



Acta Botanica
Mexicana

Crecimiento y fisiología en plantas de *Pinus ayacahuite* (Pinaceae) inoculado con *Suillus placidus* (Suillaceae) y una bacteria promotora del crecimiento vegetal

Growth and physiology of *Pinus ayacahuite* (Pinaceae) inoculated with *Suillus placidus* (Suillaceae) and a plant growth-promoting bacterium

Ivette Ortiz-Lopez¹ , Jesús Pérez-Moreno^{1,2} , Magdalena Martínez-Reyes¹ , Juan José Almaraz-Suárez¹ , Olivia

Ayala-Vásquez¹ , Marco Polo Carballo-Sánchez¹ 

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: *Pinus* es el género de coníferas con mayor diversidad en México. Sus especies establecen interacciones simbióticas mutualistas en sus raíces con hongos ectomicorrízicos y bacterias que promueven el crecimiento vegetal. Estas simbiosis contribuyen a un mayor crecimiento, calidad fisiológica de las plantas y absorción nutrimental. En la presente investigación, se evaluó el efecto de la inoculación con un hongo ectomicorrízico comestible en combinación con una cepa bacteriana, en términos de crecimiento, fisiología y contenido nutrimental en plantas de *Pinus ayacahuite*.

Métodos: Las plantas de *P. ayacahuite* se inocularon con el hongo *Suillus placidus* y la bacteria promotora del crecimiento *Pseudomonas azotoformans* en invernadero. Después de 570 días de la inoculación se evaluó el crecimiento (altura y diámetro), variables fisiológicas (tasa fotosintética, contenido de clorofilas y transpiración) y contenido de macro y micronutrientes en las plantas.

Resultados clave: El crecimiento en altura y diámetro fue casi doble en las plantas inoculadas únicamente con el hongo ectomicorrízico, así como en aquellas inoculadas en combinación con la bacteria en comparación con plantas no inoculadas. Asimismo, el peso seco de la biomasa aérea y radical fue hasta cinco veces superior al de las plantas no inoculadas. Las plantas inoculadas con el hongo y la bacteria mostraron incrementos significativos en la tasa fotosintética, transpiración, contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofilas a, b y carotenos), así como en las concentraciones de macro y micronutrientes (N, K, Ca, Mg, Fe y Mn), en comparación con las plantas no inoculadas.

Conclusiones: Este trabajo revela el efecto positivo que tuvo *S. placidus*, ya sea solo o en combinación con la bacteria *P. azotoformans*, en el mejoramiento del crecimiento, fisiología y contenido nutrimental de *P. ayacahuite*, en invernadero. Esto demuestra el potencial biotecnológico de inoculación de los microorganismos evaluados para la producción de plantas de *P. ayacahuite* de alta calidad en invernadero.

Palabras clave: biotecnología, calidad de planta, hongos ectomicorrízicos comestibles, producción de planta en invernadero, *Pseudomonas azotoformans*, reforestaciones.

Abstract:

Background and Aims: The genus *Pinus* represents the most diverse conifer group in Mexico. Its species form mutualistic symbiotic interactions in their roots with ectomycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria. These symbioses contribute to enhanced plant growth, physiological quality, and nutrient uptake. The present study evaluated the effect of inoculating *Pinus ayacahuite* plants with an edible ectomycorrhizal fungus, both individually and in combination with a bacterial strain, on growth, physiological parameters, and nutritional content.

Methods: *Pinus ayacahuite* plants were inoculated with the fungus *Suillus placidus* and the plant growth-promoting bacterium *Pseudomonas azotoformans* under greenhouse conditions. After 570 days, assessments were conducted on growth (height and diameter), physiological variables (photosynthetic rate, chlorophyll content, and transpiration), and macro- and micronutrient content in the plant tissues.

Key results: Height and diameter growth were approximately twofold greater in plants inoculated with the ectomycorrhizal fungus alone or in combination with the bacterium, compared to non-inoculated controls. The dry weight of both shoot and root biomass was up to fivefold higher than in non-inoculated plants. Plants inoculated with both the fungus and the bacterium exhibited significant increases in photosynthetic rate, transpiration, photosynthetic pigment content (chlorophyll a, b, and carotenoids), and concentrations of macro- and micronutrients (N, K, Ca, Mg, Fe, and Mn) relative to non-inoculated controls.

Conclusions: This study demonstrates the positive effect of *S. placidus*, both individually and in combination with *P. azotoformans*, on improving the growth, physiology, and nutritional content of *P. ayacahuite* under greenhouse conditions. These findings highlight the biotechnological potential of these microorganisms for the production of high-quality *P. ayacahuite* seedlings in greenhouse conditions.

