



Acta botánica mexicana

ISSN: 0187-7151

ISSN: 2448-7589

Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío

Becerril-Navarrete, Arubi Monserrat; Gómez-Romero, Mariela; Lindig-Cisneros, Roberto; Blanco-García, José Arnulfo; Villegas, Javier; Pineda-García, Fernando

Interacciones biológicas en la restauración: el caso de
Tecoma stans (Bignoniaceae) y hongos micorrícicos

Acta botánica mexicana, núm. 129, e1937, 2022

Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío

DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1937>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57470745012>

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

UDEM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Acta Botanica
Mexicana

Interacciones biológicas en la restauración: el caso de *Tecoma stans* (Bignoniaceae) y hongos micorrícicos

Biological interactions in restoration: the case of *Tecoma stans* (Bignoniaceae) and mycorrhizal fungi

Arubi Monserrat Becerril-Navarrete¹ , Mariela Gómez-Romero² , Roberto Lindig-Cisneros³ 

José Arnulfo Blanco-García¹ , Javier Villegas⁴ , Fernando Pineda-García^{5,6} 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Los disturbios antropogénicos o naturales pueden ser tan fuertes que para recuperar sitios degradados se requiere de intervención. Una forma de facilitar el proceso de recuperación es mediante el uso de especies nativas adaptadas al ambiente local, pero aún existe desconocimiento sobre su desempeño. Asimismo, el establecimiento de interacciones con hongos micorrícicos puede contribuir a tener un mayor éxito en supervivencia y crecimiento de especies empleadas en la restauración. El arbusto *Tecoma stans* es una especie nativa con potencial para restauración, ya que se considera que tiene resistencia al estrés. Por lo tanto, en el presente estudio se exploró si establece interacciones con hongos micorrícicos y una bacteria, y si esto tiene efectos sobre su crecimiento.

Métodos: Se estableció un experimento en condiciones semicontroladas, para lo cual se germinaron sus semillas y las plántulas se inocularon con hongos micorrícicos (*Rhizophagus intraradices*, *Pisolithus arhizus* y *Scleroderma verrucosum*) y con una bacteria (*Azospirillum brasilense*). Después de seis meses de crecimiento en los tratamientos de inóculo se cuantificó la tasa relativa de crecimiento, se estimaron rasgos morfofuncionales de la raíz y la parte aérea, y se midió el grado de infección en las raíces.

Resultados clave: Detectamos que todos los hongos infectaron las plántulas y cada uno afectó de forma distinta el crecimiento y los rasgos morfofuncionales. En la inoculación con *S. verrucosum* las plántulas crecieron más, tuvieron más hojas, una mayor copa y un sistema radicular de mayor volumen y con raíces de mayor diámetro.

Conclusiones: Los resultados indican que el uso de hongos micorrícicos contribuiría al éxito del establecimiento de *T. stans* en la restauración, ya que promueve su crecimiento y características que potencialmente permitirían a la especie una mayor capacidad de ganancia de recursos.

Palabras clave: crecimiento, germinación, inoculación, rasgos funcionales, *Scleroderma verrucosum*.

Abstract:

Background and Aims: Anthropogenic or natural disturbances can be so strong that intervention is required to recover degraded sites. One way to facilitate the recovery is the use of native species adapted to the local environment; however, there is lack of knowledge about their performance. Additionally, the establishment of interactions with mycorrhizal fungi would contribute to greater success in survival and growth of plant species used in restoration efforts. *Tecoma stans* is a native shrub with potential for restoration as it is considered to be stress resistant. Therefore, in the present study we explored if the species sustained interactions with mycorrhizal fungi and a bacterium and if this impacts its growth.

Methods: We established an experiment in a semi-controlled environment, seeds were germinated and the seedlings were inoculated with mycorrhizal fungi (*Rhizophagus intraradices*, *Pisolithus arhizus* and *Scleroderma verrucosum*) and a bacterium (*Azospirillum brasilense*). After six months of growth in the inoculum treatments we measured the seedling relative growth rate, we quantified root and leaf morphofunctional traits and we explored the degree of infection in the roots.

Key results: We detected that all fungi infected the plants and each one had different effects in the seedling growth and in its morpho-functional traits. The inoculation with *S. verrucosum* had positive effects on growth, and the seedlings had larger leaves and a larger canopy, a root system of greater volume and roots of larger diameter.

Conclusions: Our results indicate that the use of mycorrhizal fungi would contribute to the success of the establishment of *T. stans* in restoration plans, since they promote growth and characteristics that potentially allow the species to realize a greater resource capture.

Key words: functional traits, germination, growth, inoculation, *Scleroderma verrucosum*.

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Fac. Biología, 58030 Morelia, Michoacán, México.

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Fac. Biología, Cátedra CONACYT, Morelia, Michoacán, México.

³Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), 58190 Morelia, Michoacán, México.

⁴Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas (IIQ-B), 58030 Morelia, Michoacán, México.

⁵Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Morelia, 58190 Morelia, Michoacán, México.

⁶Autor para la correspondencia: fpineda@enesmorelia.unam.mx

Editor de sección: Moisés Méndez Toribio.

Recibido: 17 de julio de 2021.

Revisado: 8 de octubre de 2021.

Aceptado por Moisés Méndez Toribio: 24 de enero de 2022.

Publicado Primero en línea: 9 de febrero de 2022.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 129 (2022).



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Citar como: Becerril-Navarrete, A. M., M. Gómez-Romero, R. Lindig-Cisneros, J. A. Blanco-García, J. Villegas y F. Pineda-García. 2022. Interacciones biológicas en la restauración: el caso de *Tecoma stans* (Bignoniaceae) y hongos micorrícicos. Acta Botanica Mexicana 129: e1937. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1937>

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

En las últimas décadas la pérdida de la diversidad biológica se ha incrementado exponencialmente; una de las principales causas es la degradación de los ecosistemas naturales por las actividades humanas (Hannah et al., 1994; Tellería, 2013). Esto ha urgido a generar estrategias de manejo con el fin de acelerar la recuperación de los ecosistemas y mitigar los efectos de la pérdida de sus servicios para el hombre (Cardinale et al., 2012). La restauración ecológica emprende acciones para restablecer los procesos y las funciones biológicas, químicas y físicas de los ecosistemas (Kauffman et al., 1997; Brudvig, 2011; Gómez-Ruiz y Lindig-Cisneros, 2017), lo cual resulta crucial a corto y mediano plazo para reducir su degradación. Esto cobra relevancia, ya que bajo los escenarios de cambio climático se pronostica un incremento en la aridez, lo cual contribuiría a la degradación de los ambientes perturbados (Sáenz-Romero et al., 2010). Por lo tanto, para garantizar el éxito en la restauración, es ideal identificar especies o procesos biológicos clave que potencien la recuperación de los ecosistemas.

