahum S, Jongrungklang N, Kaewpradit W, Lumyong S and Boonlue S. 2020. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and productivity of sugarcane under field conditions. Sugar Technology 22: 451-459. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00784-z>.
- Kadian N, Yadav K and Aggarwal A. 2018. Mass multiplication of arbuscular mycorrhizal fungi associated with some leguminous plants: an ecofriendly approach. Indian Journal of Experimental Biology 56: 258-266. <http://nopr.niscares.in/handle/123456789/43276>
- Kareem TA and Hassan MS. 2014. Evaluation of *Glomus mosseae* as biocontrol agents against *Rhizoctonia solani* on tomato. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare 4(2): 15-19. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/1056>
- Lee EH, Eo JK, Ka KH and Eom AH. 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their roles in ecosystems. Mycobiology 41 (3): 121-125. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2013.41.3.121>
- Li W, Fang M, Shujuan Z and Xue Z. 2012. Effect of *Glomus mosseae* inoculation on growth and reproduction of rice. Zhu E, Sambath S. (eds) Information Technology and Agricultural Engineering. Advances in Intelligent and Soft Computing, 134. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27537-1_111
- Mandal SM, Chakraborty D and Dey S. 2010. Phenolic acids act as signaling molecules in plant-microbe symbioses. Plant Signaling & Behavior 5(4): 359-368. <https://doi.org/10.4161/psb.5.4.10871>
- Manga A, Ndiaye F and Diop TA. 2017. Le champignon arbusculaire *Glomus aggregatum* améliore la nutrition minérale de *Acacia seyal* soumis au stress salin progressif. International Journal of Biological and Chemical Sciences 11(5): 2352-2365. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.32>
- Marro N, Lax P, Cabello M, Doucet ME and Becerra AG. 2014. Use of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* as biological control agent of the nematode *Nacobus aberrans* parasitizing tomato. Brazilian Archives of Biology and Technology 57(5): 668-674. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201402200>
- Martínez-Fernández E, Martínez-Jaimes P, Guillén-Sánchez D, Peña-Chora G, y Hernández-Hernández V. 2015. Diversidad de *Fusarium* en las raíces de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el estado de Morelos. Revista Mexicana de Micología 42:33-43. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802015000200006
- Martínez-Jaimes P, Martínez-Fernández E, Guillén-Sánchez D, Suárez-Rodríguez R, Ramírez-Trujillo JA, et al. 2020. Necrosis de la raíz de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) causada por *Fusarium* spp. Acta Agrícola y Pecuaria 6: 1-9. <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061007>
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL and Cisne JA. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist Foundation. 115(3): 495-501. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>
- Pérez Y, and Schenck, NC. 1990. A unique code for each species of VA mycorrhizal fungi. Mycologia 82(2):256-260. <https://doi.org/10.2307/3759855>
- Phillips JM and Hayman DS. 1970 Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment to infection. Transactions British Mycological Society 55(1): 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Olumayowa MO, Odunayo JO, Ayodele AS and Adegboyega CO. 2018. Role of arbuscular mycorrhizal fungi as biocontrol agents against *Fusarium verticillioides* causing ear rot of *Zea mays* L. (Maize). Current Plant Biology 15: 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.11.005>
- Ravnskov S, Cabral C and Larsen J. 2020. Mycorrhiza induced tolerance in *Cucumis sativus* against root rot caused by *Pythium ultimum* depends on fungal species in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. Biological Control. 141: 104-133. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104133>
- Ren L, Zhang N, Wu P, Huo H, Xu G, et al. 2015. Arbuscular mycorrhizal colonization alleviates *Fusarium* wilt in watermelon and modulates the composition of root exudates. Plant Growth Regulation 77: 77-85. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0038-x>
- Rojas-Martínez, LE. 2014. Respuesta del cultivo de pimentón (*Capsicum annum*) a la inoculación con *Glomus manihotis* y *Acaulospora lacunosa* en suelos con niveles altos de fosforo. Respuestas 19 (1): 27-38. <https://doi.org/10.22463/0122820X.6>
- Salgado-García S, Lagunes-Espinoza LC, Nuñez-Escobar R, Ortíz-García CF, Bucio-Alanis L, et al. 2013. Caña de azúcar, producción sustentable. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.
- Sánchez-Lizárraga AL, Dendooven L, Marino-Marmolejo EN, Dávila-Vázquez G, Hernández-Cuevas L, et al. 2017. Presence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in soil regularly irrigated with vinasses. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 17(4): 1116-1129. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400020>

- Schüßler, A and Walker, C. 2010. The Glomeromycota. species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich and Oregon, 1-56. <http://www.amf-phylogeny.com>
- Selvaraj T and Sumithra P. 2011. Effect of *Glomus aggregatum* and plant growth promoting rhizomicroorganisms on growth, nutrition and content of secondary metabolites in *Glycyrrhiza glabra* L. Indian Journal Applied & Pure Biology 26 (2): 283-290. <https://biology-journal.org/journal/volume26/issue52/ijapb26-2-18.html>
- SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas perennes, riego temporal. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Consulta: diciembre, 2023).
- Souza T. 2015. Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi. Switzerland. Paraíba, Brasil: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24850-9>
- Ventura MVA, Moura JB, Souza RF, Vieira Junior WG, Rocha ECV, *et al.* 2018. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi in the establishment of pre-broken sugar cane. Agriculture & Forestry, 64(3): 149-157. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.64.3.13>
- Verbruggen E, Röhling WFM, Gamper HA, Kowalchuk GA, Verhoeff HA, *et al.* 2010. Positive effects of organic farming on below ground mutualists: large scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. New Phytologist Foundation 186(4): 968-979. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03230.x>
- Weng W, Yan J, Zhou M, Yao X, Gao A, *et al.* 2022. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi as a biocontrol agent in the control of plant diseases. Microorganisms 10(7): 1266. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071266>
- Wilches-Ortiz WA, Ramírez-Gómez MM, Pérez-Moncada UA, Serralde-Ordoñez DP, Peñaranda-Rolon AM, *et al.* 2019. Asociación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con plantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de panela en Colombia. Terra Latinoamericana 37: 175-184. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>
- Yadav MK and Naik S. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi: biocontrol against *Fusarium* wilt of pea. Journal of Pure and Applied Microbiology 8(6): 1-5. <https://microbiologyjournal.org/arbuscular-mycorrhizal-fungi-biocontrol-against-fusarium-wilt-of-pea/>