

Comportamiento de *Cucurbita pepo* L. var. "Grey Zucchini", en la propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos de suelos con diferente manejo

Behavior of *Cucurbita pepo* L. var. "Grey Zucchini", in native arbuscular mycorrhizal fungi propagation in soils with different management

José Alberto Gío-Trujillo^{1*}✉, Carlos Juan Alvarado-López², Neith Aracely Pacheco-López³, Jairo Cristóbal-Alejo¹, Arturo Reyes-Ramírez¹, Juan Candelero-de la Cruz⁴

¹ Tecnológico Nacional de México, campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

² Cátedras-CONACYT. Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Avenida Tecnológico s/n C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

³ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Unidad sureste. Tablaje Catastral 31264, Kim. 5.5, Carretera. Sierra Papacal-Chuburna Puerto. Parque Científico. Tecnológico de Yucatán. C.P. 97302. Mérida, Yucatán, México.

⁴ Tecnológico Nacional de México, Campus Tizimín. Final Aeropuerto Cupul s/n, Col. Santa Rita, CP 97700, Tizimín, Yucatán, México.

RESUMEN

La simbiosis entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las plantas, representa una alternativa importante para incrementar los rendimientos en los cultivos agrícolas. El objetivo del estudio fue evaluar la propagación de HMA aislados de suelos con diferente manejo e inoculado en *Cucurbita pepo* var. "Grey Zucchini". Se estableció un cultivo trampa como medio de propagación de HMA. Se empleó un diseño en bloques (cinco tratamientos x15 repeticiones). Los HMA nativos fueron provenientes de tres sistemas (T1 = vegetación secundaria; T2 = sistema multipropósito; T3 = sistema agrícola). Se usó un control positivo (CP = GLUMIX[®]MICORRIZAS) y control negativo (CN = sin inoculación). La inoculación micorrízica inició en semillero, empleando Peat Moss-suelo estéril (50:50 v/v). Se empleó como método de inoculación el método por sustrato con 12.5 g de inoculante nativo (T1 = 46 esporas; T2 = 32 esporas y T3 = 22 esporas). En CP empleó 5 g de producto 100 esporas. Los resultados indican que la mayor propagación micorrízica se presentó en el CP y T1, con una multiplicación de esporas de 135.20 ± 26.24 y 74.67 ± 5.56 esporas en 10 g de suelo. Identificando un consorcio nativo conformado de esporas de HMA de las familias Glomaceae y Gigasporaceae. En conclusión, *C. pepo* representa un prometedor hospedero para el trapeo y multiplicación de los HMA.

Palabras Clave: Hongos micorrízicos, cultivo trampa, esporas, colonización, inoculación

ABSTRACT

The symbiosis between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plants represents an important alternative to increase yields in agricultural crops. The objective of the study was to evaluate the propagation of AMF isolated from soils with different management, and inoculated in *Cucurbita pepo* var. "Grey Zucchini." A trap culture was established as

a means of AMF propagation and a block design was used (five treatments x 15 repetitions). The native AMF came from three systems (T1 = secondary vegetation; T2 = multipurpose system; T3 = agricultural system). A positive (CP = GLUMIX[®]MICORRIZAS) and negative (CN = no inoculation) control were used. Mycorrhizal inoculation began in the seedbed, using Peat Moss-sterile soil (50:50 v/v). The substrate method with 12.5 g of native inoculant (T1 = 46 spores; T2 = 32 spores and T3 = 22 spores) was used as the inoculation method. In CP, 5 g of product = 100 spores were used. The results indicate that the greatest mycorrhizal propagation occurred in CP and T1, with a spore multiplication of 135.20 ± 26.24 and 74.67 ± 5.56 spores in 10 g of soil, and identifying a native consortium made up of AMF spores from the *Glomaceae* and *Gigasporaceae* families. In conclusion, *C. pepo* represents a promising host for the trapping and multiplication of AMF.

Keywords: Mycorrhizal fungi, trap culture, spores, colonization, inoculation

INTRODUCCIÓN

En México, la insuficiencia alimentaria es el principal indicador en el atraso en desarrollo cognitivo, físico y social, influyendo directamente en la salud pública y bienestar socio-económico (FAO, 2017). Entre el 40-45 % de la población rural y urbana presentan un acceso insuficiente a alimentos con calidad nutricional (Gutiérrez *et al.*, 2012), considerando al sure y sureste del país, como uno de los principales puntos deficientes en el consumo de alimentos ricos en zinc y hierro (Ramírez-Jaspeado *et al.*, 2020). Incrementar los rendimientos de cultivos y el acceso de alimentos con altos aportes nutrimentales, ayuda a combatir la creciente demanda alimentaria y el acceso insuficiente de alimentos de calidad en zonas prioritarias (OMS, 2018).

La calabacita *Cucurbita pepo* es un importante recurso fitogenético de valor cultural (componente estructural de

*Autor para correspondencia: José Alberto Gío-Trujillo
 e-mail: DD20800277@conkal.tecnm.mx

Recibido: 23 de febrero de 2023

Aceptado: 31 de enero de 2024

Publicado: 19 de febrero de 2024

los sistemas de producción tradicional) y económico en México (Egualarte *et al.*, 2018). La calabacita var. "Grey Zucchini", específicamente es la variedad económicamente más importante, por su alto interés agroalimentario, al ocupar la quinta posición en producción a nivel mundial con más de 700,000 ton por año (2.6 % de la producción mundial) (FAO, 2022). En México, se encuentra entre los ocho principales cultivos agrícolas en producción y consumo anual per cápita (1 kg/año) (SIAP, 2022). Por lo tanto, es importante proponer prácticas eficientes en el manejo de este cultivo para un mayor desarrollo vegetal que incrementen rasgos agronómicos, para el fortalecimiento de su sustentabilidad y combatir la insuficiencia alimentaria (Montenegro-Gómez *et al.*, 2017).