Key words: biotechnology, edible ectomycorrhizal fungi, greenhouse plant production, *Pseudomonas azotoformans*, reforestation, seedling quality.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 carretera México-Texcoco, 56230 Texcoco, Estado de México, México.

²Autor para la correspondencia: jperezmm@colpos.mx

Recibido: 17 de mayo de 2025.

Revisado: 19 de septiembre de 2025.

Aceptado por Moisés Méndez-Toribio: 21 de noviembre de 2025.

Publicado Primero en línea: 11 de diciembre de 2025.
Publicado: Acta Botanica Mexicana 132 (2025).



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: Ortiz-Lopez, I., J. Pérez-Moreno, M. Martínez-Reyes, J. J. Almaraz-Suárez, O. Ayala-Vásquez y M. P. Carballo-Sánchez. 2025. Crecimiento y fisiología en plantas de *Pinus ayacahuite* (Pinaceae) inoculado con *Suillus placidus* (Suillaceae) y una bacteria promotora del crecimiento vegetal. Acta Botanica Mexicana 132: e2473. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm132.2025.2473>

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

El género *Pinus* L. tiene la mayor riqueza y diversidad en México con 49 de las 120 especies reportadas a nivel mundial (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014), por lo que el país es considerado como su centro secundario de origen y diversificación (Pérez de la Rosa y Gernandt, 2017; Ramos-Dorantes et al., 2017). *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. es una de las especies de mayor importancia económica, ecológica y sociocultural de la República Mexicana, en donde es conocida como pino blanco o pino vikingo (CONAFOR, 2013a). Esta especie endémica de Mesoamérica es altamente cotizada tanto en Centroamérica como en diversas partes de nuestro país por su uso ornamental y por ser la especie más utilizada como árbol de navidad en sus plantaciones comerciales (Musálem y Ramírez-Luis, 2003). Adicionalmente, debido a su tasa de crecimiento y a la buena calidad de su madera, tiene alta demanda y se cotiza con altos precios en comparación con otras especies de pino (de Guadalupe Farfán-Vázquez et al., 2002). La producción anual de árboles de navidad en México oscila entre 700,000 y 900,000; sin embargo, la demanda del mercado nacional es mayor a 1.8 millones de plantas, de las cuales poco más de la mitad se cubre con importaciones de Canadá y Estados Unidos de América (FAO, 2013). Las plantaciones forestales con dicha especie son de importancia ya que promueven el desarrollo económico en las áreas donde se efectúa, contribuyen a la captura de carbono, a la recarga de mantos acuíferos, a la reducción de la erosión del suelo y a la conservación de la biodiversidad (CONAFOR, 2013b).

Pinus ayacahuite, como todas las especies de pinos, es capaz de establecer una asociación simbiótica mutualista con hongos ectomicorrízicos (HECM; Pérez-Moreno et al., 2020). La simbiosis ectomicorrízica es de gran importancia en los ecosistemas de bosques templados y boreales, pues se estima que se establece en alrededor de 6000 especies de angiospermas y gimnospermas y 20,000 especies de hongos (Rinaldi et al., 2008; Brundrett, 2017). Entre las hifas de los hongos y las raíces hospedadas se establece la ectomicorriza. Esta asociación es muy importante ya que el micobionte provee de nutrientes principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P) a la planta, además de agua, así también como protección ante patógenos de la raíz. A cambio el hon-

go recibe los productos fotosintéticos (carbono) asimilados de la planta (Smith y Read, 2008; Pickles y Simard, 2017; Jefwa et al., 2025). Un componente adicional de la simbiosis ectomicorrízica es el constituido por otros microorganismos; por ejemplo, el de las comunidades bacterianas que mejoran el crecimiento y nutrición de las plantas, en el que destaca un grupo denominado “bacterias promotoras del crecimiento vegetal” (BPCV) dentro de las cuales existe un grupo específico de bacterias que promueven la micorrización denominado “mycorrhizal helper bacteria” (MHB; Barragán-Soriano et al., 2022; Wang et al., 2022; Berrios et al., 2023).