Recientemente, se ha reconocido como consecuencia de la degradación de los bosques a la pérdida de especies e interacciones biológicas (Meli, 2003; Sabogal et al., 2015; Valiente-Banuet et al., 2015). Estas últimas han sido documentadas desde hace mucho tiempo, y se reconoce que son cruciales para que las especies interactuantes sobrevivan y completen su ciclo de vida (Valiente-Banuet et al., 2015; Aavik et al., 2021). En las plantas, se han detectado interacciones tanto benéficas como perjudiciales con microorganismos presentes en hojas, tallos y raíces (Augé, 2001; Valiente-Banuet et al., 2015). En el suelo, las raíces de las plantas interactúan con consorcios de bacterias y hongos que favorecen su crecimiento y reproducción (Pera y Parladé, 2005; Valiente-Banuet et al., 2015). Las plantas establecen interacciones con hongos micorrícicos, lo cual mejora su crecimiento, probablemente se deba a una mejor adquisición de fósforo, una mayor asimilación de nitrógeno, mayor extracción de agua del suelo y recuperación más rápida después de la sequía (Augé, 2001; Guadarrama-Chávez et al., 2004; Harris-Valle et al., 2009; Aavik et al., 2021). Tales efectos benéficos, producto de la simbiosis, modifican no solo la asimilación de nutrientes, sino que contribuyen a dar estructura y estabilidad al suelo

(Guadarrama-Chávez et al., 2004). También existen otros agentes simbióticos que regulan procesos fisiológicos; por ejemplo, bacterias promotoras del crecimiento de la planta (Tien et al., 1979; Parra y Cuevas, 2001). En condiciones controladas se ha demostrado que las bacterias favorecen la proliferación de raíces laterales y pelos radiculares, lo que aumenta las superficies absorbentes de nutrientes, y en consecuencia el crecimiento (Tien et al., 1979; Parra y Cuevas, 2001). En general, la interacción con los microorganismos tendría un impacto en la forma en que la planta usa los recursos; es decir, su desempeño fisiológico y, por lo tanto, sus rasgos morfológicos se modificarían (Qiao et al., 2015). En consecuencia, la identificación de conjuntos de microorganismos que favorecen el crecimiento y los mecanismos bajo los cuales operan ayudaría al entendimiento de la dinámica de las comunidades biológicas y a la facilitación de la restauración (Aavik et al., 2021). Asimismo, el reconocimiento de cuales características y funciones de la planta cambian con el establecimiento de la interacción daría elementos para la selección de especies en los planes de restauración basados también en su desempeño fisiológico (Sandel et al., 2011). En conjunto, esto promovería el uso de interacciones biológicas en esquemas de restauración para facilitar y acelerar la recuperación de los distintos componentes de la biodiversidad en los ecosistemas degradados (Pera y Parladé, 2005; Gómez-Romero et al., 2015; Aavik et al., 2021).

Por otra parte, es común que en los programas de restauración promovidos por los gobiernos se utilice germoplasma y plantas de poblaciones o especies provenientes de zonas climáticas distintas a la de interés a reforestar (Thomas et al., 2014). Muchas veces este plan no tiene éxito, ya que las poblaciones/especies no están adaptadas a las condiciones climáticas locales (Vanegas-López, 2016). Por lo tanto, sería ideal el uso de poblaciones y especies nativas adaptadas a las condiciones ambientales locales para aumentar el éxito en su establecimiento (Piñero et al., 2008; Thomas et al., 2014). En México existen múltiples especies que cumplen con características idóneas para la restauración, como son altas tasas de producción de semillas y de reclutamiento (Vanegas-López, 2016). Sin embargo, aún hace falta conocimiento básico sobre su germinación y las interacciones que pueda establecer con microorga-

nismos benéficos. Por lo tanto, en el presente estudio se evaluó el efecto que tienen conjuntos de microorganismos sobre el crecimiento de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, y con el fin de determinar si el uso de interacciones se puede emplear en esquemas de restauración, se exploró si *T. stans* establece interacción con cuatro microorganismos del suelo: un hongo con el que cohabita en ecosistemas templados (*Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers.), dos hongos cosmopolitas (*Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert y *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler) y una bacteria promotora del crecimiento (*Azospirillum brasilense* Tarrand et al., 1978). A su vez, se determinará si la interacción modifica la capacidad de captura de recursos de la planta.

Materiales y Métodos

Especie de estudio

Tecoma stans (de la familia Bignoniaceae) es un árbol o arbusto bajo, perennifolio o caducifolio, de 1 a 10 m (hasta 20 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de hasta 25 cm (Martínez y Ramos, 2012), contiene semillas pequeñas, aplanadas y aladas, que son dispersadas por el viento (Vázquez-Yanes et al., 1999) (Fig. 1A). Su distribu-

ción va desde los Estados Unidos de América a Sudamérica, incluyendo las islas Bahamas, y desde nivel del mar hasta 2800 m (Gentry, 1992). Prospera primordialmente en vegetación secundaria, tanto de bosques tropicales, como de encinares (templados) y de matorrales xerófilos (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1993). Esta especie tropical se encuentra propuesta en la Lista de Especies para Restauración de la UICN (ORMACC, 2015) como especie con potencial para restauración, ya que se piensa que es resistente a la sequía (Vázquez-Yanes et al., 1999). Además, se ha observado que tiene un alto reclutamiento (Socolowski et al., 2008) y potencialmente contribuiría a la conservación de suelos, ya que desarrolla un sistema radicular muy profuso (Alvarado-López et al., 2014).

Se considera una especie con potencial para restauración porque promueve la conservación del suelo, estabilización de cauces fluviales, protección de mantos acuíferos y restauración de yermos, y sus semillas se pueden almacenar en condiciones ambientales manteniéndose viables hasta por siete meses (ORMACC, 2015).

En el presente estudio, en la comunidad del Nispo, municipio Copándaro de Galeana, Michoacán, México (19°53'16.08"N, 101°13'31.08"O) a 1860 m s.n.m., con

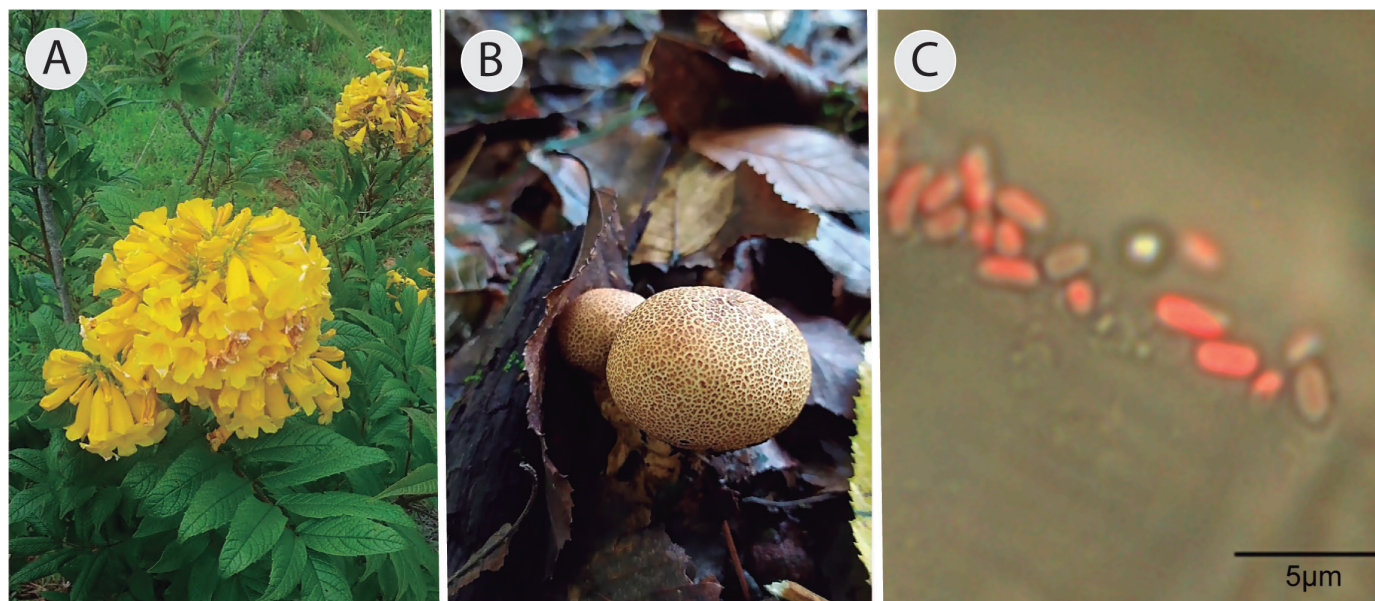


Figura 1: Especies utilizadas en el estudio de interacciones biológicas en la restauración. A. *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth en floración; B. cuerpo fructífero del hongo ectomicorrízico *Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers.; C. bacilos de la bacteria *Azospirillum brasilense* Tarrand et al., 1978. Fotografías A, B: A. Becerril-Navarrete; C: Tomada de la Fig. 5c, publicada en Hong et al. (2019), bajo la licencia CC BY 4.0

un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y temperatura media anual que oscila entre 16 y 18 °C (Fig. 2) (Hurtado et al., 2006), se colectaron alrededor de 300 frutos maduros de *T. stans* en diciembre de 2018; posteriormente se removieron sus semillas manualmente y se colocaron y almacenaron en bolsas herméticas en un lugar seco y fresco durante 15 meses.

