





Innovación tecnológica utilizando himenóforos de hongos comestibles ectomicorrízicos como biofertilizantes forestales

Ortiz-Lopez, Ivette¹ ; Pérez-Moreno, Jesús¹ ; Martínez-Reyes, Magdalena¹ ; Bibiano-Flores, Abraham^{2*} 

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Posgrado en Edafología. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, C.P. 56230, Estado de México, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, C.P. 30870, Chiapas, México.

* Autor para correspondencia: bibiano.abraham@inifap.gob.mx

Problema

México posee una notable riqueza y diversidad de especies arbóreas coníferas, entre las cuales el género *Pinus* constituye el grupo más destacado por su abundancia en el ámbito forestal. No obstante, estas especies han experimentado una significativa reducción de su cobertura vegetal, atribuible a diversos factores entre los que destacan la deforestación y el cambio de uso de suelo. Este proceso ha resultado en una pérdida aproximada de 400,000 hectáreas de bosque anualmente. Adicionalmente, la incidencia de plagas y enfermedades, frecuentemente exacerbada por el empleo excesivo de plaguicidas y fertilizantes químicos en la producción de plantas, representa una amenaza considerable para la supervivencia y biodiversidad de los ecosistemas forestales.

Las zonas forestales revisten una gran importancia tanto ecológica como económica. Desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático y proveen servicios ecosistémicos esenciales, como la retención de suelo y agua. Asimismo, constituyen una fuente de recursos alimentarios, medicinales y combustibles para las poblaciones humanas. Por lo anterior, se hace patente la necesidad de implementar estrategias de manejo más compatibles con el ambiente. Una de estas estrategias consiste en la producción de plantas con calidad sanitaria en vivero, previamente inoculadas con los himenóforos, que son las partes fértiles productoras de esporas de hongos ectomicorrízicos comestibles. Esta innovación tecnológica incrementa la probabilidad de supervivencia de las plántulas en su sitio definitivo de trasplante. Dicho mejoramiento es particularmente relevante si se considera que la mayoría de los árboles no inoculados, destinados a plantaciones en programas de rehabilitación o reforestación, suelen presentar tasas de supervivencia notablemente bajas, de alrededor de 20%.



Cómo citar: Ortiz-Lopez, I., Pérez-Moreno, J., Martínez-Reyes, M., & Bibiano-Flores, A. Innovación tecnológica utilizando himenóforos de hongos comestibles ectomicorrízicos como biofertilizantes forestales. *Agro-Divulgación*, 5(5). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i5.519>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Febrero 2026.

Agro-Divulgación, 5(5). Septiembre-October. 2025. pp: 7-10.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



Solución planteada

En la actualidad, los biofertilizantes microbianos constituyen una biotecnología innovadora y de vanguardia a nivel global, con aplicaciones crecientes en los sectores agrícola y forestal. Específicamente, la utilización de hongos ectomicorrízicos (HECM) como bioinoculantes se considera una alternativa sustentable y sostenible para la producción de planta forestal de calidad en condiciones de vivero.

La simbiosis ectomicorrízica confiere un efecto benéfico a las plantas hospedantes, principalmente mediante un incremento en la capacidad de absorción de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo. Como retribución, el hongo recibe de su hospedante, compuestos carbonados derivados de la fotosíntesis, a través de las hifas asociadas a la raíz. Esta relación mutualista se traduce en un notable incremento del crecimiento y desarrollo de las plantas, reduciendo además considerablemente su tiempo de permanencia en invernadero. Dicha asociación es fundamental para la supervivencia de las plántulas, ya que los HECM incrementan su tolerancia a diversos tipos de estrés abiótico, incluyendo sequía y la presencia de metales pesados. *Pinus greggii* Engelm. es una especie nativa de México con relevancia ecológica y económica, y un gran potencial para programas de reforestación y plantaciones forestales. No obstante, la selección adecuada de los simbiontes fúngicos y su posterior manipulación son aspectos críticos para garantizar el éxito del establecimiento de las especies en campo.