Estudios previos han demostrado que la inoculación con hongos ectomicorrízicos, solos o en combinación con BPCV, favorece a las plantas al mejorar su crecimiento, calidad fisiológica, tasa fotosintética y contenido de clorofilas (a y b) y carotenos (Arteaga-León et al., 2018; Afkhami et al., 2020; Barragán-Soriano et al., 2018; 2022). En algunos casos, estos incrementos han alcanzado valores superiores a 60% en comparación con plantas no inoculadas (Pérez-Moreno et al., 2020). Dentro de las especies vegetales evaluadas se han incluido árboles de importancia forestal como *Pinus pringlei* Shaw., *P. montezumae* Lamb. y *P. thunbergii* Parl., y han sido inoculados con hongos de los géneros *Laccaria* Berk. & Broome., *Hebeloma* (P.) P. Kumm. y *Suillus* P. Micheli en combinación con bacterias de los géneros *Bacillus* Cohn, *Azospirillum* Tarrand et al., 1979 y *Cohnella* Kämpfer et al., 2006 (Ahanger et al., 2012; Wu et al., 2012; López-Gutiérrez et al., 2018; Barragán-Soriano et al., 2022). Sin embargo, dicho efecto sinérgico depende de las combinaciones entre hongos y bacterias ya que no siempre se obtienen beneficios para el fitobionte al efectuar combinaciones, principalmente, debido a la especificidad entre microorganismos y a los estados fisiológicos de las plantas (Sousa et al., 2015; Araújo et al., 2018). Por esta razón, es importante analizar cuáles combinaciones de plantas, hongos y BPCV resultan benéficas a los hospederos vegetales para la subsecuente aplicación biotecnológica en la producción de plantas de interés forestal.

Las áreas forestales se encuentran amenazadas por procesos de deforestación; si bien 31% de la superficie te-



rrestre está cubierta por bosques, estos han sufrido drásticas disminuciones (FAO, 2020). Se estima que durante 1990-2000 se perdieron anualmente 16 millones de ha, y de 2015-2020 la tasa de deforestación fue de 10 millones de hectáreas anuales (FAO, 2020). Esto ha originado un incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, lo que promueve el cambio climático global (Sosa-Rodríguez, 2015). Lo anterior trae consigo una serie de transformaciones que afectan tanto el crecimiento y productividad de las plantaciones forestales, como la supervivencia, biodiversidad, estructura y distribución de los bosques naturales (Pecl et al., 2017).

En México se han reportado 64.8 millones de ha de bosques; 52% corresponde a bosques templados (Ramos-Dorantes et al., 2017). De estos, en las dos últimas décadas se han perdido entre 440,600 y 700,000 ha (FAO, 2010; Rosete-Vergés et al., 2014). Una estrategia adoptada para detener y revertir el deterioro de la cubierta forestal del país ha sido la reforestación; sin embargo, una de sus principales limitaciones es la baja tasa de supervivencia en campo, que en promedio es de 15-37% de sobrevivencia después del trasplante, pero la mayoría de las veces es de 0% (Pérez-Moreno et al., 2020), y existen escasos ejemplos de un 63% de sobrevivencia en campo (Heras-Marcial et al., 2023). Por lo anterior, es necesaria la incorporación de simbiontes fúngicos ectomicorrízicos que favorezcan la sobrevivencia de las plantas en los sitios de trasplante. En particular, resulta relevante aplicar especies comestibles que se distribuyen de manera natural en las áreas a reforestar, ya que constituyen un recurso forestal no maderable con potencial de aprovechamiento por las comunidades aledañas como alimentos nutraceuticos (Pérez-Moreno et al., 2021; Thomas y Jump, 2023). La combinación de HECM y BPCV en las raíces de las especies forestales producidas en invernadero es crucial para poder incrementar los porcentajes de supervivencia de las plantas hospederas (Pérez-Moreno et al., 2020).

En la presente investigación se evaluó el efecto de la inoculación con un hongo ectomicorrízico comestible solo y en combinación con una cepa bacteriana, en términos de crecimiento, fisiología y contenido nutrimental en plantas de *Pinus ayacahuite*. Hasta donde conocemos

este es el primer trabajo de investigación que estudia la interacción *Suillus placidus* (Bonord.) Singer-*P. ayacahuite* y *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963.

Materiales y Métodos

Material biológico y preparación de inóculo

Las semillas utilizadas de *Pinus ayacahuite* provienen de los bosques del Monte Tláloc, Texcoco de Mora, Estado de México, México, las cuales se desinfectaron con una solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% de concentración durante 20 minutos. El inóculo se obtuvo a partir del himenio molido de los píleos de *Suillus placidus*, provenientes de un bosque de pino establecido en la localidad de San Miguel, municipio San Miguel Mixtepec, distrito de Zimatlán de Álvarez, Oaxaca, México. Los himenios se molieron en un molino eléctrico (Osterizer clásica®, modelo 465-42, Chicago, EUA) con agua destilada estéril en proporción 1:1. El inóculo se almacenó en un refrigerador (Mabe®, modelo RMA230, Guajajuato, México) a 5 °C hasta que fue utilizado.