Obtención de hongos micorrícicos y de la bacteria promotora del crecimiento

Para explorar cómo se afecta el crecimiento de *T. stans* al interactuar con microorganismos del suelo, se utilizó una bacteria promotora del crecimiento (*Azospirillum*

brasileense Tarrand et al., 1978) y tres hongos micorrícicos (*Scleroderma verrucosum*, *Pisolithus arhizus* (ambos Agaricomycetes) y *Rhizophagus intraradices* (Glomeromycetes)). Este conjunto de microorganismos se ha empleado con éxito en otros estudios, tanto en plantas de origen tropical como templado (Pera y Parladé, 2005; Báez-Pérez et al., 2015; Gómez-Romero et al., 2015).

El material biológico de cada uno fue adquirido de distinta forma. Para el caso de *S. verrucosum* se colectaron cuerpos fructíferos en agosto de 2019 en un bosque mesófilo de montaña ubicado en la estación “Vasco de Quiroga” en la localidad de Torea el Alto, municipio Uruapan, Michoacán, México, entre las coordenadas 19°29'27.09"N

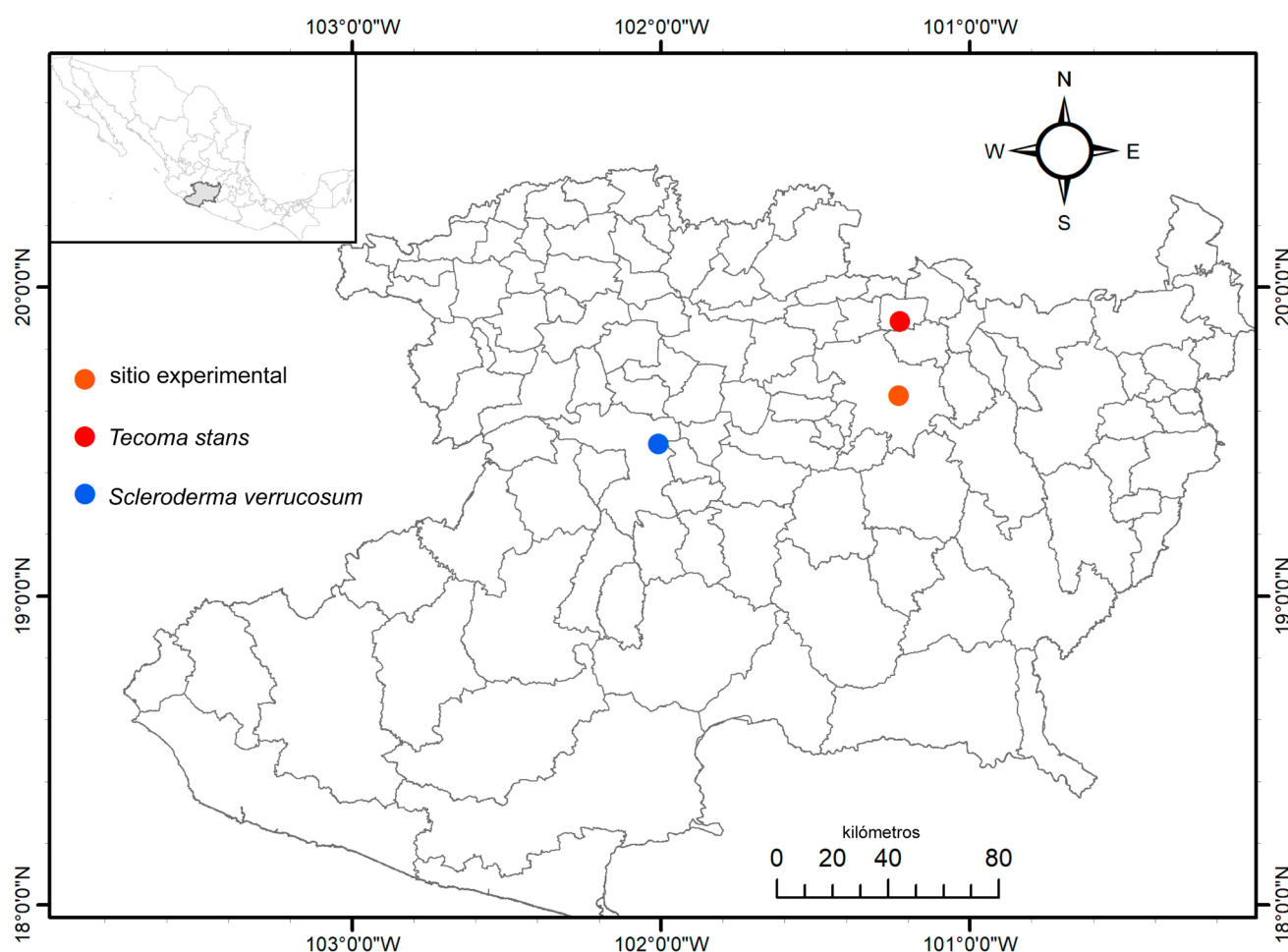


Figura 2: Ubicación del punto de colecta de los frutos de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth (punto rojo), de los cuerpos fructíferos del hongo ectomicorrícico *Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers. (punto azul) y del sitio donde se realizó el ensayo experimental (punto naranja). Las localidades de colecta están representadas en el mapa que se elaboró con ArcGIS ver. 10.5 (ESRI, 2006).

y 102°00'23.24''O. *Scleroderma verrucosum* (Fig. 1B) es un hongo globoso ectomicorrícico, que se emplea para micorrizar árboles y arbustos como *Cistus albidus* L. y *Quercus coccifera* L., con inoculaciones exitosas que favorecen el crecimiento de las plantas (Pera y Parladé, 2005).

Los propágulos del hongo micorrícico arbuscular *R. intraradices* se adquirieron en el laboratorio BIOSUSTENTA® (Fertilizantes biológicos & orgánicos, Corporativo de Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V., Morelia, México) y las esporas de *Pisolithus arhizus* se obtuvieron de la empresa Plant Health Care de México™ (Plant Health Care de México S. de R.L. de C.V., Cd. Mx., México). *Rhizophagus intraradices* ha sido ampliamente utilizado para la micorrización de distintas especies vegetales como *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh. (Báez-Pérez et al., 2015). *Pisolithus arhizus* es un hongo gasteroide, globoso, ectomicorrícico y también se ha empleado en la micorrización de distintos árboles y arbustos e incrementa su crecimiento, así como el volumen y la longitud de la raíz de las plantas (Gómez-Romero et al., 2015).