La asociación de comunidades de microorganismos benéficos del suelo empleadas como técnicas agronómicas, es considerada una estrategia novedosa por su potencial uso, sostenibilidad y afinidad en casi todos los cultivos agrícolas (Upadhyay *et al.*, 2022). La simbiosis de hongos formadores de micorrizas arbusculares con cultivos de interés agrícola, es una de las estrategias productivas que permite mejorar los atributos agronómicos de los cultivos, incrementando los rendimientos y la calidad del fruto (Lehmann, y Rillig, 2015). En los suelos tropicales los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representan una fracción importante (Brundrett y Tedersoo, 2018). La aplicación de HMA en la agricultura se efectúa por medio de inoculación de cepas nativas y/o comerciales, propagadas mediante el método de cultivo trampa, considerando al cultivo en sustrato sólido, como la técnica con mayor propagación masiva de esporas (Berruti *et al.*, 2016). No obstante, la principal problemática identificada en la multiplicación de HMA en cultivos trampa, es la capacidad micotrófica del hospedero, método de inóculación y obtención de cepas inoculantes de HMA (Habte y Osorio, 2001). El uso de cepas inoculantes nativas de HMA, representa una mayor plasticidad bioogica y diversidad funcional de los HMA a las condiciones autóctonas del suelo. Reflejándose en una mayor sustentabilidad de los sistemas agrícolas (reducción de costos, producción vegetal, etc.) (Cruz *et al.*, 2014; Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016). Para determinar la especie hospedera se han tomado en cuenta atributos clave para aumentar los procesos de multiplicación de HMA. Por ejemplo, se emplean especies con capacidad micotrófica (Yao *et al.*, 2010), adaptadas a las condiciones edafoclimáticas, de manejo moderado (Cuenca *et al.*, 2003) y de crecimiento rápido, ya que ciclos prolongados de un cultivo, limitan la prevalencia de esporas de HMA (Trejo-Aguilar *et al.*, 2013). En estudios previos sobre *C. pepo* asociada con HMA, frecuentemente se utilizan inóculos comerciales, con el propósito de mejorar los rendimientos, producción y aspectos organolépticos del fruto (Díaz-Franco *et al.*, 2016; Alvarado-Carrillo *et al.*, 2018). La asociación con cepas nativas de HMA ha sido poco evaluada, especialmente como hospedero para la propagación de esporas de HMA (Esquivel-Quispe *et al.*, 2021). Una de las ventajas de utilizar a un cultivo como hospedero para la propagación micorrízica previo a su establecimiento en campo es generar inóculos con mayor afinidad y probabilidad de establecimiento natu-

rales, garantizando su interacción y efectividad simbiótica. El objetivo del estudio fue evaluar la propagación de hongos micorrizogénos arbusculares provenientes de suelos con diferente manejo. inoculados en plantas de *C. pepo* var. "Grey Zucchini".

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del inóculo micorrízico

Se seleccionaron tres sistemas definidos como un sistema de vegetación secundaria (VS), agrícola (SA), multipropósito (SMP), localizados en Conkal, Yucatán, México; donde los atributos de las zonas se determinaron de acuerdo con el tipo de manejo y vegetación (Durán-García *et al.*, 2016) (Tabla 1). En cada una de ellos se muestrearon cinco sitios (Figura 1). La toma de muestras se realizó en temporada de sequía (marzo-abril de 2021), temporalidad con mayor incidencia de esporas, esporulación e interacción con la zona radicular (Barriga, *et al.*, 2011). El tamaño de muestra consistió en nueve muestras de suelo, a una profundidad de 0-20 cm, empleando un muestreo aleatorio sistemático (Bautista *et al.*, 2011). Posteriormente, las nueve muestras se homogenizaron en tres muestras compuestas por sitio de estudio. El suelo fue trasladado al Laboratorio de Suelo, Agua, Planta del TECNM, Campus Conkal, secado al aire libre hasta peso constante y tamizado a 2 mm para su posterior análisis. Las zonas de obtención del inóculo nativo se caracterizaron de acuerdo con sus parámetros fisicoquímicos del suelo. El contenido mineral se realizó por el método de fluorescencia de rayos X (μ -XRF).

Tratamientos

El material vegetal fueron semillas criollas de *Cucurbita pepo* var. "Grey Zucchini", HYDRO ENVIROMENT®, sembradas en charolas con capacidad de 50 g por cavidad, empleando una mezcla de sustrato Peat Moss y suelo estéril (Luvisol, IUSS, 2015) en relación 50:50 (v/v). Se empleó oxidación por H₂O₂ al 2.24 % como método de esterilización (Cuervo-Usán *et al.*, 2014).

Tabla 1. Comparativo de los atributos (manejo) y tipo de vegetación de los sistemas seleccionados para la obtención del inoculante micorrízico.

Table 1. Comparison of the attributes (management) and vegetation type of systems selected to obtain the mycorrhizal inoculant.