El himenóforo es la estructura de los cuerpos fructíferos de los HECM donde se albergan las esporas maduras. En este trabajo se plantea que la utilización de dicho compartimento de los cuerpos fructíferos constituye una fuente de biofertilizantes benéfica para el crecimiento de las plantas de interés forestal. Se evaluó el efecto de la inoculación de himenóforos jóvenes y maduros del hongo silvestre comestible *Suillus pungens* Thiers & A.H. Sm. en el crecimiento y el porcentaje de colonización ectomicorrízica en plantas de *P. greggii* en condiciones de invernadero.

El germoplasma de *S. pungens* y de *P. greggii* se recolectaron en una plantación de árboles ectomicorrizados con esta especie en el Parque Nacional Molino de Flores, del Municipio de Texcoco del estado de México. Las semillas de *P. greggii* se desinfectaron con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30% durante 20 minutos, enjuagándose posteriormente con agua destilada estéril. La siembra se realizó en tubetes de plástico negro de 140 ml, previamente desinfectados y llenos con sustrato estéril. En cada tubete se depositaron tres semillas a 1 cm de profundidad, adicionando 20 mL de inóculo líquido.

Para la elaboración de los inóculos, se emplearon ejemplares de *S. pungens* en estado juvenil (himenóforos jóvenes) y con alto grado de madurez (himenóforos maduros), los cuales se trituraron con agua destilada estéril en una proporción 1:1 (p/v). El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos: i) plantas inoculadas con himenios jóvenes; ii) plantas inoculadas con himenios maduros; y iii) plantas testigo sin inocular. Cada tratamiento contó con 30 réplicas. El riego se aplicó en días alternos.

A los 184 días posteriores a la siembra, se evaluó la altura de la planta, el diámetro del tallo y se determinó el porcentaje de colonización ectomicorrízica en raíces mediante observación en microscopio estereoscópico. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

En términos generales, los valores máximos de crecimiento en *P. greggii* se registraron en los tratamientos inoculados en comparación con el testigo. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la variable altura, siendo mayor en las plantas inoculadas con himenio maduro (48.4 cm en promedio) que en aquellas inoculadas con himenio joven (43.9 cm). Respecto al diámetro del tallo, no se encontraron diferencias significativas entre los dos tratamientos de inoculación, pero sí en comparación con las plantas testigo. Los valores para las plantas sin inocular fueron de 1.4 mm de diámetro y 10.5 cm de altura, valores que no cumplen con los estándares de calidad para planta de vivero destinada a campo, los cuales establecen un mínimo de 5 mm de diámetro y 15 cm de altura (Cuadro 1; Figura 1a, b).

La colonización ectomicorrízica se observó exclusivamente en las plantas inoculadas. El tratamiento con himenóforos maduros presentó un 98.8% de colonización, mientras que el de himenóforos jóvenes mostró un valor semejante (97.7%), sin diferencias significativas entre ellos según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Ambos porcentajes se consideran notablemente altos, ya que una colonización superior a 33% se cataloga como un nivel adecuado (Cuadro 2). Durante la evaluación, se observó una mayor renovación y cantidad de raíces vivas en las plantas inoculadas en comparación con el testigo.

Caracterización morfológica de las ectomicorrizas

Las raíces cortas de *P. greggii* Engelm. ectomicorrizadas con *S. pungens* presentaron una morfología de tipo coraloide. La coloración observada fue naranja en estadio juvenil