Por último, la bacteria *A. brasilense* (Fig. 1C) también se adquirió en BIOSUSTENTA® (Fertilizantes biológicos & orgánicos, Corporativo de Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V., Morelia, México); se caracteriza por presentar forma de varilla o bacilar, es gram negativa, con movimiento vibratorio característico y patrón flagelar mixto (Bashan y Holguin, 1997). Se ha demostrado que en presencia de *A. brasilense* se aumenta significativamente la cantidad de raíces laterales en la cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Zepeda-Guzmán et al., 2018).

Preparación del inóculo

En el caso de *S. verrucosum* las partes fértiles de los cuerpos fructíferos se deshidrataron y pulverizaron; posteriormente se contabilizó el número de esporas viables (teñidas) en la cámara de Neubauer (American Optical Co., Buffalo, Nueva York, EUA). Para generar dosis individuales de inóculo, medio millón de esporas se mezclaron y homogeneizaron con 0.5 g de turba micronizada. De la misma forma, medio millón de esporas de *P. arhizus* se mezclaron en 0.5 g de turba micronizada. Para *R. intraradices* se utilizaron 0.5 ml que equivale a medio millón de esporas. En *A. brasilense*

se utilizaron 0.5 ml con una concentración de 2.5×10^5 UFC (Unidades Formadoras de Colonias).

Experimento de inoculación de hongos micorrícicos y de la bacteria promotora de crecimiento

Para explorar cómo el desempeño de las plántulas de *T. stans* se ve influenciado por la presencia de microorganismos del suelo se montó un experimento en un invernadero de condiciones semicontroladas en Morelia, Michoacán (19°38'56.47"N, 101°13'42.57"O).

Las semillas de *T. stans* se dejaron remojando durante 48 horas, posteriormente se sembró una semilla por maceta de plástico de forma cónica (14 cm de largo por 3.3 cm diámetro superior y 2.5 cm diámetro de la base) de 100 cm³ que contenía una mezcla de polvillo de coco (70%) y agrolita (30%) como sustrato.

Cada plántula se asignó de forma aleatoria a uno de los siguientes seis tratamientos, cada uno conformado por 50 plántulas: 1) inoculadas con *R. intraradices*, 2) inoculadas con *P. arhizus*, 3) inoculadas con *S. verrucosum*, 4) inoculadas con *A. brasilense*, 5) triple inoculación (*R. intraradices*, *P. arhizus* y *A. brasilense*) y 6) control sin inoculación.

La inoculación se realizó cuando las plántulas de *T. stans* tuvieron dos hojas verdaderas. Las plántulas crecieron durante seis meses bajo 80% de sombra, con una temperatura promedio de 19.1 °C (máx. 35.79 °C, mín. 7.95 °C) y una humedad relativa promedio de 72.82% (máx. 97.27%, mín. 25.1%); se regaron cada tres días para mantener el sustrato a saturación. Para evitar efectos microambientales se movieron las macetas de posición semanalmente de forma aleatoria. A los 30 días de iniciado el experimento, para estimar la tasa relativa de crecimiento se midió el largo del tallo (cm) en las 50 plántulas de cada tratamiento.

Para determinar si la presencia de los inóculos influye sobre el crecimiento y la forma en que *T. stans* utiliza los recursos, se midieron atributos morfofuncionales de raíz y hoja. En particular se cuantificaron atributos funcionales tanto de la parte aérea como de la raíz relacionados con la eficiencia de captura de luz (tamaño de la hoja y área foliar específica) y con el potencial de captura de recursos

del suelo (longitud radicular específica y número de puntas de la raíz) (Pineda-García et al., 2011; Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Se midió la altura final de cada plántula a los seis meses de crecimiento. Para estimar la cobertura de la copa se tomaron dos medidas de diámetro de su copa, y con la fórmula de la elipse ($\pi r_1 r_2$) se calculó su área (cm^2) y se contó el número total de hojas. Posteriormente, se escogieron aleatoriamente cinco individuos por tratamiento de inóculo para su cosecha.

De las plantas cosechadas, con mucho cuidado se extrajo y lavó con agua corriente todo el sistema radicular, removiendo cualquier excedente de suelo. Se obtuvo una imagen de alta resolución del sistema radicular con un escáner (EPSON V800; Epson American Inc., Long Beach, California, EUA) y con el programa WinRHIZO Pro 2015b (Regent Instruments, 2015) se calculó la longitud total del sistema radicular (cm), diámetro promedio de la raíz (DiamR: mm), volumen de raíz (VR; cm^3) y el número de puntas. De la misma forma, se obtuvo una imagen de las hojas de cada plántula y con el programa WinRHIZO (Regent Instruments, 2015) se calculó su área (cm^2). Posteriormente, cada uno de los componentes se secó en un horno (OLG-Científica, Cd. Mx., México) a 70 °C durante 72 horas y se obtuvo su peso con una balanza analítica (0.0001 g).

De cada plántula se obtuvieron los siguientes atributos morfofuncionales: tamaño de hoja promedio (TH; cm^2), Área Foliar Específica (AFE; $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), el cociente longitud del sistema radicular entre el área foliar total (LR/AF; cm cm^{-2}), Longitud Radicular Específica (LRE; cm g^{-1}), cociente entre el número de puntas de la raíz entre área foliar total (NPR/AF), cociente raíz:vástago (R/PA; g g^{-1}). Además, se obtuvo la tasa relativa de crecimiento (TRC; $\text{cm cm}^{-1} \text{día}^{-1}$) como el cociente de la diferencia del logaritmo natural de la altura final menos el logaritmo natural de la inicial entre el tiempo de crecimiento en días.

Finalmente, para determinar si los hongos micorrícicos infectaron a las plántulas se tiñeron las raíces siguiendo el procedimiento descrito en Hernández-Cuevas et al. (2008). En diez muestras de raíces por individuo se contabilizó el número de estructuras (hifas y vesículas) y posteriormente se calculó el porcentaje de micorrización. Las observaciones se hicieron con un microscopio con cámara

(AmScope, Irving, California, EUA) en los objetivos 20x, 40x (mayor detalle de las hifas) y 100x.

Análisis de datos

El efecto del inóculo sobre el crecimiento y atributos morfofuncionales de *T. stans* se evaluó a través de un análisis de varianza de una vía y una prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha=0.05$, grados de libertad=5). Inicialmente, todos los rasgos se transformaron a logaritmo para cumplir con los criterios de normalidad y de homogeneidad de varianza. Los análisis se realizaron con el programa estadístico JMP v. 11 (SAS, 2013).

Resultados

En general la germinación de las semillas inició a los nueve días; a los 42 se detuvo alcanzando 83%. Se detectó que *T. stans* formó interacción con los hongos micorrícicos. Entre los tratamientos de inóculos no hubo diferencias significativas en el grado de infección; sin embargo, en el tratamiento triple (*A. brasilense*, *P. arhizus* y *R. intraradices*) tendió a una mayor infección (Fig. 3; Cuadro 1). Desafortunadamente, en el momento que se realizó la cosecha no se contó con los medios para determinar el grado de infección de la bacteria promotora del crecimiento.

Después de seis meses se observaron diferencias en el crecimiento y el despliegue de los atributos morfofuncionales en las plántulas entre los distintos tratamientos con inóculos (Cuadro 1). Las plántulas con el inóculo de *S. verrucosum* tuvieron una tasa relativa de crecimiento mayor, seguido del de *A. brasilense*, aunque no hubo diferencias significativas con el resto de los tratamientos; en la inoculación triple se observó un menor crecimiento de las plántulas (Cuadro 1). En el caso de la parte aérea se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos tanto en la cobertura como en el tamaño de hoja (Fig. 4; Cuadro 1); las plántulas con *S. verrucosum* presentaron hojas más grandes y de mayor tamaño de copa (Fig. 4; Cuadro 1).