Atributo	Sistema multipropósito	Sistema de producción agrícola	Vegetación secundaria
Vegetación	Vegetación subcaducifolia, perenne, costera, ornamental (epifitas, cactáceas, etc.).	Vegetación secundaria con diferente enfoque productivo hortícola, frutal, forrajero, de grano, etc.).	Selva baja caducifolia (SBC)
Manejo	Manejo que involucra quemas localizadas y manejo de arvenses, etc.	Historial de manejo que involucra quemas, labrado, aplicación de fertilizantes y control de arvenses.	Sitios de extracción selectiva (tala). Entre 10-15 años de barbecho

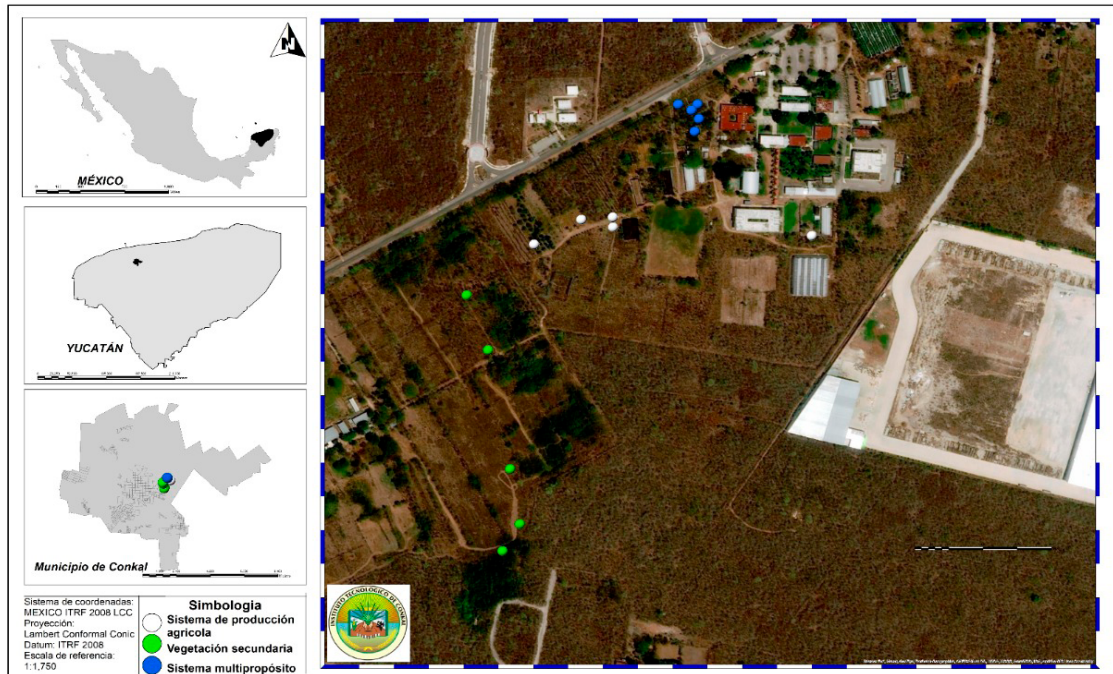


Figura 1. Localización de los tres sistemas con diferente manejo seleccionados para la obtención del inóculo micorrízico arbuscular.

Figure 1. Location of the three systems with different management selected to obtain the arbuscular mycorrhizal inoculum.

Los tratamientos del estudio corresponden a consorcios nativos de HMA provenientes de una vegetación secundaria (T1), sistema multipropósito (T2) y sistema agrícola (T3). Para el estudio se emplearon dos grupos control, un control positivo (CP), empleando un producto comercial de consorcios micorrízicos (GLUMIX®, BIOKRONE) y un control negativo (CN), sin inoculación micorrízica. La inoculación de los tratamientos inició desde la etapa de semillero, empleando el método de inoculación por sustrato (Habte y Osorio, 2001). Aplicando 12.5 g de sustrato inoculante por cavidad (semillero). Pevio a la aplicación del inóculo, se realizó un conteo de esporas por tratamiento. Por lo tanto, T1 = 46 esporas; T2 = 32 esporas y T3 = 22 esporas. En CP se empleó 5 g de producto 100 esporas. El producto comercial GLUMIX®, BIOKRONE, presenta una formulación compuesta solamente de esporas seleccionadas de HMA, de las especies *Glomus geosporum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus constrictum*, *Glomus tortuosum*, *Glomus intraradices*.

Establecimiento del cultivo trampa

Se estableció en invernadero el cultivo trampa en sustrato sólido (Sieverding, 1990), durante el ciclo febrero-mayo de 2022. El trasplante del semillero se realizó a los 17 días después de la siembra (DDS) en bolsas plásticas (20 x 20 cm), con 2.5 kg de sustrato por bolsa, distribuidas a distancia de 50 x 90 cm. Como sustrato sólido se empleó sustrato estéril (oxidación por H₂O₂ al 2.24 %). El sustrato presentó un pH neutro (6.9) y una textura media (Franco-Limoso) de acuerdo a la NOM- 021-RECNAT-2000. El cultivo trampa se estableció a los 66 DDS, realizando muestreos destructivos de raíz y

suelo. El manejo agronómico consistió en un riego manual a razón de 400 ml por planta, manteniendo la humedad en capacidad de campo hasta el inicio de la floración (33 DDS), restringiendo los riegos para fomentar el estrés en la planta, incentivar la simbiosis y acelerar la esporulación micorrízica. No se realizó fertilización química y control fitosanitario para evitar cualquier efecto adverso al establecimiento de la simbiosis y su composición. La temperatura durante todo el estudio en condiciones controladas de irradiación osciló en promedio en 29.5°C, con máxima de 30.2 y mínima de 28.5°C. La humedad relativa fue de 50.66 % en promedio.

