

# Tolerancia al incremento de temperatura ambiental en plantas de pinos inoculadas con hongos comestibles ectomicorrízicos y bacterias benéficas

Barragán-Soriano, José L.<sup>1</sup>; Pérez-Moreno, Jesús<sup>1\*</sup>; Almaraz-Suarez, Juan J.<sup>1</sup>; Santoyo-de la Cruz, Mario F.<sup>1</sup>; Navarro-Ortega, José M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, C.P. 56264.

\* Autor para correspondencia: jperez@colpos.mx

## Problema

El calentamiento global está generando cambios drásticos en los ecosistemas del planeta, ocasionando pérdida de biodiversidad y modificación de su distribución natural. Las deforestaciones masivas y falta de reforestaciones exitosas han agravado este problema. Se ha demostrado que en general los ecosistemas naturales y en particular los ecosistemas forestales son muy sensibles al incremento de temperatura. México es uno de los principales centros de diversificación del género *Pinus*, cuyas especies son las principales proveedoras de producción maderera del país. Por esta razón actualmente diversas especies de pinos han sido utilizadas en programas nacionales de reforestación, los cuales con frecuencia han fracasado debido a la ausencia de la incorporación de la ectomicorriza, la cual es una simbiosis obligada para el desarrollo de estas especies forestales. Sin embargo, a la fecha los estudios vinculados con la tolerancia que la ectomicorriza puede conferir al incremento de temperatura han sido escasos a nivel global.

## Solución planteada

Existen diversos microorganismos del suelo que tienen la capacidad de establecer relaciones simbióticas con 90% de las raíces de las plantas, estos microorganismos son principalmente hongos micorrízicos. La característica principal de las relaciones simbióticas es que ambos organismos participantes son beneficiados. La simbiosis más importante que se encuentra en los ecosistemas forestales es la ectomicorriza la cual se establece principalmente entre las raíces de angiospermas y gimnospermas con más de 20,000 especies de hongos

**Cómo citar:** Barragán-Soriano, J. L., Pérez Moreno, J., Almaraz-Suarez, J. J., Santoyo-de la Cruz, M., & Navarro-Ortega, J. Tolerancia al incremento de temperatura ambiental en plantas de pinos inoculadas con hongos comestibles ectomicorrízicos y bacterias benéficas. *Agro-Divulgación*, 5(4). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i4.463>

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

Publicado en línea: Enero 2026.

*Agro-Divulgación*, 5(3). Julio-Agosto. 2025. pp: 27-32.

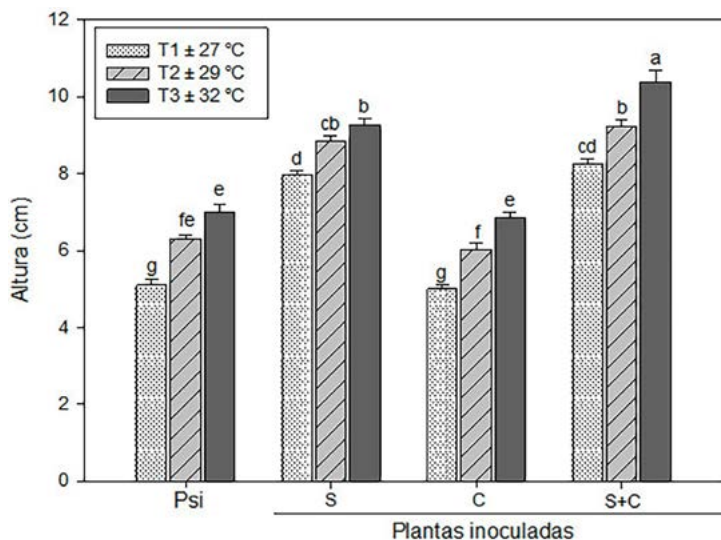
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