Para el caso del sistema radicular también se detectaron diferencias significativas en dos de los tres atributos funcionales. En particular, en el tratamiento con *S. verrucosum* las plántulas generaron raíces de mayor volumen y con un mayor diámetro (Fig. 4; Cuadro 1). Por últi-

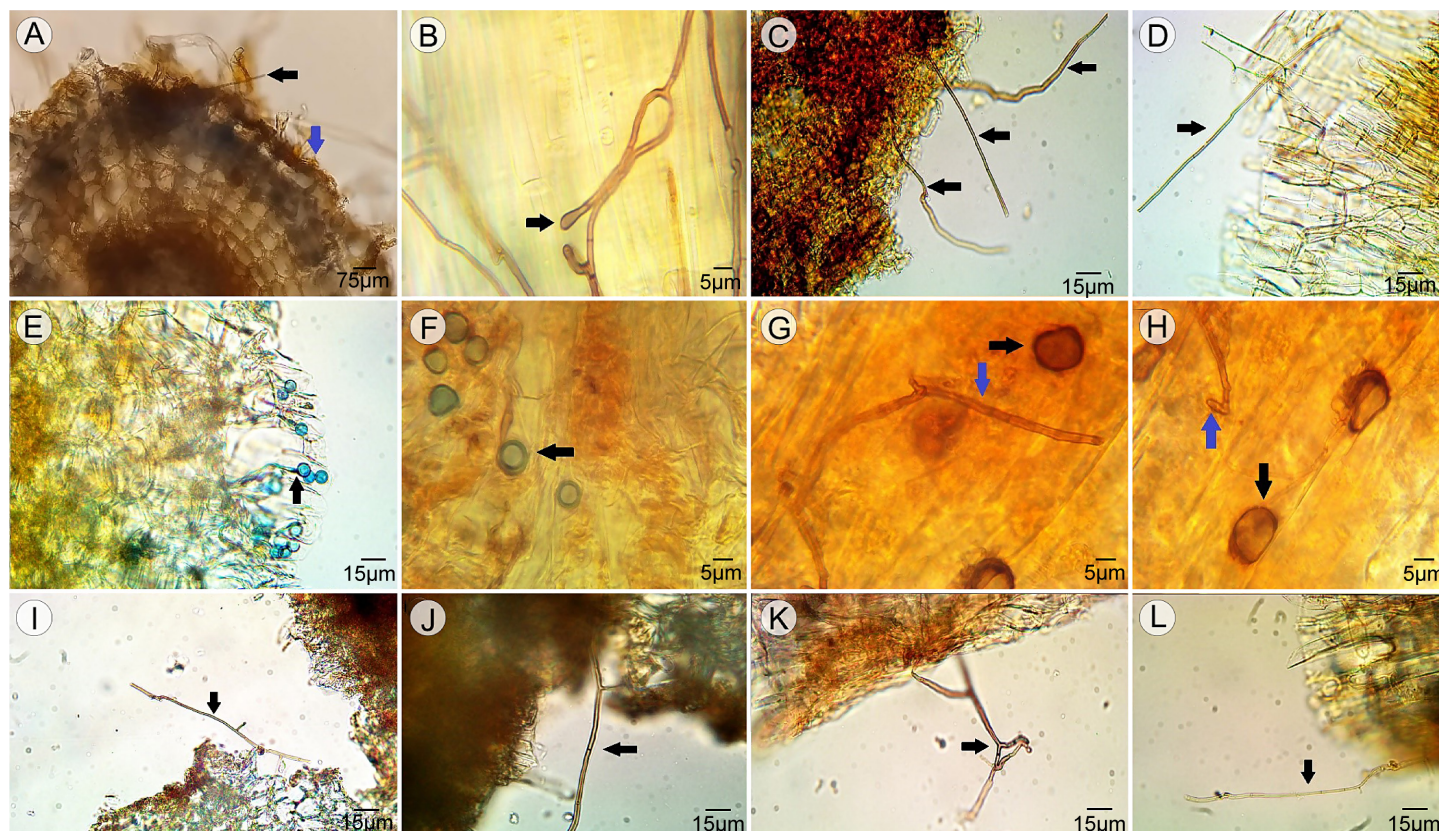


Figura 3: Raíces de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth inoculadas con cuatro tratamientos. A-D. tratamiento con *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert; E, F. tratamiento con *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A Schüßler; G, H. tratamiento con inoculación con *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A Schüßler, *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert y *Azospirillum brasilense* Tarrand et al., 1978; I-L. inóculo de *Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers. A. hifa externa (flecha negra) y manto (flecha azul); B. hifa con terminación simple; C. hifas externas; D. hifa externa; E. vesícula; F. vesícula; G. vesícula (flecha negra) e hifa septada (flecha azul); H. vesícula (flecha negra) e hifa septada (flecha azul) con terminación simple; I. hifa externa; J. hifa septada; K. hifa doble terminación; L. hifa septada.

Cuadro 1: Atributos morfofuncionales de *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth en los distintos tratamientos de inoculación con hongos micorrícicos. Se muestran los valores promedio de cada atributo obtenidos bajo el tratamiento Control (C), inoculación con *Azospirillum brasilense* Tarrand et al., 1978 (A), inoculación con *Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert (P), inoculación con *Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A Schüßler (R), inoculación con *Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers. (S) e inoculación triple con A. *brasilense* + P. *arhizus* + R. *intraradices* (APR), los estadísticos F y el valor de P obtenido a partir del análisis de varianza de una vía (los grados de libertad para todas las pruebas=5). Los valores en negritas indican diferencias significativas entre tratamientos y se muestran con letras distintas. La descripción de los acrónimos es la siguiente: TRC=tasa relativa de crecimiento, TH=tamaño de hoja, AFE=área foliar específica, LR/AF=cociente longitud del sistema radicular entre el área foliar, NPR/AF=cociente número de puntas del sistema radicular entre el área foliar, VR=volumen del sistema radicular, LRE=longitud radicular específica, DiamR=diámetro promedio del sistema radicular, R/PA=cociente biomasa seca del sistema radicular entre la biomasa seca de la parte aérea.

Atributo	C	A	P	R	S	APR	F	P
TRC (cm cm ⁻¹ día ⁻¹)	0.0005 ^b	0.0019 ^{ab}	0.0011 ^b	0.0005 ^b	0.0029 ^a	0.0002 ^b	6.92	<0.0001
Cobertura (cm ²)	2.04 ^b	2.79 ^b	0.945 ^b	1.063 ^b	10.93 ^a	1.32 ^b	7.99	<0.0001
Número de hojas	7.53	8.31	6.64	7.32	10.65	6.47	1.52	0.18
TH (cm ²)	0.43 ^b	0.55 ^b	0.74 ^b	0.25 ^b	3.05 ^a	0.39 ^b	7.71	0.0002
AFE (cm ² g ⁻¹)	445.55	367.11	384.31	1164.92	433.16	1010.06	1.61	0.19
LR/AF (cm cm ⁻²)	50.88	105.86	34	163.49	33.57	113.01	1.76	0.15
NPR/AF	582.27 ^a	917.79 ^a	134.3 ^{ab}	574.27 ^a	20.92 ^b	291.69 ^a	6.32	0.0007
VR (cm ³)	0.22 ^b	0.145 ^b	0.195 ^b	0.297 ^b	16.11 ^a	0.151 ^b	5.69	0.001
LRE (cm g ⁻¹)	8002.3	9267.8	6507.2	7092	13463.4	7500.7	0.21	0.95
DiamR (mm)	0.33 ^b	0.376 ^b	0.384 ^b	0.451 ^b	1.181 ^a	0.331 ^b	5.87	0.001
R:PA (g g ⁻¹)	0.665 ^{ab}	0.499 ^b	1.008 ^a	1.150 ^a	0.676 ^{ab}	1.01 ^a	4.89	0.003
Porcentaje de micorrización	0 ^a	-	40 ^b	38 ^b	30 ^b	72 ^b	6.92	0.001