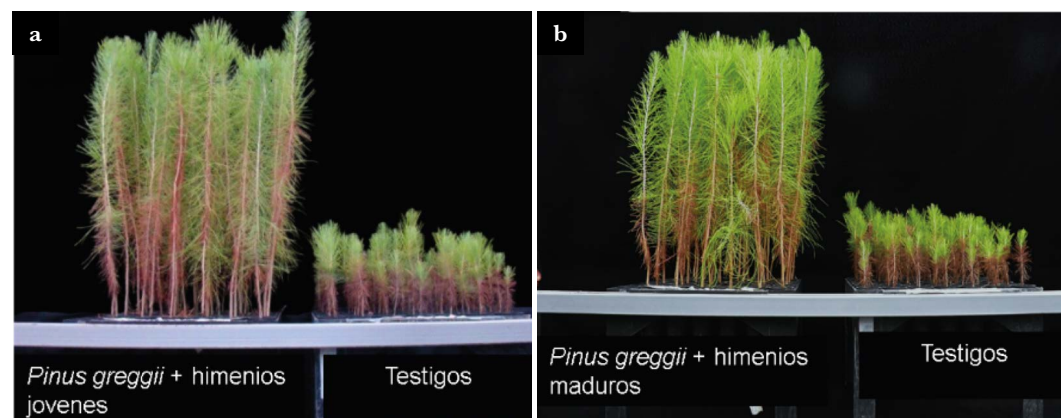


Figura 1. Imágenes generales del experimento. (a) Plantas de *Pinus greggii* (Pg) inoculadas con himenios jóvenes de *Suillus pungens* (sp) (izquierda), y plantas no inoculadas (derecha). (b) Plantas inoculadas con himenios maduros (izquierda) y plantas no inoculadas (derecho).

Cuadro 1. Altura total y diámetro del tallo de plantas de *P. greggii* inoculadas con *Suillus pungens* de dos calidades (himenios jóvenes y maduros) 184 días después de la siembra. Los datos mostrados son promedios \pm error estándar de la media, $n=30$ para altura y diámetro del tallo. Valores con la misma letra, en la misma columna para cada tratamiento no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

| Tratamiento | Altura (cm) | Diámetro del tallo (mm) |
|---|--------------------|-------------------------|
| Testigo | 10.56 \pm 0.20 c | 1.41 \pm 0.03 b |
| <i>Pinus greggii</i> + himenios jóvenes | 43.93 \pm 1.17 b | 3.65 \pm 0.05 a |
| <i>Pinus greggii</i> + himenios maduros | 48.46 \pm 0.92 a | 3.75 \pm 0.04 a |

Cuadro 2. Número de raíces vivas y muertas y porcentaje de colonización ectomicorrízica de *Pinus greggii* Engelm. inoculadas o no con himenios de *Suillus pungens*, 184 días después de la siembra. Trat.: Tratamiento, (1): Plantas inoculadas con himenios jóvenes, (2): Plantas inoculadas con himenios maduros, (3): Testigo, Col: Porcentaje de colonización. Los datos de raíces son promedios \pm error estándar de la media (n=3). Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes según Tukey ($P \leq 0.05$).

| Trat. | Raíces vivas | | Raíces muertas | | Total | % Col. |
|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------|
| | Micorrizadas | No Micorrizadas | Micorrizadas | No Micorrizadas | | |
| 1 | 3904 \pm 306.85a | 79.0 \pm 11.67b | 534.66 \pm 220.8a | 25 \pm 25.0b | 4542.67 \pm 107.85a | 97.7a |
| 2 | 4164.3 \pm 962a | 38 \pm 24.0b | 507 \pm 155.6a | 28.66 \pm 27.18b | 4738 \pm 1159.48a | 98.89a |
| 3 | 0 \pm 0 b | 523.66 \pm 64.0a | 0 \pm 0 b | 523.33 \pm 63.3a | 1047 \pm 126.5b | 0.0b |

(Figura 2a) y café claro en estadio adulto. Se constató la presencia de rizomorfos y de un manto fúngico abundante de aspecto algodonoso y coloración blanca, en el cual se identificó la presencia de cristales de oxalato (Figura 2d). El análisis histológico mediante cortes transversales de la raíz reveló la presencia abundante de hifas emanantes. La red de Hartig se observó circundando completamente las células corticales, con una penetración que abarcó de dos a tres estratos celulares en la corteza radical (Figura 2b). Anatómicamente, la capa externa del manto fúngico presentó una estructura de tipo plectenquimatoso (Figura 2c).

Se demuestra que la inoculación con himenóforos, tanto jóvenes como maduros, del hongo ectomicorrízico comestible *S. pungens*, induce una mejora significativa en el crecimiento y los parámetros de calidad en plantas de *P. greggii*. Esta afirmación se sustenta en los valores significativamente superiores en diámetro y altura registrados en las plantas