Los hongos empleados fueron descritos macro- y micromorfológicamente. Las características coincidieron con la descripción de los ejemplares tipo (Singer, 1975), píleo de 30 a 65 mm de ancho, convexo, casi plano en estado maduro, con superficie viscosa, lisa, marrón a marrón rojizo. El himenóforo presentó poros color blanco a crema y en madurez amarillentos, estípite de 30 a 60 mm de largo, superficie con glándulas marrón oscuro, esporas subfusiformes de 6 a 8 μm largo $\times$ 3 a 4 μm de ancho, lisas de color marrón.

Se preparó sustrato para la siembra de las semillas de pino el cual consistió en una mezcla de arena, corteza de pino y suelo mineral en una proporción 2:2:1. Dicho sustrato se esterilizó en un autoclave (AIL AMERICAN, Pressure sterilizer model No. 1925X, Cd. Mx., México) en tres ocasiones con vapor de agua a una presión de 1.3 kg/cm² a 125 °C durante 5 h. Se sembraron tres semillas por tubete de plástico negro de 140 ml, previamente desinfectado con alcohol 96°, que contenían el sustrato descrito. Simultáneamente a la siembra se aplicó 20 ml de inóculo líquido, el cual contenía una concentración de 1.0×10^8 esporas $\times$ ml de *S. placidus*, determinadas en una cámara de Neubauer improved CE (ISOLAB, Laborgeräte GmbH, Eschau, Alemania) siguiendo los métodos de Arteaga-León et al. (2018).



La cepa bacteriana promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* OLSAu1 (Pa) utilizada en el ensayo fue proporcionada por el Laboratorio de Microbiología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo con número de acceso en GenBank JAVGXC000000000. El material fue aislado a partir de un esporoma de *Lactarius salmonicolor* R. Heim & Leclair, proveniente del Monte Tláloc, Texcoco de Mora, Estado de México, México, el cual es un hongo ectomicorrízico comestible. Esta cepa tiene la capacidad de solubilizar fosfato, producir indoles, e inhibir el crecimiento de *Rhizoctonia* sp., un hongo patógeno del cultivo de chile (Pineda-Mendoza et al., 2019; Ramírez-Mendoza et al., 2023). La cepa se cultivó en caldo nutritivo Merck® en frascos de vidrio de 450 ml y se mantuvo en agitación constante a 28 °C (AMEREX INSTRUMENTS, Inc. Steady shake 757, Illinois, EUA) hasta alcanzar una concentración de 1.37×10^8 UFC/ml⁻¹. El cultivo bacteriano obtenido se centrifugó (Sigma, Modelo 2-16KL, Osterode am Harz, Alemania) a 7000 rpm para eliminar el sobrenadante (caldo nutritivo). El concentrado bacteriano obtenido se lavó con agua destilada estéril para eliminar los restos del medio de cultivo y se resuspendió en agua destilada estéril para dejarlo a una concentración de 1.37×10^8 UFC/ml⁻¹.

Noventa días después de la siembra e inoculación con el hongo ectomicorrízico y emergencia de las semillas, se efectuó la aplicación de 2 ml de la suspensión bacteriana a cada planta en las primeras horas del día, siguiendo la metodología descrita por Barragán-Soriano et al. (2018; 2022). Se realizó una modificación del tiempo de inoculación de la bacteria de 10 y 30 días con resultados similares, para reforzar la interacción positiva de la simbiosis ya establecida (Frey-Klett et al., 2007). Ninguna de las plantas tuvo fertilización adicional. Posteriormente, se efectuaron riegos cada tercer día durante toda la duración del bioensayo.

El experimento se mantuvo durante 570 días en un invernadero ubicado en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, con una temperatura media de 27 °C ± 1 y una humedad constante (HR $\geq$ 80%); su registro se obtuvo con un Data logger (Elitech®, Cd. Mx., México).

Variables morfológicas

A los 570 días después de la inoculación (ddi) (dado que *P. ayacahuite* es de lento crecimiento), a todas las unidades experimentales se les midió la altura total (cm), con una regla métrica (WESTCOTT, H-6560, Monterrey, México) graduada en cm, a partir del cuello de la raíz y hasta el ápice de cada planta y el diámetro al cuello de la raíz (mm) se midió con un Vernier digital (Keatronic®, Tokio, Japón). La biomasa de la parte radical, aérea y total se determinó en 10 plantas seleccionadas al azar por tratamiento. Cada componente por separado fue deshidratado en un horno de secado (RIOSSA DIGITAL, Modelo Jouan EUSS ELTS SN, E71, Cd. Mx., México), durante tres días a 70 °C o hasta lograr peso constante.