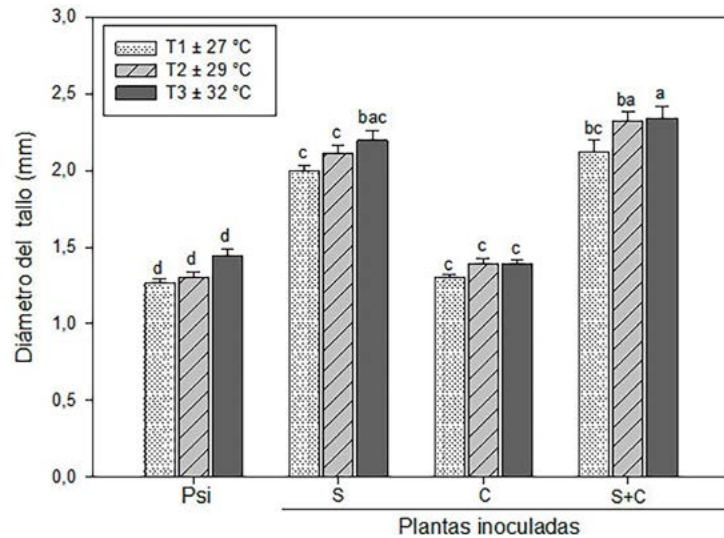
ectomicorrízicos. Los árboles proporcionan a los hongos hasta 20% de sus compuestos fotoasimilados y los hongos proporcionan a los árboles forestales una serie de beneficios que incluyen, por ejemplo, mejoramiento en la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como de agua.

Adicionalmente se ha demostrado que los hongos ectomicorrízicos confieren tolerancia a sus árboles simbioses asociados a diversos tipos de estrés incluyendo tolerancia al estrés hídrico, presencia de metales pesados y daño originado por patógenos. Adicional a esta gama de beneficios se ha reportado que la inoculación con hongos ectomicorrízicos incrementa la tasa fotosintética, lo que se traduce en la fijación y disminución del bióxido de carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero. Asimismo, diversas especies de hongos silvestres son comestibles, *e.g.*, se sabe que en el mundo se consumen alrededor de 2,000 especies de hongos comestibles. México es el segundo país en el mundo con mayor número de especies comestibles después de China. Actualmente en el país consumen más de 500 especies de hongos, por lo que la inoculación con hongos silvestres comestibles es un beneficio adicional, dado que se pueden obtener hongos comestibles además de la producción maderable, al inocular hongos comestibles ectomicorrízicos en árboles con importancia forestal. Adicionalmente, existen bacterias que benefician la micorrización de dichos árboles.

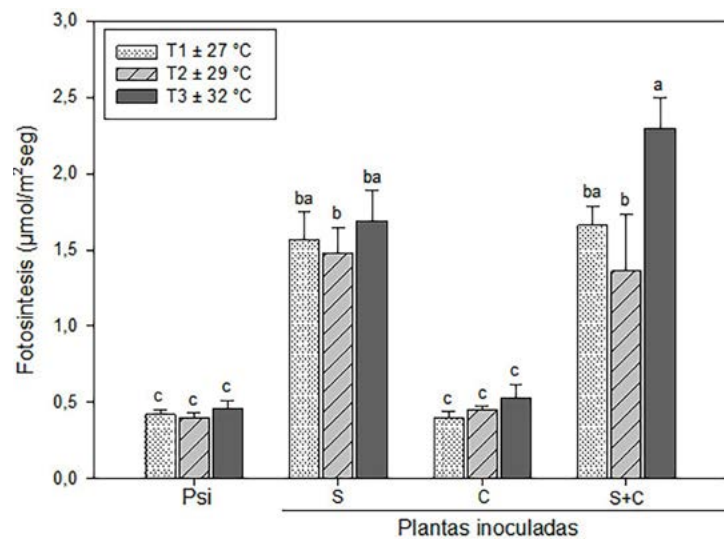
En Colegio de Postgraduados se han desarrollado investigaciones relacionadas con la tolerancia al incremento de la temperatura ambiental en árboles ectomicorrizados. Estos estudios han demostrado de manera robusta que la inoculación con hongos ectomicorrizicos incrementan la tolerancia al aumento de temperatura de hasta 5 °C más que la temperatura ambiente. Esta tolerancia se ha documentado en términos de mayores alturas (Figura 1), diámetro del tal (Figura 2), tasa fotosintética (Figura 3) y peso seco de la parte aérea, de la raíz y de la biomasa total (Cuadro 1). En contraste a la fecha no se ha



**Figura 1.** Altura de plantas de *Pinus teocote* inoculadas con un hongo comestible ectomicorrízico y una bacteria benéfica. Psi=plantas sin inocular, S=*Suillus pseudobrevipes*, C=*Cohnella* sp. Barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).  $\pm$  error estándar de la media.



**Figura 2.** Diámetro del tallo de plantas de *Pinus teocote* inoculadas con un comestible ectomicorrízico comestible y una bacteria. Psi=plantas sin inocular, S=*Suillus pseudobrevipes*, C=*Cohnella* sp. Condiciones de Barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).  $\pm$  error estándar de la media.



