

Biofertilizantes a base de hongos ectomicorrízicos y bacterias benéficas en la producción de especies de importancia forestal

Ivette, Ortiz-Lopez¹; Magdalena, Martínez-Reyes¹; Jorge V. Maurice-Lira¹; Rosario Ramírez-Mendoza¹; Soledad, Balbuena-Carrasco¹; Jesús, Pérez-Moreno^{1*}

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

* Autor de correspondencia: jepemo@yahoo.com.mx; jperezm@colpos.mx

Problema

A nivel mundial los ecosistemas forestales han sufrido una drástica reducción de superficie. En México los bosques cubren 324,183 km² lo que equivale a un tercio del territorio nacional, pero problemas como la deforestación y el cambio de uso del suelo han tenido un impacto negativo en aproximadamente 50% de las especies forestales que conforman los bosques. Adicionalmente, la tala de árboles indiscriminada, el ataque de plagas y enfermedades, el uso excesivo de fertilizantes químicos y los incendios forestales constituyen una amenaza para la supervivencia y biodiversidad de los bosques. Las zonas forestales son de gran importancia ecológica y económica, ya que intervienen en la mitigación del cambio climático, brindan servicios ecosistémicos como la retención de suelo y agua, restauración de áreas degradadas, y además constituyen una fuente de alimentos, obtención de fitofármacos y combustibles útiles para la sociedad. Adicionalmente, gran parte de las especies forestales que se plantan en áreas para rehabilitación o reforestación, sin ningún tratamiento previo no sobreviven, y en el mejor de los casos su supervivencia llega a ser de 20%. Es por ello que surge la necesidad de implementar acciones pertinentes que sean más compatibles y amigables con el ambiente, que coadyuven al cuidado y mantenimiento de los ecosistemas forestales, como es la rehabilitación de suelos y la reforestación con plantas de calidad sanitaria en vivero previamente inoculadas con microorganismos benéficos, lo cual aumenta la posibilidad de su supervivencia al sitio final de trasplante.

Solución planteada

Actualmente los biofertilizantes a base de microorganismos benéficos están tomando una gran importancia tanto en la agricultura como en el sector forestal a nivel global. Una de las alternativas biotecnológicas sustentables y sostenibles para la producción de planta

Cómo citar: Ortiz-Lopez, I., Martínez-Reyes, M., Maurice-Lira, J. V., Ramírez-Mendoza, R., Balbuena-Carrasco, S., & Perez Moreno, J. Biofertilizantes a base de hongos ectomicorrízicos y bacterias benéficas en la producción de especies de importancia forestal. *Agro-Divulgación*, 5(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i1.458>

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

Publicado en línea: Octubre, 2025..

Agro-Divulgación, 5(1). Enero-Febrero. 2025. pp: 103-107.

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



de calidad de especies forestales en invernadero, está constituida por la inoculación con hongos ectomicorrízicos (HECM) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV). El fundamento del éxito de estas asociaciones simbióticas se basa en el hecho de que en condiciones naturales las raíces de los árboles forestales viven en conjunto o en asociación con estos microorganismos. Tanto la asociación con hongos ectomicorrízicos como con bacterias benéficas es fundamental para la supervivencia de las plantas debido a los múltiples beneficios que les aportan. Por ejemplo, los hongos ectomicorrízicos, hacen disponibles para los árboles con los que se asocian, nutrimentos orgánicos que se encuentran retenidos en el suelo y que las plantas por sí mismas no podrían absorber. Adicionalmente, dichos hongos incrementan la resistencia a diversos tipos de estrés, incluyendo baja fertilidad de suelos, ausencia de agua y presencia de metales pesados, y promueven la protección contra microorganismos patógenos del suelo, entre otras funciones (Figura 1).

La inoculación de estos microorganismos en árboles forestales reduce considerablemente su tiempo de estancia en invernadero e incrementa de manera significativa su crecimiento, desarrollo y mejora la calidad fisiológica de las plantas. Adicionalmente, en el Colegio de Postgraduados se ha desarrollado una biotecnología de inoculación eficiente, barata, económica y de fácil aplicación (Figura 2) utilizando no solo hongos ectomicorrízicos, sino también diversas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Figura 3).

Durante las últimas dos décadas se han obtenido resultados positivos en distintos experimentos establecidos en Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, en el incremento de: altura y diámetro del tallo, desarrollo del sistema radical y biomasa total (Cuadro 1, Figura 4) y aumento en la translocación de nutrientes a las plantas (Cuadro 2). Se han evaluado más de 100 combinaciones de plantas nativas de México con importancia forestal y hongos ectomicorrízicos, y en diversos experimentos se han encontrado efectos sinérgicos al utilizar bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*e.g.*, *Pseudomonas azotoformans*). El empleo de estos microorganismos es una contribución importante de la microbiología a la producción de especies forestales en invernadero, ya que representan una alternativa biotecnológica amigable con el ambiente y que contribuye a la disminución del uso o dependencia de fertilizantes químicos.