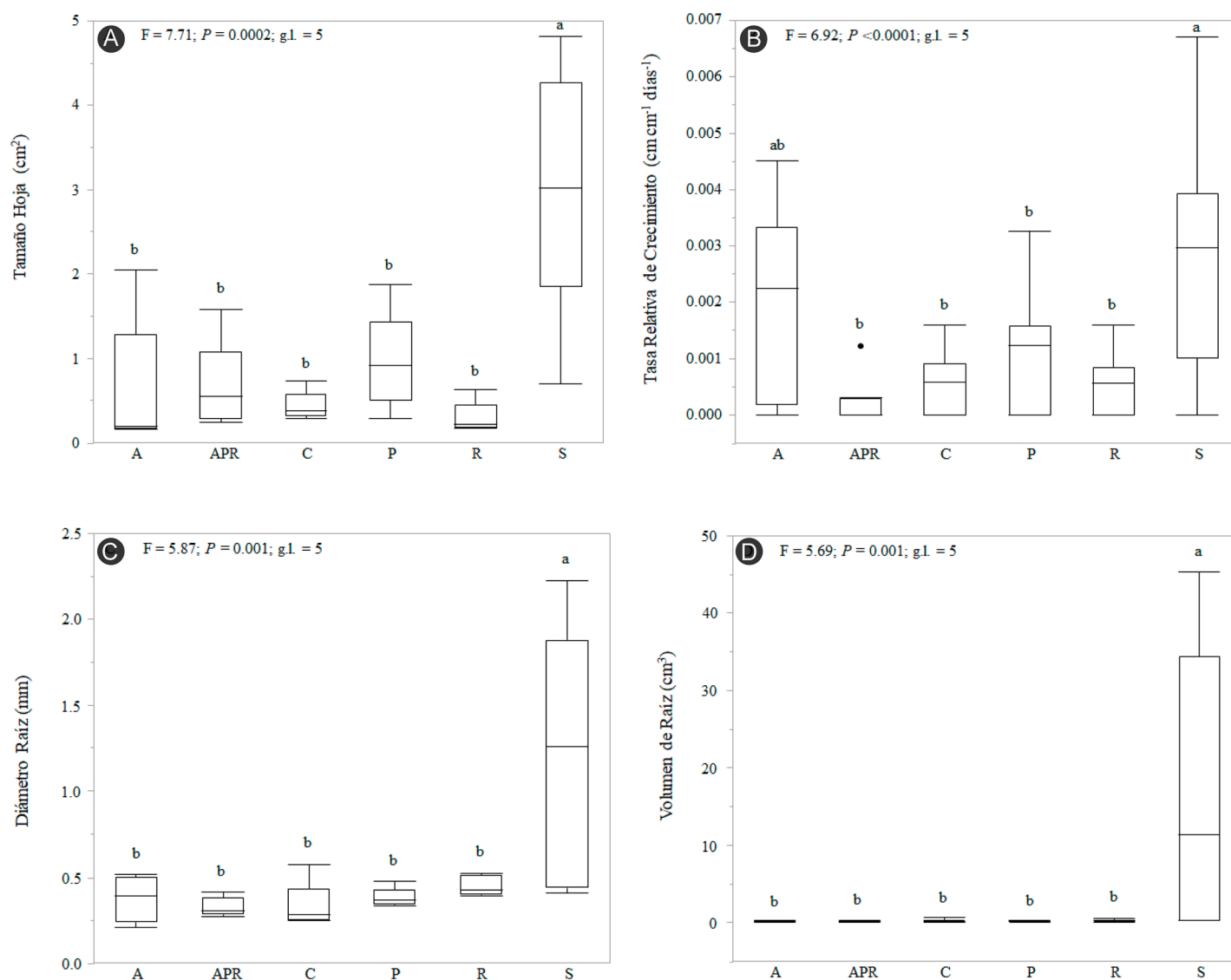


Figura 4: Crecimiento y atributos morfofuncionales entre los distintos tratamientos de inoculación con hongos micorrícicos y una bacteria promotora del crecimiento. Variables de crecimiento: A. tamaño de hoja (cm^2); B. número de hojas; C. volumen de raíz (cm^3); D. diámetro de raíz (mm). Acrónimos de los tratamientos: A=*Azospirillum brasilense* Tarrand et al., 1978, APR=*A. brasilense*, *P. arhizus* y *R. intraradices*, C=Control, P=*Pisolithus arhizus* (Scop.) Rauschert, R=*Rhizophagus intraradices* (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A Schüßler, S=*Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers. Las barras representan el error estándar. Las letras distintas representan diferencias significativas exploradas con la prueba de Tukey con un $\alpha=0.05$.

mo, en los cocientes entre rasgos de la raíz y la parte aérea se encontraron diferencias significativas en dos casos. Las plántulas presentaron un sistema radicular con un mayor número de puntas por unidad de área foliar total en los tratamientos de control, *A. brasilense*, *R. intraradices* y triple, y en *S. verrucosum* fue menor (Cuadro 1). Por otra parte, las plántulas tuvieron un mayor valor del cociente biomasa seca del sistema radicular entre biomasa parte aérea en los tratamientos *R. intraradices*, *P. arhizus* y triple (Cuadro 1).

Discusión

En el presente estudio detectamos que, en condiciones semicontroladas *Tecoma stans* tiene un buen desempeño durante sus primeras fases de vida, lo que la hace una candidata idónea para incorporarla a los esfuerzos de restauración. En general, presentó un alto porcentaje de germinación y en sus primeros seis meses de vida una alta tasa de crecimiento. A su vez, formó asociaciones con hongos micorrícicos, lo que en algunos casos potenció su crecimiento y en otros tuvo efectos negativos sobre este. Nuestro estudio

sienta los precedentes para experimentar con esta especie en campo y poder medir el éxito en su establecimiento para determinar si puede ser empleada en esquemas de restauración ecológica.

En nuestro estudio el arbusto *Tecoma stans* mostró un porcentaje de germinación de 83%. Estos valores concuerdan con estudios previos que reportan entre 85 y 100% de germinación (Cordero, 1991; López y Macías Pinto, 2017; Vargas-Figueroa y Torres-González, 2018). Adicionalmente, para el experimento se utilizaron semillas almacenadas durante 15 meses y se detectó que mantenían una alta viabilidad. Esto contrasta con los reportes previos donde se señala que después de siete meses de almacenamiento pierden su viabilidad (Vázquez-Yanes et al., 1999; ORMACC, 2015). Esto sugiere que las semillas de *T. stans* son de tipo ortodoxas y que pueden mantenerse *ex situ* satisfactoriamente a largo plazo en entornos apropiados (Hong y Ellis, 1996).

En el presente estudio destaca el éxito en el establecimiento de interacciones entre *T. stans* y microorganismos. En estudios previos, se ha detectado que su proceso de germinación se acelera en presencia de hongos micorrícicos (Ballina-Gómez et al., 2017). En conjunto, los resultados demuestran que *T. stans* puede formar interacciones benéficas en sus distintas etapas de desarrollo tanto con especies cosmopolitas como con especies con las cuales cohabita de forma natural. En principio el uso de esta especie en planes de restauración tiene mucho potencial, ya que contribuiría a recuperar aspectos relevantes de los ecosistemas como lo son la biodiversidad y funciones críticas del suelo (Fajardo et al., 2011; Aavik et al., 2021).