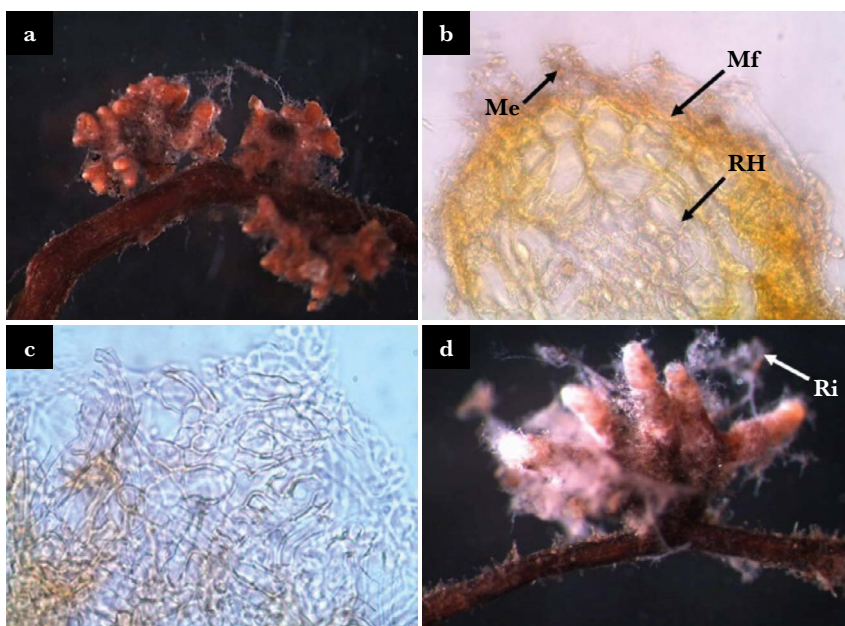


Figura 2. Características morfoanatómicas de las raíces ectomicorrizadas de *Suillus pungens* en *Pinus greggii*. a) Micorrizas jóvenes de *S. pungens* de tipo coraloide; b) Corte transversal de la raíz micorrizada de *P. greggii* con *S. pungens*, Mf=manto fúngico, Me=Micelio externo RH=Red de Hartig (100x); c) Manto plectenquimatoso (100x); d) Micorriza adulta de *S. pungens* en *P.greggii* con presencia de rizomorfos, Ri=Rizomorfos.

inoculadas en comparación con las plantas testigo no inoculadas. Dichos efectos positivos estuvieron correlacionados con los altos porcentajes de colonización ectomicorrízica alcanzados.

En consecuencia, se concluye que el compartimento constituido por los himenóforos tanto jóvenes como madures del hongo comestible ectomicorrízico *S. pungens*, constituyen una innovación tecnológica al ser una fuente de biofertilizantes para su utilización en la producción de plántulas forestales de calidad en vivero. Asimismo, los resultados respaldan su potencial empleo en programas de restauración ecológica o rehabilitación de ecosistemas forestales degradados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT), a través del “Programa de Investigadoras e Investigadores COMECyT 2025, (Folio EESP2024-0094)”, por el apoyo económico otorgado a la primera autora como parte de su estancia de investigación. Asimismo, se agradece a la misma institución su apoyo financiero a través del Proyecto SINERGIA de DOBLE HÉLICE, titulado “Restauración de áreas degradadas en Texcoco, Estado de México utilizando prácticas y biotecnologías con árboles ectomicorrizados con hongos comestibles”.

Innovación, impactos e indicadores

| Nivel de Innovación | Descripción | Transferido | Impacto | | Indicador General de Políticas Públicas | Indicadores Específicos | Subindicador |
|-----------------------|---|--|--|--|---|------------------------------------|---|
| | | | Sector | Ámbito | | | |
| Incremental | Busca mejorar los sistemas que ya existen haciéndolos mejores, más rápidos, más baratos, etc. | Asociaciones de Productores Gobierno de los Estados | Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería | Social Económico Ambiental Conocimiento | Ciencia y Tecnología Económico Educación Responsabilidad Ambiental | Competitividad Recursos Humanos | Numero de tesis Número de egresados (Lic. M.C., D.C.) Número de publicaciones Transferencias tecnológicas Número de empleos generados |
| Procesos | Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro. | Productores independientes Comunidades Agrarias | Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) | | | | |
| Innovación sostenible | Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible | | | | | | |
| Innovación frugal | Hacer más con menos. Idear estrategias de bajo costo para sortear las complejidades institucionales o limitaciones de recursos, conseguir innovar, desarrollar y entregar productos y servicios a los usuarios de bajos ingresos con poco poder adquisitivo | | | | | | |