Variables fisiológicas

La tasa fotosintética se evaluó con un medidor de CO₂ portátil (Modelo telaire7001, marca Spectrum Technologies, Chicago, EUA). La medición se realizó en el invernadero donde se mantuvo el experimento en un horario de 8:00-12:00, cuando las tasas fotosintéticas presentan sus valores máximos (Barragán-Soriano et al., 2022).

La transpiración se evaluó por el método gravimétrico. Primeramente, se realizó un riego a las plantas por la mañana a capacidad de campo. Cada tubete se colocó en una bolsa la cual se selló en el cuello de la raíz para evitar que el agua se evaporara directamente del suelo. Posteriormente, se pesaron los tubetes en una báscula digital (SANTORIUS, MOD. E61 A, C210S, Ann Arbor, EUA); 12 horas después de la primera medición se volvieron a pesar (Dwyer et al., 1987; Dixon et al., 2023). La diferencia de peso fue la cantidad de agua que transpiró la planta en ese periodo. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

El contenido de los pigmentos fotosintéticos se midió utilizando un espectrofotómetro (Hewlett Packard® MOD. 8453, New Jersey, EUA), se pesaron 0.05 g de acículas. Estas hojas se cortaron en pequeños trozos, se colocaron en un mortero y fueron maceradas con 10 ml de acetona. La solución obtenida se colocó en una celda de cuarzo de 3.5 ml para su análisis (Zhang, 1986). Las lecturas de absorbancia se realizaron en las longitudes de onda: 663, 674 y 470 nm. La concentración de clorofilas y carotenos se obtuvieron



mediante las ecuaciones de Lichtenthaler (1987). Todo el procedimiento se realizó en condiciones de escasa luminosidad. Las 10 plantas utilizadas para medir la tasa fotosintética y la transpiración fueron las mismas que las utilizadas para evaluar las clorofilas y carotenos.

Análisis nutrimental

El análisis nutrimental se realizó a partir de una muestra compuesta del peso seco de la parte aérea y de la parte radical de las plantas. El método de Dumas fue usado para obtener el nitrógeno (N; Bremner, 1975). La concentración de los otros minerales como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), níquel (Ni) y molibdeno (Mo) fueron determinados por digestión ácida multielemental de acuerdo con el método AOAC 2006.03 (Allen et al., 1997).

Colonización micorrízica

La colonización micorrízica se evaluó mediante las técnicas propuestas por Agerer (1994) y Martínez-Reyes et al. (2012), las cuales consisten en analizar las raíces de todo el cepellón por segmentos. Las raíces se lavaron con agua corriente a través de tamices de 1.19, 0.180 y 0.050 mm de apertura para evitar la pérdida de raíces. El recuento de raíces micorrizadas, no micorrizadas y raíces muertas se realizó con un microscopio estereoscopio (Leica®, 8151934, DM1000, New Jersey, EUA). El porcentaje de micorrización se calculó como la relación entre las raíces ectomicorrizadas y el número total de raíces observadas de cada planta. Las raíces micorrizadas fueron evaluadas en un microscopio óptico (Leica®, 8151944, DM1000, New Jersey, EUA) para identificar las estructuras diagnósticas de la ectomicorriza, incluyendo el manto, la red de Hartig y el micelio externo. Los morfotipos se caracterizaron siguiendo la metodología estándar publicada en el sistema de información para la caracterización y determinación de ectomicorrizas (Agerer y Rambold, 2004). La persistencia del hongo ectomicorrízico *S. placidus* se comprobó mediante la caracterización morfoanatómica de los morfotipos encontrados al final del experimento. Adicionalmente se efectuó el aislamiento de la bacteria inoculada en los tratamientos donde había sido adicionada y se comprobó su presencia mediante el méto-

do directo por conteo de colonias crecidas en cajas Petri con medio Agar Nutritivo (BD BIOXON®) en cada tratamiento siguiendo la metodología propuesta por Ramírez-Gama et al. (2011). Posteriormente se realizó la descripción morfológica y microscópica de las colonias de la cepa (Ramírez-Gama et al., 2011).