El establecimiento de la interacción con los microorganismos tuvo consecuencias sobre el crecimiento y atributos morfofuncionales de *T. stans*. La infección con *S. verrucosum* tuvo un efecto en los rasgos de la parte aérea, lo cual potencialmente aumentaría su captura de recursos. En este tratamiento las plántulas presentaron hojas de mayor tamaño y una copa más grande. Esto indica que la interacción con esta especie favorece rasgos que potencian la ganancia de carbono (Pineda-García et al., 2011), lo que se vio reflejado también en un mayor crecimiento. A su vez, el incremento en la captura de carbono beneficiaría al hongo y favorecería la permanencia de

la interacción (Valdés, 2011). De la misma forma, en este tratamiento las plántulas tuvieron un mayor volumen del sistema radicular y sus raíces fueron más gruesas y con un menor número de puntas. El primer rasgo le conferiría una mayor capacidad de explorar más volumen de suelo. Sin embargo, la absorción de agua y nutrientes estaría limitada por la presencia de raíces más gruesas y con un menor número de puntas (Pérez-Harguindeguy et al., 2013; Paz et al., 2015). Nuestros resultados sugieren que estas dos especies, *Tecoma stans* y *Scleroderma verrucosum*, pudieran emplearse en los esquemas de restauración, ya que se ha propuesto que la tasa de crecimiento de la planta determina el éxito de las mismas (Pywell et al., 2003; Sandoel et al., 2011). En contraste, en el tratamiento con *R. intraradices* y en el triple las plántulas presentaron una raíz con mayor número de puntas por unidad de superficie foliar e invirtieron una mayor biomasa en la raíz que en la parte aérea. Esto sugiere que la presencia de estos microorganismos favorece más la adquisición de recursos por abajo del suelo.

Conclusiones

El arbusto *Tecoma stans* presentó una muy buena germinación a pesar de que sus semillas fueron almacenadas en temperatura ambiente por un periodo de tiempo extenso (15 meses), y tuvo una velocidad alta de germinación ya que para el conjunto de semillas inició a los siete días y a los 42 días se redujo. La especie estableció de manera exitosa interacción con todos los hongos micorrícicos. A su vez, se detectaron diferencias en el crecimiento de la planta como resultado del establecimiento de las interacciones. En general, la inoculación con el hongo *S. verrucosum* tuvo un impacto positivo en la tasa de crecimiento y en los atributos morfofuncionales de la parte aérea. En el presente estudio, detectamos cómo *S. verrucosum* promueve el crecimiento de *T. stans*, lo que hace a las dos especies candidatas ideales para la restauración.

Contribución de autores

ABN, MGR y FPG concibieron y diseñaron el estudio. ABN condujo los experimentos, cuantificó las variables y analizó los datos. ABN, MGR, RLC, ABG, JV y FPG participaron en la escritura del artículo.



Financiamiento

Este estudio formó parte del proyecto de Arubi Becerril-Navarrete, con el cual obtuvo su grado de maestra en el Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, en el Área temática Ecología y Conservación, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), para lo cual recibió la beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) número 732013.

Agradecimientos

Agradecemos al Laboratorio de Restauración Ambiental del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sostenibilidad (IIES), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Morelia y al Laboratorio de Ecología Funcional, Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), unidad Morelia, UNAM, por el espacio y el equipo brindado. Así mismo, agradecemos la asistencia técnica brindada por Rafael Aguilar Romero durante la cuantificación de los atributos morfofuncionales.

Literatura citada

- Aavik, T., S. Träger, M. Zobel, O. Honnay, M. Van Geel, C. G. Bueno y K. Koorem. 2021. The joint effect of host plant genetic diversity and arbuscular mycorrhizal fungal communities on restoration success. *Functional Ecology* 35: 2621-2634. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13914>
- Alvarado-López, S., D. Soriano, N. Velázquez, A. Orozco-Segovia y A. Gamboa-de Buen. 2014. Priming effects on seed germination in *Tecoma stans* (Bignoniaceae) and *Cordia megalantha* (Boraginaceae), two tropical deciduous tree species. *Acta Oecologica* 61: 65-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2014.10.007>
- Augé, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
- Báez-Pérez, A. L., M. Gómez-Romero, J. Villegas, E. de la Barrera, L. Carreto-Montoya y R. Lindig-Cisneros. 2015. Inoculación con hongos micorrízicos y fertilización con urea de plantas de *Fraxinus uhdei* en acrisoles provenientes de sitios degradados. *Botanical Sciences* 93(3): 501-508. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.207>
- Ballina-Gómez, H. S., E. Ruiz-Sánchez, E. Ambriz-Parra y C. J. Alvarado-López. 2017. Efecto de la luz y micorrizas en la germinación de semillas de árboles de selvas secas. *Madera y Bosques* 23(3): 29-37. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331531>
- Bashan, Y. y G. Holguin. 1997. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances 1990-1996. *Canadian Journal of Microbiology* 43(2): 103-121. DOI: <https://doi.org/10.1139/m97-015>
- Brudvig, L. A. 2011. The restoration of biodiversity: Where has research been and where does it need to go? *American Journal of Botany* 98(3): 549-558. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1000285>
- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Marce, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzing, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava y S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486(7401): 59-67. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Cordero, S. R. A. 1991. Efecto de estrés osmótico sobre la germinación de semillas de *Tecoma stans* (Bignoniaceae). *Revista de Biología Tropical* 39(1): 107-110.
- ESRI. 2006. ArcGIS 10.5. Environmental Systems Research Institute. Redlands, USA. <https://desktop.arcgis.com/es/desktop/> (consultado diciembre de 2021).
- Fajardo, L., G. Cuenca, P. Arrindell, R. Capote y Z. Hasmy. 2011. El uso de los hongos micorrízicos arbusculares en las prácticas de restauración ecológica. *Interciencia* 36(12): 931-936.
- Gentry, A. H. 1992. Tropical forest biodiversity: distributional patterns and their conservational significance. *Oikos* 63(1): 19-28. DOI: <https://doi.org/10.2307/3545512>
- Gómez-Romero, M., R. Lindig-Cisneros y E. del Val. 2015. Efecto de la sequía en la relación simbiótica entre *Pinus pseudostrobus* y *Pisolithus tinctorius*. *Botanical Sciences* 93(4): 731-740. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.193>
- Gómez-Ruiz, P. A. y R. Lindig-Cisneros. 2017. La restauración ecológica clásica y los retos de la actualidad: La migración asistida como estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista de Ciencias Ambientales* 51(2): 31-51. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.2>