**Figura 3.** Tasa fotosintética de plantas de *Pinus teocote* inoculadas con el comestible ectomicorrízico comestible y una bacteria. Psi=plantas sin inocular, S=*S. pseudobrevipes*, C=*Cohnella* sp. Barras con la misma letra son iguales según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).  $\pm$  error estándar de la media.

detectado que la bacteria *Cohnella* sp., la cual en otros ensayos ha demostrado promover la ectomicorrización, tenga un efecto sinérgico con los hongos ectomicorrízicos en dicha tolerancia térmica. El incremento en dichas variables, particularmente el del parámetro fisiológico constituido por la biomasa vegetal, es de enorme importancia, dado que se ha demostrado que la inoculación incrementa la tasa fotosintética, y por lo tanto la fijación de bióxido de carbono, lo cual permite una mayor acumulación de compuestos carbonados en las plantas, aunado a la mayor translocación de nutrimentos del suelo originado por el micelio externo asociado con las raíces de las plantas ectomicorrizadas. La confirmación

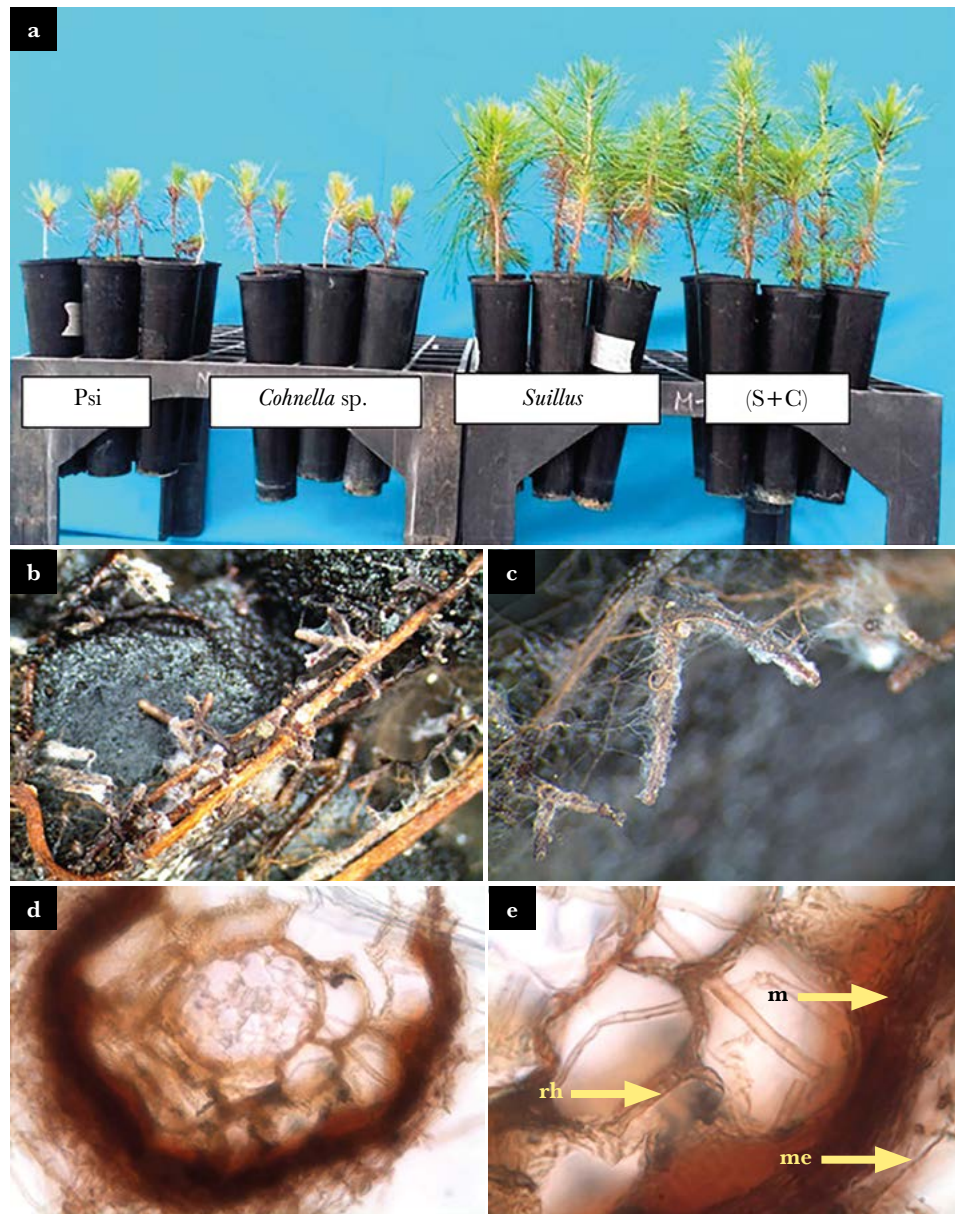
**Cuadro 1.** Materia seca de plantas de *Pinus teocote* inoculadas con una bacteria benéfica (*Cohnella* sp.) y un hongo silvestre ectomicorrízico (*Suillus pseudobrevipes*) en tres condiciones diferentes de temperatura.