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se diseñó en bloques al azar con los siguientes tratamientos: 1) plantas sin inocular (Pni), 2) plantas inoculadas con *S. placidus* (Sp), 3) plantas inoculadas con *S. placidus* + *P. azotoformans* (Sp+Pa) y 4) plantas inoculadas con *P. azotoformans* (Pa). Cada tratamiento tuvo 20 réplicas. En total se tuvieron 80 unidades experimentales, cada una constituida por una planta. Las variables de respuesta evaluadas fueron la altura, diámetro del tallo, biomasa de la parte aérea, radical y total, tasa fotosintética, transpiración, clorofila a y b, carotenos; así como contenido de N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Ni y Mo en parte aérea, radical y total. Los datos de dichas variables se sometieron a una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk, $\alpha=0.01$) y posteriormente cuando se corroboró dicho criterio, se realizó un análisis de varianza (ANOVA, $\alpha=0.05$) de una vía, la cual comprobó que al menos un tratamiento produjo un cambio en la media de cada variable de respuesta evaluada respecto a las demás. Posteriormente se efectuó una prueba de comparación de medias de Tukey ($p\leq 0.05$) con el paquete estadístico Statistical Analysis System v. 9.00 (SAS, 2004), para cada variable de respuesta evaluada. En el caso de los valores de colonización micorrízica expresados como porcentajes, se transformaron mediante la fórmula $V(\% \text{colonización} + 0.5)$ (Alves et al., 2010).

Resultados

Variables morfológicas

Todas las variables morfológicas analizadas (altura, diámetro, peso seco de la parte aérea, raíz y total) mostraron diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, $p\leq 0.0001$, Cuadro S1; prueba de Tukey, $p\leq 0.0001$; Cuadro 1, S2. En general, las plantas inoculadas con *S. placidus* y aquellas coinoculadas con *S. placidus* + *P. azotoformans* presentaron mayores valores en altura, diámetro y peso seco en la parte aérea, en comparación con las plantas no inoculadas y las



Cuadro 1: Altura, diámetro del tallo y peso seco en plantas de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., inoculadas o no con un hongo ectomicorrízico comestible *Suillus placidus* (Bonord.) Singer y una bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1, 570 días después de la inoculación. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n=20$) para altura y diámetro del tallo, y ($n=10$) para peso seco de la parte aérea, raíz y total. Los valores con letra igual en la misma columna son estadísticamente equivalentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tratamientos	Peso seco (g)				
	Altura (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Parte aérea	Raíz	Total
Plantas sin inocular	10.08 $\pm$ 0.32c	2.04 $\pm$ 0.08c	0.53 $\pm$ 0.00c	0.40 $\pm$ 0.00d	0.93 $\pm$ 0.01c
<i>Suillus placidus</i> (Bonord.) Singer	18.83 $\pm$ 1.18a	3.35 $\pm$ 0.06a	2.95 $\pm$ 0.02a	1.70 $\pm$ 0.01b	4.65 $\pm$ 0.03a
<i>Pseudomonas azotoformans</i> Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1	14.67 $\pm$ 0.41b	2.84 $\pm$ 0.11b	1.01 $\pm$ 0.01b	0.66 $\pm$ 0.01c	1.68 $\pm$ 0.01b
<i>Suillus placidus</i> + <i>Pseudomonas azotoformans</i>	17.57 $\pm$ 0.65a	3.21 $\pm$ 0.05a	2.72 $\pm$ 0.02a	1.85 $\pm$ 0.02a	4.58 $\pm$ 0.04a

inoculadas únicamente con *P. azotoformans* (Fig. 1A). El mayor peso seco de la raíz fue registrado en el tratamiento Sp + Pa (prueba de Tukey, $p \leq 0.0001$; Cuadro 1, S2).

Variables fisiológicas

Todas las variables fisiológicas analizadas (tasa fotosintética, transpiración y contenido de pigmentos fotosintéticos) mostraron diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, $p \leq 0.0001$; Cuadro S3; prueba de Tukey, $p \leq 0.0001$; Cuadros 2, 3, S4). En general, las plantas inoculadas con *S. placidus* y aquellas coinoculadas con *S. placidus* + *P. azotoformans* presentaron los valores más altos en comparación con las plantas no inoculadas y las inoculadas únicamente con la bacteria (prueba de Tukey, $p \leq 0.0001$; Cuadros 2, 3, S4).

Análisis nutrimental

Se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de todos los macronutrientes evaluados, en tejido aéreo, radical y total, entre los distintos tratamientos (ANOVA, $p \leq 0.0001$; Cuadro S5). En general, los análisis post-hoc (prueba de Tukey, $p \leq 0.0001$; Cuadro 4, S6) revelaron que las plantas inoculadas con *S. placidus*, así como aquellas coinoculadas con *S. placidus* y *P. azotoformans*, presentaron los valores más altos en comparación con las plantas no inoculadas y aquellas inoculadas solo con *P. azotoformans*.