Evaluación del potencial micorrízico

Para evaluar la densidad de esporas por medio del protocolo de tamizado en húmedo y centrifugación en sacarosa al 60 % (Gerdemann y Nicolson, 1963). Por su parte, se empleó el método de Sieverding (1983) para el conteo manual de esporas. La identificación de esporas se realizó a nivel de familia, agrupándolas de acuerdo a los parámetros morfológicos de su color, agrupaciones (aglomeradas o solitarias), estructura de las paredes e hifa de sostén. Asimismo, el morfotipo (M) se diferenció de acuerdo con la clasificación taxonómica *Phylogeny and taxonomy of Glomeromycota*.

Diseño experimental

El diseño del estudio consistió en un diseño en bloques, distribuidos en cinco tratamientos con 15 repeticiones cada uno. Los datos fueron analizados a través de una ANDEVA y se determinaron las diferencias estadísticas por el método de Tukey ($p \leq 0.05$), empleando el software InfoStat/L 2020, FCA-UNC, Argentina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de las zonas de estudio

Las zonas evaluadas como fuente para la obtención de inóculos nativos de HMA presentaron atributos heterogéneos entre sí (Tabla 1). Los suelos presentaron tonalidades pardo oscuro-rojizo, agrupándolos en Leptosol lítico (IUSS, 2015) y Haylu'um, (nomenclatura maya) por su coloración, profundidad, pedregosidad y fisiografía (Bautista, 2021). La caracterización física no presentó variaciones estadísticas (Tabla 2). En contraste, los parámetros químicos presentaron diferencias significativas en materia orgánica ($p \leq 0.0006$), conductividad eléctrica (CE) ($p \leq 0.0001$) y en el contenido mineral, específicamente, en el Potasio (K) ($p \leq 0.0190$), Calcio (Ca) ($p \leq 0.0010$), Hierro (Fe) ($p \leq 0.0003$), Molibdeno (Mo) ($p \leq 0.0005$) y Cobre (Cu) ($p \leq 0.004$) (Tabla 2 y 3). De acuerdo con los parámetros del suelo, las zonas se identifican como suelos con porosidad alta (>60%), ricos en materia orgánica (>8%) y se agrupan como ligeros/bajo, al presentar una textura media, densidad aparente de entre 0.13 y 0.15 g/cm³, CE ligeramente salina, pH ligeramente alcalino y textura Franco Limoso (Arena 10%-limo 60 %-arcilla 30 %) (NOM- 021-RECNAT-2000). Los resultados nos indican similitudes con lo reportado por Borges-Gomes *et al.* (2014), al determinar en la misma zona fisiográfica del estado de Yucatán, suelos de textura ligera (Franco limosos), valores similares de porosidad (63-65%), que involucran una densidad aparente baja. Características propias de suelos Leptosol nudilítico/líticos, de poca retención de agua y poca profundidad (Bautista, 2021). Lo que implica una heterogeneidad en propiedades químicas del suelo a pesar de corresponder a la misma zonificación de Yucatán, relacionados directamente con una mayor aireación y drenaje en el suelo, lo que implicaría mayores fluctuaciones en sus propiedades químicas y físicas (Borges-Gomes *et al.*, 2014).

Obtención del inóculo micorrízico nativo

En las tres zonas muestreadas para la obtención del inoculante nativo de HMA se registraron diferencias estadísticas en el número de esporas entre cada uno de los sitios de estudio

Tabla 2. Parámetros físicos y químicos de los suelos muestreados para la obtención del inóculo micorrízico arbuscular.

Table 2. Physical and chemical parameters of soils sampled to obtain the arbuscular mycorrhizal inoculum.

ID	Descripción física			Descripción química		
	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Textura	Materia orgánica (%)	pH	CE (ds/m)
SPA	0.13±0.06 a	61.34±8.71 a	Franco limoso	9.53±1.19 b	7.24±0.22 b	47.90±8.92 c
SMP	0.12±0.03 a	63.41±5.08 a	Franco limoso	8.60±1.06 b	7.27±0.06 ab	64.13±7.70 b
VS	0.15±0.02 a	66.73±4.35 a	Franco limoso	10.87±2.03 b	7.39±0.13 a	78.89±16.44 a

Medias ± D.E.; Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); SPA = Sistema de producción agrícola; SMP = Sistema multipropósito; VS = Vegetación secundaria. Means ± SD; Means with a letter in common are not statistically different ($p \leq 0.05$); SPA = Agricultural production system; SMP = Multipurpose System; VS = Secondary vegetation.

Tabla 3. Composición mineral de los suelos muestreados para la obtención del inóculo micorrízico arbuscular.

Table 3. Mineral composition of soils sampled to obtain the arbuscular mycorrhizal inoculum.

ID	Minerales totales (ppm)						
	P	K	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
SPA	1212 a	59281 b	112176 c	457785 a	6438 a	1537 a	1872 a
SMP	1327 a	70509 a	227925 b	457785 a	6438 a	1361 a	570 b
VS	988 a	61101 b	310393 a	384137 b	4767 b	1230 a	587 b

Medias ± D.E.; Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); SPA = Sistema de producción agrícola; SMP = Sistema multipropósito; VS = Vegetación secundaria.

Means ± SD; Means with a letter in common are not statistically different ($p \leq 0.05$); SPA = Agricultural production system; SMP = Multipurpose System; VS = Secondary vegetation.