- Guadarrama-Chávez, P., I. Sánchez, J. Álvarez y J. Ramos. 2004. Hongos y plantas, beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *Ciencias* 73: 38-45.
- Hannah, L., D. Lohse, C. Hutchinson, J. L. Carr y A. Lankerani. 1994. A preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems. *AMBIO* 23(4-5): 246-250.
- Harris-Valle, C., M. Esqueda, E. M. Valenzuela-Soto y A. E. Castellanos. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32(4): 265-271.
- Hernández-Cuevas, L., P. Guadarrama-Chávez, I. Sánchez-Gallén y J. A. Ramos-Zapata. 2008. Micorriza arbuscular: Colonización intrarradical y extracción de esporas del suelo. In: Álvarez-Sánchez, J. y A. Monroy-Ata (comps.). *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración*. Las prensas de la ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 1-16.
- Hong, T. D. y R. H. Ellis. 1996. A protocol to determine seed storage behavior. *IPGRI Technical Bulletin* 1: 1-62.
- Hong, L., Y. Orikasa, H. Sakamoto y T. Ohwada. 2019. Plant tissue localization and morphological conversion of *Azospirillum brasilense* upon initial interaction with *Allium cepa* L. *Microorganisms* 7(9): 275. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7090275>
- Hurtado, N. E., C. Rodríguez y A. Contreras. 2006. Estudio cualitativo y cuantitativo de la flora medicinal del municipio de Copándaro de Galeana, Michoacán, México. *Polibotánica* 22: 21-50.
- Kauffman, J. B., R. L. Beschta, N. Otting y D. Lytjen. 1997. An ecological perspective of riparian and stream restoration in the Western United States. *Fisheries* 22(5): 12-24. DOI: [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1997\)022<0012:AEPO RA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1997)022<0012:AEPO RA>2.0.CO;2)
- López, L. E. y D. J. Macías Pinto. 2017. Frutos, semillas, germinación y desarrollo de plántulas de *Amphilophium paniculatum* (L.) Kunth. (Bignoniaceae). *Colombia Forestal* 20(1): 45-54. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a04>
- Martínez, E. y C. H. Ramos. 2012. Bignoniaceae. *Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán* 104: 1-58.
- Meli, P. 2003. *Restauración Ecológica en Bosques Tropicales*. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* 28: 581-589.
- ORMACC. 2015. *Especies para Restauración*. Oficina Regional de UICN para México, América Central y El Caribe (ORMACC).
- Parra, Y. y F. Cuevas. 2001. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales* 23(3): 31-41.
- Paz, H., F. Pineda-García y L. F. Pinzón-Pérez. 2015. Root depth and morphology in response to soil drought: comparing ecological groups along the secondary succession in a tropical dry forest. *Oecologia* 179: 551-561. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3359-6>
- Pera, J. y J. Parladé. 2005. Inoculación controlada con hongos ectomicorrícicos en la producción de plantas destinadas a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Investigación Agraria, Sistema y Recursos Forestales* 14(3): 419-433.
- Pérez-Harguindeguy, N., S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M. S. Bret-Harte, W. K. Cornwell, J. L. Craine, D. E. Gurvich, C. Urcelay, E. J. Veneklaas, P. B. Reich, L. Poorter, I. J. Wright, P. Ray, L. Enrico, J. G. Pausas, A. C. de Vos, N. Buchmann, G. Funes, F. Quétier, J. G. Hodgson, K. Thompson, H. D. Morgan, H. ter Steege, M. G. A. van der Heijden, L. Sack, B. Blonder, P. Poschlod, M. V. Vaieretti, G. Conti, A. C. Staver, S. Aquino y J. H. C. Cornelissen. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61(3): 167-234. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Pineda-García, F., H. Paz y C. Tinoco-Ojanguren. 2011. Morphological and physiological differentiation of seedlings between dry and wet habitats in a tropical dry forest. *Plant, Cell and Environment* 34(9): 1536-1547. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02351.x>
- Piñero, D., J. Caballero- Mellado, D. Cabrera-Toledo, C. Canteros, A. Casas, A. Castañeda, A. Castillo, R. Cerritos, O. Chassin-Noria, P. Colunga-García, P. Delgado, P. Díaz-Jaimes, L. Eguiarte, A. Escalante, B. Espinoza, A. Fleury, S. Flores, G. Fragoso, J. González-Astorga, V. Islas, E. Martínez, F. Martínez, J. Martínez-Castillo, A. Mastretta, R. Medellín, L. Medrano-González, F. Molina-Freaner, B. Morales, A. Munguía, E. Payró de la Cruz, M. Reyes-Montes, M.

- Robles, G. Rodríguez-Arellanes, L. Rojas-Bracho, R. Romero-Martínez, J. Sahaza-Cardona, R. Salas, E. Sciutto, C. Baker, Y. Schramm, C. Silva, V. Souza, M. Taylor, J. Urbán, M. Uribe-Alcocer, M. Vázquez, E. Vázquez-Domínguez, A. Vovides, A. Wegier, A. Zaldívar y G. Zúñiga. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (ed.). Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Cd. Mx., México. pp. 437-494.
- Pywell, R. F., J. M. Bullock, D. B. Roy, L. Warman, K. J. Walker y P. Rothery. 2003. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology* 40(1): 65-77. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00762.x>
- Qiao, X., S. Bei, C. Li, Y. Dong, H. Li, P. Christie, F. Zhang y J. Zhang. 2015. Enhancement of faba bean competitive ability by arbuscular mycorrhizal fungi is highly correlated with dynamic nutrient acquisition by competing wheat. *Scientific Reports* 5: 8122. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep08122>
- Regent Instruments. 2015. WinRHIZO Pro 2015b, Regent Instruments Inc. Regent Instrumentos, Inc. Quebec, Canadá https://regentinstruments.com/assets/winrhizo_mostrecent.html (consultado diciembre de 2021).
- Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 1993. Familia Bignoniaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes* 22: 1-44.
- Sabogal, C., C. Besacier y D. McGuire. 2015. Restauración de bosques y paisajes: conceptos, enfoques y desafíos que plantea su ejecución. *Unasylva* 66: 3-10.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, P. Duval, R. St-Amant, J. Beaulieu y B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climate Change* 102: 595-623. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9753-5>
- Sandel, B., J. D. Corbin y M. Krupa. 2011. Using plant functional traits to guide restoration: a case study in Californian coastal grassland. *Ecosphere* 2(2): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES10-00175.1>
- SAS. 2013. SAS/STAT ver. 11 user's guide. SAS Institute Inc. Cary, USA. https://www.sas.com/es_mx/software/stat.html (consultado diciembre de 2021).
- Socolowski, F., D. C. Mascia y M. Takaki. 2008. Interaction of temperature and light on seed germination in *Tecoma stans* L. Juss. ex Kunth (Bignoniaceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51(4): 523-53. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000400010>
- Tarrand, J. J., N. Krieg y J. Döbereiner. 1978. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. *Canadian Journal of Microbiology* 24(8): 967-980. DOI: <https://doi.org/10.1139/m78-160>
- Tellería, J. L. 2013. Pérdida de biodiversidad: Causas y consecuencias de la desaparición de las especies. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 10: 13-25.
- Thomas, E., R. Jalonen, J. Loo, D. Boshier, L. Gallo, S. Cavers, S. Bordács, P. Smith y M. Bozzano. 2014. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333: 66-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Tien, T. M., M. H. Gaskins y D. H. Hubbell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and Environment Microbiology* 37: 1016-1024.
- Valdés, M. 2011. El cambio climático y el estado simbiótico de los árboles del bosque. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(5): 5-14.
- Valiente-Banuet, A., M. A. Aizen, J. M. Alcántara, J. Arroyo, A. Cocucci, M. Galetti, M. B. García, D. García, J. M. Gómez, P. Jordano, R. Medel, L. Navarro, J. R. Obeso, R. Oviedo, N. Ramírez, P. J. Rey, A. Traveset, M. Verdú y R. Zamora. 2015. Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology* 29(3): 299-307. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12356>
- Vanegas-López, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 "Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia



- Nacional de Especies Invasoras". Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Fondo para el Medio Ambiente Mundial operado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (GEF por sus siglas en inglés-PNUD). Cd. de México, México. 158 pp.
- Vargas-Figueroa, J. A. y A. M. Torres-González. 2018. Germination and seed conservation of a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Revista de Biología Tropical* 66(2): 918-936. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33423>
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez Dirzo. 1999. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) - Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cd. de México, México. 13 pp.
- Zepeda-Guzmán, S., M. Gómez-Romero, C. Sosa-Aguirre y J. Villegas. 2018. Effects of *Rhizoglyphus intraradices*, *Azospirillum brasilense* and plant growth regulators application on root architecture in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Phyton* 87(1): 183-190. DOI: <https://doi.org/10.32604/phyton.2018.87.183>