Una tendencia similar se observó en el caso de los micronutrientes. Estos también mostraron diferencias significativas entre tratamientos en todos los compartimentos vegetales analizados (aéreo, radical y total; ANOVA, $p \leq 0.05$;

Cuadro 2: Tasa fotosintética y transpiración de plantas de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., inoculadas o no con un hongo ectomicorrízico comestible *Suillus placidus* (Bonord.) Singer (Sp) y una bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1 (Pa), 570 días después de la inoculación. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n=10$). Los valores con letra igual en la misma columna son estadísticamente equivalentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tratamientos	Tasa fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)	Transpiración (g)
Plantas sin inocular	1.15 $\pm$ 0.00c	1.20 $\pm$ 0.20c
<i>Suillus placidus</i> (Bonord.) Singer (Sp)	11.03 $\pm$ 0.33a	5.60 $\pm$ 0.40 a
<i>Pseudomonas azotoformans</i> Lizuka & Komagata OLSAu1 (Pa)	4.66 $\pm$ 0.21b	2.40 $\pm$ 0.24b
<i>Suillus placidus</i> + <i>Pseudomonas azotoformans</i>	10.95 $\pm$ 0.36a	5.80 $\pm$ 0.20a

Cuadro S7). En general, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$; Cuadro 5, S8), los tratamientos con *S. placidus* y la coinoculación Sp + Pa registraron un mayor contenido de todos los micronutrientes evaluados, en contraste con las plantas control y las inoculadas únicamente con *P. azotoformans*.

Colonización ectomicorrízica

Se observaron diferencias significativas en el porcentaje de colonización ectomicorrízica entre todos los tratamien-