($p \leq 0.0001$), contabilizando un total de 1,206 esporas (26.8 ± 11 esporas) en las 135 muestras de suelo seco analizadas (10g de suelo por muestra). La vegetación secundaria aportó 554 (18.27 ± 6.55) esporas nativas de HMA, representando la zona de estudio con mayor número de esporas de HMA cuantificadas. Seguido del sistema multipropósito, con 378 (25.20 ± 6.45) esporas de HMA identificadas (Figura 2). Con relación a las zonas de muestreo, el 45.94 % del inóculo micorrízico nativo obtenido de las tres zonas de muestreo fue cuantificado en un ecosistema de vegetación secundaria. En este contexto, la vegetación secundaria representa un importante reservorio de material biológico para ser empleado como inoculantes de HMA. Lo anterior concuerda

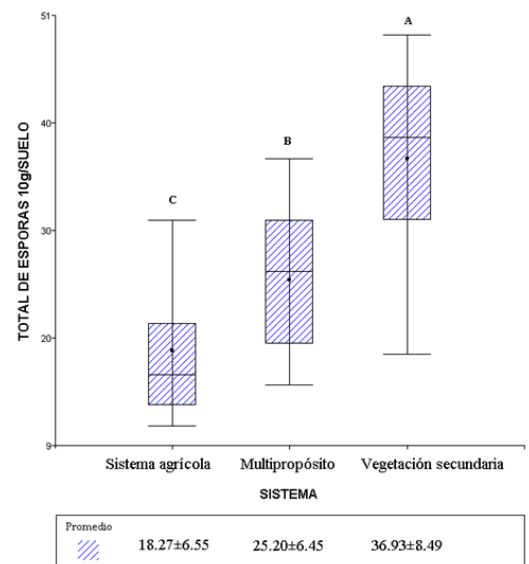


Figura 2. Números de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en 10 g de suelo, cuantificadas en los sistemas seleccionados para la obtención de los inóculos de hongos micorrízicos arbusculares. Medias ± D.E.; Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figure 2. Numbers of spores from arbuscular mycorrhizal fungi in 10 g of soil, quantified in the selected systems to obtain inoculums of arbuscular mycorrhizal fungi. Means ± SD; Means with a letter in common are not statistically different ($p \leq 0.05$).

con Ramos-Zapata *et al.* (2013) en un estudio en ecosistemas secundarios, al registrar una densidad de esporas similar con 565 esporas en suelo rizosférico de plantas estructurales de los ecosistemas en recuperación. Lo que implica que las comunidades de HMA y sus propágulos infectivos, estarían ligadas con la fenología de las plantas ruderales y pioneras en ecosistemas secundarios como huéspedes temporales hasta el establecimiento a largo plazo de especies leñosas y anuales (Guadarrama *et al.*, 2007). Al contrario, la menor densidad de esporas en las zonas agrícolas y multipropósito, se relacionan directamente al manejo agrícola y los parámetros fisicoquímicos del suelo analizados previamente, señalan que valores altos de Fe, P y porcentajes elevados de materia orgánica, indican condiciones no óptimas para desarrollar los mecanismos de acción requeridos entre el hongo-planta, al no generar un estrés en la planta y servir como amortiguador de condiciones desfavorables de las plantas. Concordante con autores como Covacevich *et al.* (2012) y Thougnon-Islas *et al.* (2014), al indicar que la multiplicación de HMA se ve reducida en zonas agrícolas por la aplicación de fertilización química, influyendo en las concentraciones altas de P y Fe. Del mismo modo, concentraciones altas de Cu y Mn influyen en la el establecimiento de la simbiosis, según lo reportado por Sensoy *et al.* (2013).

Propagación micorrízica

Al término del cultivo trampa se contabilizaron en las 75 muestras de suelo rizosférico (10g de suelo por muestra), un total de 4,886 esporas de HMA (Figura 3). Lo que indica un incremento de esporas proporcional al término de la multiplicación desde su inoculación inicial. El número de esporas de los consorcios de HMA nativos mostró diferencias significativamente estadísticas entre los tratamientos ($p \leq 0.0001$). Los tratamientos 1 (vegetación secundaria) y T3 (sistema agrícola), presentaron el mayor número de esporas nativas de HMA, al encontrarse 1,120 (74.67 ± 5.56) y 836 (55.73 ± 8.32) esporas en las 15 unidades experimentales. Con respecto al incremento de esporas nativas de HMA, en el tratamiento T1 se registró un incremento del 50.71 %. No obstante, en el tratamiento T2 (multipropósito) y T3 se presentaron los mayores incrementos con el 53.22 y 67.34 %, respectivamente. Por otra parte, el grupo control positivo, presentó el mayor número de esporas de HMA cuantificadas en el estudio 2,028 (135.20 ± 26.24) esporas de HMA. No obstante, solo presentó un incremento del 26.03 % (Figura 3). Lo que implica, que el inoculante conformado de consorcios HMA nativos presentó el mayor incremento ($>50\%$) en comparación a la formulación comercial. Por otro lado, el CN (Sin inoculación), presentó un número de 74 esporas de HMA. Lo que señala la presencia de contaminación durante la etapa de semillero o bajos resultados de desinfección por parte del método de oxidación por H_2O_2 al 2.24 % (Cuervo-Usán *et al.*, 2014), empleado para la esterilización del sustrato sólido del cultivo trampa.