Tratamientos	Peso (g)		
	Raíz	Parte aérea	Total
Plantas sin inocular (Psi)			
T1	0.19±0.02e	0.22±0.10ba	0.41±0.10bc
T2	0.16±0.01de	0.14±0.01b	0.30±0.02c
T3	0.19±0.02de	0.19±0.10b	0.34±0.07c
<i>S. pseudobrevipes</i> (S)			
T1	0.48±0.07ba	0.27±0.04ba	0.71±0.03b
T2	0.40±0.03bdac	0.31±0.02ba	0.70±0.04ba
T3	0.44±0.03bac	0.29±0.02ba	0.77±0.08a
<i>Cohnella</i> sp. (S)			
T1	0.13±0.01e	0.19±0.01b	0.38±0.08bc
T2	0.13±0.01e	0.14±0.01b	0.27±0.02c
T3	0.20±0.01dec	0.16±0.07b	0.29±0.02c
S+C			
T1	0.55±0.13ba	0.29±0.04ba	0.91±0.14a
T2	0.32±0.03bdec	0.29±0.02ba	0.61±0.04bac
T3	0.62±0.10a	0.39±0.04a	0.94±0.14a

Valores con la misma letra en la misma columna son iguales según la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).  $\pm$  error estándar de la media. Temperaturas de los módulos de temperaturas, T1=27 °C, T2=29 °C y T3=32 °C.

de que la simbiosis ectomicorrízica origina tolerancia en las plantas ectomicorrizadas, se ha efectuado al efectuar análisis morfoanatómicos en las raíces de plantas sometidas a incrementos de temperaturas y detectar la presencia de ectomicorrizas con sus estructuras características, incluyendo el manto, la red de Hartig y el manto (Figura 4).

En conclusión, la inoculación de hongos ectomicorrízicos constituyen una herramienta biotecnológica que provee a las plantas inoculadas de beneficios y herramientas para tolerar los embates del calentamiento global actual además mejoran la calidad de la producción de plantas utilizadas para reforestaciones exitosas. Se agradece al COMECyT y al CONAHCyT (Proyecto 316198 PRONACES Soberanía Alimentaria) por su apoyo para la realización de este trabajo.



**Figura 4.** Imágenes generales del experimento. a) efecto de la inoculación de *Pinus teocote* con el hongo ectomicorrízico *Suillus pseudobrevipes* (S) y la bacteria *Cohnella* sp. (C), Plantas sin inocular (Psi) y plantas coinoculadas (S+C); b) raíces micorrizadas de *P. teocote*; c) morfotipo característico de *Suillus pseudobrevipes*; d) corte transversal de raíz micorrizada; e) estructuras diagnósticas de una raíz micorrizada: rh) red de Hartig, m) manto, micelio externo.

**Innovaciones, 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, además, pretende el mejoramiento de la producción de pinos en invernadero y mitigar el cambio climático	Asociaciones de Productores	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social	Ciencia y Tecnología	Mejorar la calidad fisiológica y de desarrollo de la planta utilizada para reforestaciones	Se generó una tesis doctoral
		Gobierno de los Estados		Económico	Económico	Incrementar la tolerancia de las plantas a los cambios ocasionados por el cantamiento global	Cinco presentaciones en congresos
		Productores independientes		Ambiental	Educación	Disminuir la concentración de gases de efecto invernadero a través del incremento de la fotosíntesis generado en plantas micorrizadas y mitigar el cambio climático	Un artículo científico
		Comunidades Agrarias		Conocimiento	Responsabilidad Ambiental	Generación de empleos	Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para mitigar el cambio climático y promover el desarrollo social y económico
		Poblaciones en particular			Salud Pública	Capacitación	
Procesos	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro	Zonas turísticas			Uno o la combinación de dos o más de las opciones anteriores		
Servicios	Incrementa diversos servicios denominados ecosistémicos.						
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible	Etc.					