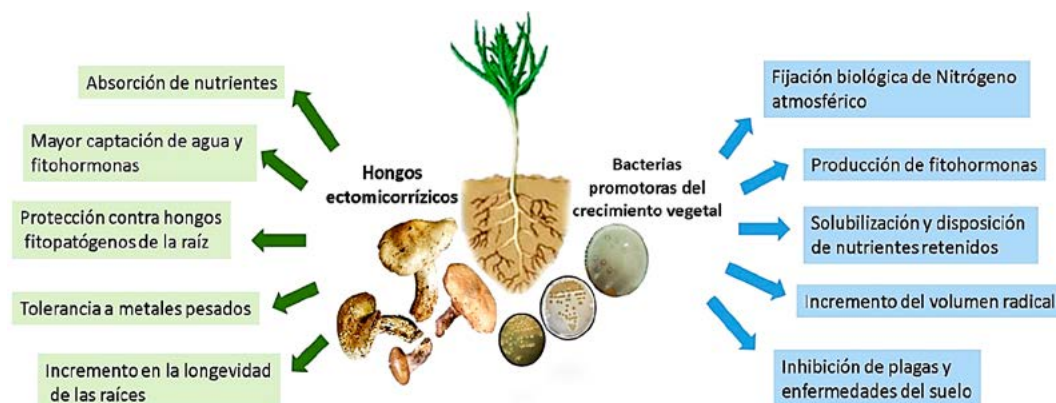


Figura 1. Beneficios de los hongos ectomicorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en las plantas inoculadas con dichos microorganismos.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del COMECyT a la primera autora; y al Proyecto ENASAS_2025_29.



Figura 2. Metodología de inoculación utilizando esporomas o píleos de hongos ectomicorrízicos comestibles y bacterias beneficiosas en pinos.

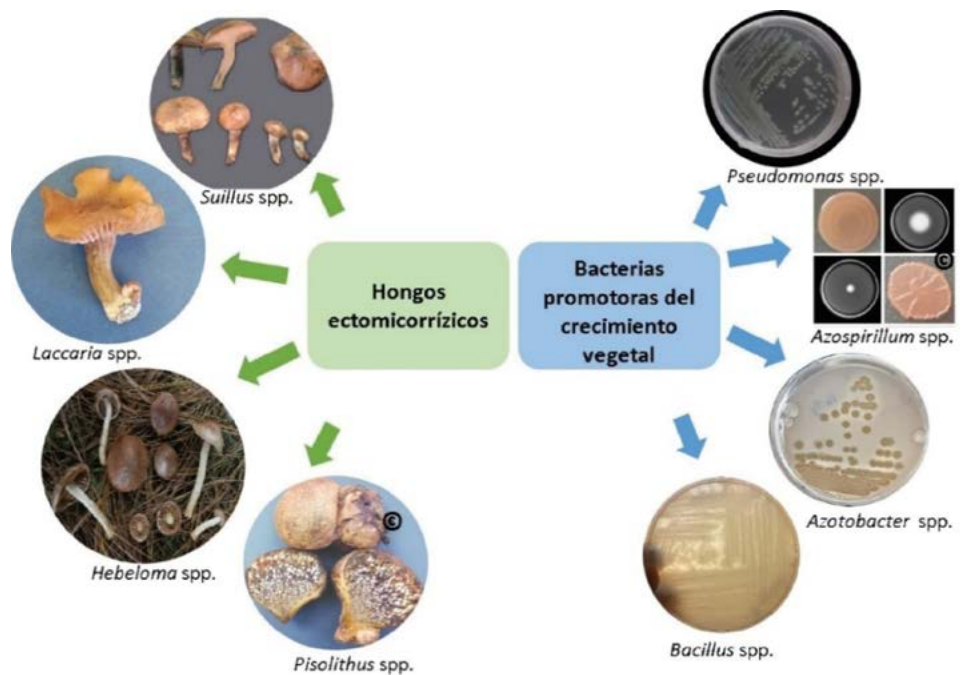


Figura 3. Hongos ectomicorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal utilizados frecuentemente para la elaboración de biofertilizantes.