Referente a la propagación de HMA empleando a *Cucurbita pepo* L var. "Grey Zucchini" como modelo de multi-

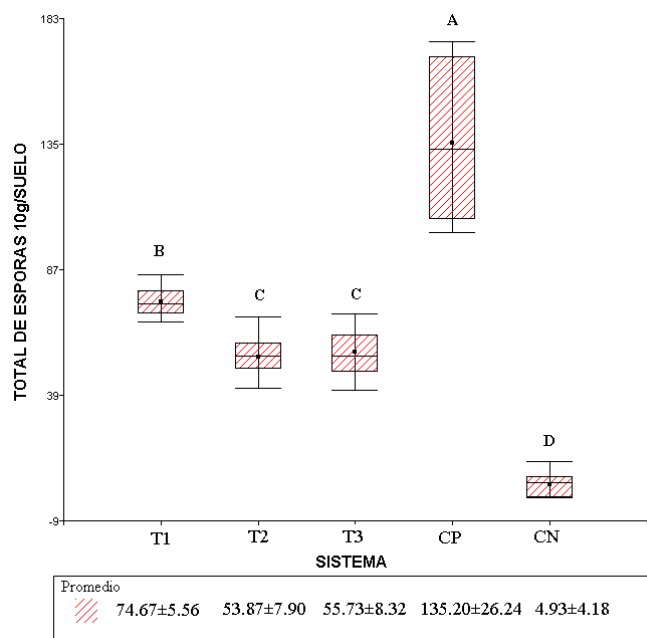


Figura 3. Número de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en 10 g de suelo propagadas por tratamiento en el estudio. T1 = Vegetación secundaria; T2 = Sistema multipropósito; T3 = Sistema agrícola; CP = Producto comercial inoculante de micorrizas arbusculares; CN = Sin inoculante micorrízico. Medias \pm D.E.; Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figure 3. Number of spores of arbuscular mycorrhizal fungi in 10 g of soil propagated per treatment in the study. T1 = Secondary vegetation; T2 = Multipurpose system; T3 = Agricultural system; CP = Commercial inoculant product for arbuscular mycorrhizae; CN = Without mycorrhizal inoculant. Means \pm SD; Means with a letter in common are not statistically different ($p \leq 0.05$).

plicación de esporas, los resultados que se presentan en este estudio son similares en cantidad de esporas reportadas en otros cultivos trampa empleando especies agrícolas alternativas (hortalizas, frutales y ornamentales) para el trapeo de HMA. Salas y Blanco (2000), registraron en hortalizas *Capsicum annum*, *Cucumis sativus*, *Allium porrum*, una densidad de esporas mayor a 1000 esporas en 100 g de suelo. Asimismo, en especies ornamentales como en *Begonia* sp., var. Rex, se reportó una producción de entre 20-50 esporas en 50 g de suelo (Morales-Alvero *et al.*, 2011) y *Tajetes erecta*, 679 esporas en 100 g de suelo (Usanga-Osorio *et al.*, 2008). Para Leguminosas, se reportó un total de 170.60 y 400 esporas de HMA multiplicadas en cultivos trampas de *Phaseolus vulgaris* (Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016) y *Pisum sativum* (Esquivel-Quispe, 2020). No obstante, la mayor productividad en la producción de esporas de HMA en sustrato se ha registrado en especies con alto potencial micotrófico, un ciclo de vida corto, manejo moderado y adaptabilidad a condiciones edafoclimáticas adversas, consideradas condiciones ideoneas para la producción de esporas de HMA (Cuenca *et al.* 2003; Yao *et al.*, 2010; Trejo-Aguilar *et al.*, 2013). En *Trifolium repens*, *Zea mays* y *Sorghum bicolor* se ha reportado 1,061, 3,936 y 2,323 esporas de HMA por kg de suelo (Yao *et al.*, 2010). Además, Carrenho *et al.* (2002), registró 4,152 y 3,498 esporas de HMA por kg de suelo en cultivos trampa de *Zea mays* y *Sorghum bicolor*.

Composición de HMA por morfotipo

Durante la fase de multiplicación de HMA, la estructura del inóculo micorrizico nativo se agrupó en morfotipos con características similares a las familias Glomaceae y Gigasporaceae. El morfotipo Glomaceae (M1) representó el 94.97 % de la incidencia de HMA en el estudio, seguido de Gigasporaceae (M2) con el 5.03 %. Al contrario, el CP positivo (Glumix®), presentó el 100% de incidencia del morfotipo Glomaceae (M1) (Tabla 4), dado que, su formulación estuvo conformada de cepas de morfoespecies de interés comercial pertenecientes al género *Glomus*. En términos generales, por morfotipo, Glomaceae (M1) fue considerado el más representativo en el estudio. Autores como Esquivel-Quispe *et al.* (2021), menciona al morfotipo Glomaceae, como el principal agente biológico presente en formulaciones comerciales y nativas de HMA en los diferentes estudios recabados sobre infectividad y propagación de hongos micorrizicos arbusculares. La mayor incidencia de HMA pertenecientes a la familia Glomaceae, se relaciona directamente a su mayor distribución en una gran diversidad de ecosistemas naturales. Incluido ecosistemas perturbados por diferentes actividades antropogénicas (Brundrett y Tedersoo, 2018). Relacionados a una tasa de esporulación mayor contraria a otras familias y la plásticidad biológica propia de sus propagúlos fúngicos que condicionan una mayor prevalencia en el suelo. En contraste, a una menor tasa de esporulación y prevalencia, influenciada principalmente por la estructura vegetal de un ecosistema, las esporas de la familia Gigasporaceae (M2), representa el morfotipo con menor incidencia en el estudio, dado que las esporas de Gigasporaceae, requieren de una estructura vegetal ya establecida, principalmente de especies leñosas para su prevalencia (Guadarama *et al.*, 2007). Del mismo modo, la estructura micelial de cada morfotipo, puede determinar su prevalencia. Glomaceae presenta una capacidad mayor de extensión de su red micelial. Por lo que le brinda mayor probabilidad de establecimiento (Voets *et al.*, 2006). Contrariamente, Gigasporaceae, está compuesta de hifas gruesas y cortas que limitan su extensión (de la Providencia *et al.*, 2005).

Tabla 4. Composición de morfotipo de hongos micorrizicos arbusculares por tratamientos del estudio.

Table 4. Arbuscular mycorrhizal fungi morphotype composition by study treatment.

ID	Glomaceae	Gigasporaceae
T1	68.13±6.32 c	6.53±2.97 a
T2	49.20±7.47 c	4.67±3.31 a
T3	51.47±8.34 c	4.07±2.96 a
CP	137.00±26.17 a	0.53±0.74 b
CN	4.60±3.76 d	0.33±0.62 b

T1 = Vegetación secundaria; T2 = Sistema multipropósito; T3 = Sistema agrícola; CP = Producto comercial inoculante de micorrizas arbusculares; CN =Sin inoculante micorrizico. Medias ± D.E.; Medias con una letra en común no son estadísticamente diferentes (p ≤ 0.05).

T1 = Secondary vegetation; T2 = Multipurpose system; T3 = Agricultural system; CP = Commercial inoculant product for arbuscular mycorrhizae; CN = Without mycorrhizal inoculant. Means ± SD; Means with a letter in common are not statistically different (p ≤ 0.05).

CONCLUSIONES

La calabacita, *Cucurbita pepo* L., var. "Grey Zucchini", presenta una afinidad micotrófica con la interacción de hongos micorrizogénos arbusculares y puede ser tomada en cuenta como un modelo adecuado para implementar el trapeo y multiplicación de hongos micorrizicos arbusculares. Asimismo, los inóculos de HMA nativos presentan mayor afinidad e incremento en comparación a la formulación comercial empleada en el estudio. Lo que infiere que el uso de inóculos de HMA nativos permitirá obtener un recurso biológico con mejor adaptación a las variaciones en composición de los sustratos y condiciones edafoclimáticas de la región.

REFERENCIAS

Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., y Torres-Cruz, T.J. 2016. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología en Marcha*, 29: 5-14.

Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., y Alejandro-Allende, F. 2018. Gallinaza, micorriza arbuscular y fertilización química reducida en la productividad de calabacita y pepino. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(2): 273-279.

Barriga, J., Visbal, M., y Acero, J. 2011. Relación entre los caracteres de las micorrizas arbusculares nativas con las propiedades físico-químicas. *Revista Científica UDO Agrícola*, 11(1): 134-141.

Bautista, F. 2021. Clasificación de suelos de la península de Yucatán. En: Los territorios kársticos de la península de Yucatán: caracterización, manejo y riesgos. Bautista F (Coord.) Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst. pp. 25-38. Ciudad de México, México.

Bautista, F., Palacio, J.L., y Delfín, H. 2011. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Cap. II. Ambiente. Suelos. En: Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. F. Bautista y J. L. Palacio. (ed.), pp 227-259. Segunda edición. Universidad Autónoma de México. D.F., México.

Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., y Bianciotto, V. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: let's benefit from past successes. *Frontiers in microbiology*, 6, 1559.

Borges-Gómez, L., Moo-Kauil, C., Ruiz-Novelo, J., Osalde-Balam, M., González-Valencia, C., Yam-Chimal, C., y Can-Puc, F. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia*, 48(4):347-359.

Carrenho, R., Trufem, S.F., y Bononi, V.L. 2002. Effects of using different host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. *Brazilian Journal of Botany*, 25: 93-101.

Covacevich, F., Eyherabide, M., Sainz Rozas, H., y Echeverría, H.E. 2012. Características químicas determinan la capacidad micotrófica arbuscular de suelos agrícolas y prístinos de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del suelo*, 30(2): 119-128.

Cuenca, G., De Andrade, Z., Lovera, M., Fajardo, L., Meneses, E., Márquez, M., y Machuca, R. 2003. Pre-selección de plantas nativas y producción de inóculos de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) de relevancia en la rehabilitación de áreas degradadas de la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela. *Ecotrópicos*, 16(1):27-40.

Cuervo-Usán, Y., Tornos-Mauri, P., Hernández-Domínguez, J.C., Orihuela-Calvo, D., Domínguez-Hernández, M.E., y Moreno-

- Martínez, E. 2014. Eficacia de peróxidos en la desinfección de suelos aptos para el cultivo de fresa en el Mediterráneo. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(4):393-398.
- Cruz, Y., García, M., León, Y. y Acosta, Y. 2014. Influencia de la aplicación de micorrizas arbusculares y la reducción del fertilizante mineral en plántulas de tabaco. *Cultivos Tropicales*, 35(01): 21-24.
- De La Providencia, I.E., De Souza, F.A., Fernández, F., Delmas, N.S., y Declerck, S. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi reveal distinct patterns of anastomosis formation and hyphal healing mechanisms between different phylogenetic groups. *New Phytologist*, 165(1):261-271.
- Díaz-Franco, A., Alvarado-Carrillo, M., Alejandro-Allende, F., y Ortiz-Cháirez, F.E. 2016. Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4): 445-453.
- Durán-García, R., Méndez-González, M., y Larqué-Saavedra, A. 2016. The biodiversity of the Yucatan Peninsula: a natural laboratory. In: Cánovas, F., Lüttge, U., Matyssek, R. (eds) *Progress in Botany Vol. 78. Progress in Botany*, vol 78. Springer, Cham.
- Eguarte, L.E., Hernández-Rosales, H.S., Barrera-Redondo, J., Castellanos-Morales, G., Paredes-Torres, L.M., Sánchez-de la Vega, G., Ruiz-Mondragón, K.Y., Vázquez-Lobo, A., Montes-Hernández, S., Aguirre-Planter, E., Souza, V., y Lira, R. 2018. Domestication, diversity, genetic and genomic resources of Mexico: The case of pumpkins. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21 (Supl. 2): 85-101.
- Esquivel-Quispe, R., Quispe-Ochoa, J.O., y Hernández-Cuevas, L.V. 2021. Experiencias sobre la propagación y efectividad de los hongos micorrizógenos arbusculares en Latinoamérica. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 9(2):99-110.
- FAO. 2017. El Estado de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición en el Mundo 2017. Fomentando la Resiliencia en Aras de la Paz y la Seguridad Alimentaria. FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. Roma, Italia.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2022. Superficie, producción y rendimiento de calabazas en el mundo.
- Gerdemann, J.W. y Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species ex-tracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46: 235-244.
- Guadarrama-Chávez, P., Camargo-Ricalde, S.L., Hernández-Cuevas, L., y Castillo-Argüero, S. 2007. Los hongos micorrizógenos arbusculares de la región de Nizanda, Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, (81):131-137.
- Habte, M. y Osorio, N.W. 2001. Arbuscular mycorrhizas: producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum.
- Lehmann, A. y Rillig, M.C. 2015. Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops—A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 81:147-158.
- Montenegro-Gómez, S.P., Barrera-Berdugo, S.E., y Valencia, C.M. 2017. Bioprospección de hongos micorrizcos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1): 71-79.
- Gutiérrez J.P., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Villalpando-Hernández, S., Franco, A., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M. y Hernández-Ávila, M. 2012 Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México.
- IUSS. Working Group WRB. 2015. World reference base for soil resources. In *International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps*, 2015th ed.; World Soil Resources Reports No. 106; World
- Morales-Alvero, C., Calaña Naranjo, J.M., Corbera Gorotiza, J., y Rivera Espinosa, R. 2011. Evaluación de sustratos y aplicación de hongos micorrizcos arbusculares en *Begonia* sp. *Cultivos Tropicales*, 32(1):50-62.
- NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación desuelos, estudios, muestreo y análisis.
- OMS. 2017. Metas mundiales de nutrición 2025: documento normativo sobre retraso del crecimiento, Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.
- Ramírez-Jaspeado, R., Palacios-Rojas, N., Nutti, M., y Pérez, S. 2020. Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol biofortificado con hierro y zinc. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(1):11-23.
- Ramos-Zapata, J., Marrufo-Zapata, D., Guadarrama-Chávez, P., Solís-Rodríguez, U., y Salinas-Peba, L. 2013. Ruderal plants: temporary hosts of arbuscular mycorrhizal fungi in traditional agricultural systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3):399-406.
- Salas, E. y Blanco, F. 2000. Selección de plantas hospederas y efecto del fósforo para la producción de inóculo de hongos formadores de micorrizas arbusculares por el método de cultivo en macetas. *Agron. Costarricense*. 24:19-28.
- Sensoy, S., Ocak, E., Demir, S., y Tufenkci, S. 2013. Effects of humic acid, whey and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) applications on seedling growth and Fusarium wilt in zucchini (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(2):507-513.
- SIAP (2022) Acciones y programas. Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México, México.
- Sieverding, E. 1990. Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 29(1-4): 369-390.
- Thougnon-Islas, A.J., Eyherabide, M., Echeverría, H.E., Sainz Rozas, H.R., y Covacevich, F. 2014. Capacidad micotrófica y eficiencia de consorcios con hongos micorrizcos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires con manejo contrastante. *Revista argentina de microbiología*, 46(2):133-143.
- Trejo-Aguilar, D., Lara-Capistrán, L., Maldonado-Mendoza, I.E., Zulueta-Rodríguez, R., Sangabriel-Conde, W., Mancera-López, M.E., Negrete-Yankelevih, S. y Barois, I. 2013. Loss of arbuscular mycorrhizal fungal diversity in trap cultures during long-term subculturing. *IMA fungus*, 4(2):161-167.
- Usuga Osorio, C.E., Castañeda Sánchez, D.A., y Franco Molano, A.E. 2008. Multiplication of arbuscular mycorrhizae fungi (AMF) and mycorrhization effect in micropropagated plants of banana (*Musa AAA cv. Gran Enano* (Musaceae)). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1):4279-4290.
- Upadhayay, V.K., Singh, A.V., Khan, A., y Sharma, A. 2022. Contemplating the role of zinc-solubilizing bacteria in crop biofortification: An approach for sustainable bioeconomy. *Front. Agron.* 4:903321.
- Voets, L., De La Providencia, I.E., y Declerck, S. 2006. Glomeraceae and Gigasporaceae differ in their ability to form hyphal networks. *New Phytologist*, 172(2):185-188.

Wan Shafin, W.N.S., Ablah, N.L., Nur Fatimah, N.H., Alam, A., Ma'Arup, R., Jahan, M.S., Mustafa, K.A. y Alias, N. 2020. Breeding strategies for enhancing nutrient content and quality in Cucurbitaceae: a review. *International Journal of Vegetable Science*, 1-24.

Yao, Q., Gao, J.L., Zhu, H.H., Long, L.K., Xing, Q.X., y Chen, J.Z. 2010. Evaluation of the potential of trap plants to detect arbuscular mycorrhizal fungi using polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Soil Science & Plant Nutrition*, 56(2):205-211.