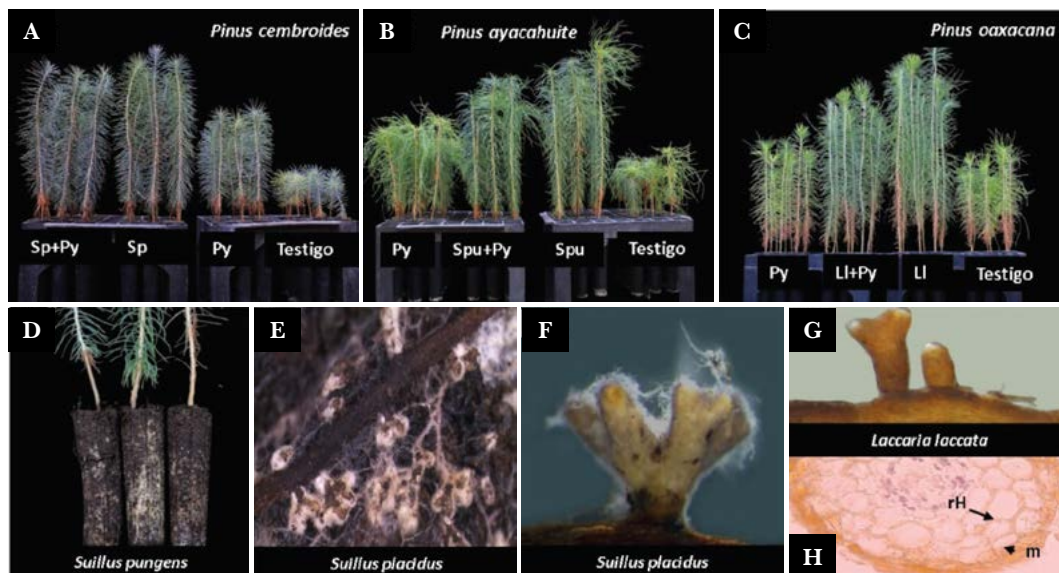


Figura 4. Efecto de la aplicación de biofertilizantes a base de hongos ectomicorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal para la producción de especies forestales. A-C) Incremento en las variables de vigor (altura y diámetro) en plantas de pinos inoculadas con *Suillus placidus* (Sp), *S. pungens* (Spu), *Laccaria laccata* (Ll) y *Pseudomonas azotoformans* (Py) en comparación con plantas testigo o sin inocular; D) Plantas colonizadas mostrando la abundancia de micelio externo; E) Colonización exitosa en plantas de especies forestales con hongos ectomicorrízicos; F) Raíz ectomicorrizada mostrando el morfotipo de Sp; G) Morfotipo de la raíz de Ll; H) Corte transversal de la ectomicorriza de Ll, mostrando algunas estructuras características de una micorriza, red de Hartig (rH) y manto fúngico (m).

Cuadro 1. Ejemplos de combinaciones de hongos ectomicorrízicos comestibles y *Pseudomonas azotoformans* en distintas especies forestales y su efecto en términos de crecimiento (biomasa, raíces, altura y diámetro del tallo) en condiciones de invernadero.

Especie forestal	Especie de hongo ectomicorrízico	Efecto de crecimiento			
		Biomasa	Raíz	Altura	Diámetro del tallo
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke	++	++	++	++
	<i>Suillus placidus</i> (Bonord.) Singer	+++	+++	+++	+++
	<i>Tricholoma mesoamericanum</i> (Peck) Redhead	++	++	++	++
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren.	<i>Hebeloma alpinum</i> (J. Favre) Bruchet	++	+++	+++	+++
	<i>L. laccata</i> + <i>Pseudomonas azotoformans</i>	+++	++	++	+++
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	<i>L. laccata</i>	++	++	++	+++
	<i>Suillus pungens</i> Thiers y AHSm.	+++	+++	+++	+++
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl.	<i>Laccaria trichodermophora</i> G.M. Muell.	++	++	++	+++
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	<i>L. laccata</i> + <i>P. azotoformans</i>	+++	++	+++	+++
	<i>Laccaria laccata</i>	+++	++	++	+++

++ = incremento de 31-60%; +++ = incremento >60%. Los incrementos son comparados con respecto a plantas no inoculadas.

Cuadro 2. Ejemplos del efecto en el contenido de nutrientes de combinaciones ectomicorrízicas, solas o con bacterias promotoras del crecimiento vegetal evaluadas en distintas especies de pino.

Especie forestal	Especie de HECM	Macronutrientes					Micronutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu	B
<i>Pinus greggii</i>	<i>Suillus pungens</i>	+++	+++	++	-	++	++	++	-	-	-
<i>P. ayacahuite</i>	<i>Laccaria laccata</i>	+++	++	++	+	++	++	+	++	+	+
	<i>Laccaria laccata</i> + <i>Pseudomonas azotoformans</i>	+++	+++	++	++	++	++	++	++	++	+
<i>P. oaxacana</i>	<i>L. laccata</i>	+++	++	+	++	++	+	++	++	+	+
	<i>L. laccata</i> + <i>P. azotoformans</i>	+++	++	++	++	++	+	++	++	++	+

- = sin incremento; += incremento de 0-30%; ++ = incremento de 31-60%; +++ = incremento >60%. Todos los incrementos son comparados con respecto a plantas no inoculadas.

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	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social	Ciencia y Tecnología	Competitividad	Número de tesis
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible	Gobierno de los Estados		Económico			
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	Productores independientes	Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)	Ambiental	Educación	Capacitación	Número de familias beneficiadas
		Comunidades Agrarias		Conocimiento			
			Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)				Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico