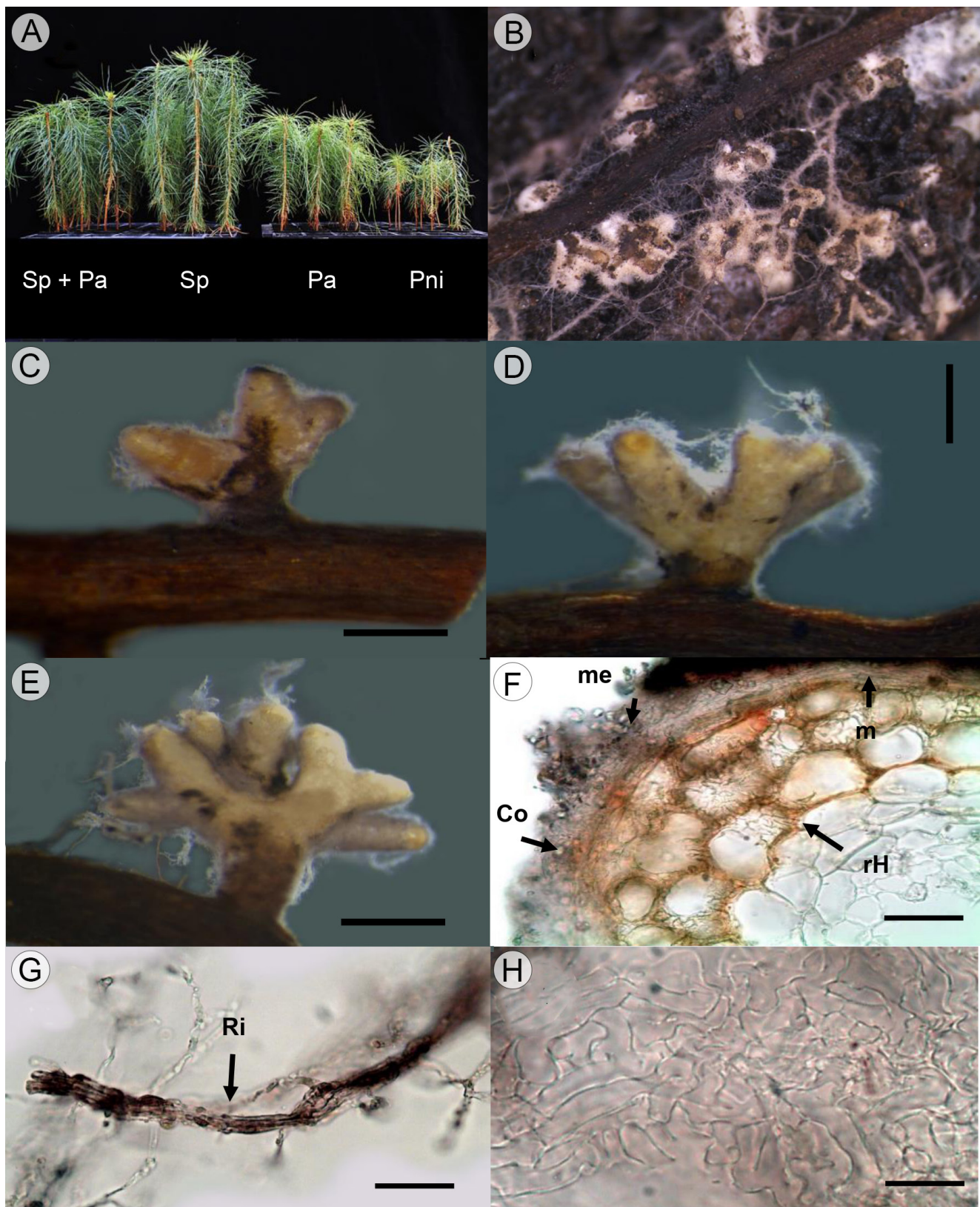


Figura 1: Imágenes generales del experimento. A. efecto de la inoculación sola o combinada de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. con el hongo comestible ectomicorrízico *Suillus placidus* (Bonord.) Singer (Sp) y la bacteria *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1 (Pa) en comparación con plantas no inoculadas (Pni) después de 570 días; B. raíces micorrizadas de *P. ayacahuite* con Sp; C. morfotipo dicotómico en estadio joven de Sp; D. morfotipo característico de *S. placidus* con presencia de rizomorfos; E. morfotipo en estadio maduro tipo coraloide; F. corte transversal de raíz con las estructuras diagnósticas de una raíz ectomicorrizada; G. microscopía de un rizomorfo; H. manto plectenquimatoso. rH=red de Hartig, m=manto, me=micelio externo, Co=cristales de oxalato, Ri=rizomorfo. Barras negras=2 mm (C-E), 10 µm (F-H).

Cuadro 3: Contenido de clorofila a, b, total y carotenos en plantas de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. inoculadas o no con un hongo ectomicorrízico comestible *Suillus placidus* (Bonord.) Singer y una bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1, 570 días después de la inoculación. Los datos son medias $\pm$ error estándar (n=10). Los valores con letra igual en la misma columna son estadísticamente equivalentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tratamientos	Clorofilas (mg/g ⁻¹)			Carotenos (mg/g ⁻¹)
	a	b	Total	
Plantas sin inocular	2.62 $\pm$ 0.01c	2.16 $\pm$ 0.02c	2.09 $\pm$ 0.00d	0.66 $\pm$ 0.00c
<i>Suillus placidus</i> (Bonord.) Singer	7.52 $\pm$ 0.06a	4.53 $\pm$ 0.08a	5.72 $\pm$ 0.03a	1.77 $\pm$ 0.14 a
<i>Pseudomonas azotoformans</i> Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1	3.26 $\pm$ 0.03b	2.96 $\pm$ 0.01b	2.64 $\pm$ 0.02c	1.01 $\pm$ 0.06b
<i>Suillus placidus</i> + <i>Pseudomonas azotoformans</i>	7.15 $\pm$ 0.02a	4.55 $\pm$ 0.05a	5.46 $\pm$ 0.02b	1.52 $\pm$ 0.02a

Cuadro 4: Contenido de macronutrientes en la parte aérea, raíz y total de plantas de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., inoculadas o no con un hongo ectomicorrízico comestible *Suillus placidus* (Bonord.) Singer y una bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1, 570 días después de la inoculación. Los datos son medias $\pm$ error estándar (n=10). Los valores con letra igual en la misma columna son estadísticamente equivalentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Sp=*Suillus placidus*; Pa=*Pseudomonas azotoformans*.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
mg por planta							
Parte aérea							
Plantas sin inocular	2.88 $\pm$ 0.04d	0.26 $\pm$ 0.00d	1.71 $\pm$ 0.02d	3.16 $\pm$ 0.05d	1.23 $\pm$ 0.02d	0.59 $\pm$ 0.01d	0.43 $\pm$ 0.01d
<i>Suillus placidus</i> (Bonord.) Singer	25.40 $\pm$ 0.17a	3.24 $\pm$ 0.02a	18.31 $\pm$ 0.13a	16.84 $\pm$ 0.12a	11.52 $\pm$ 0.08a	4.43 $\pm$ 0.03a	0.89 $\pm$ 0.01b
<i>Pseudomonas azotoformans</i> Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1	5.80 $\pm$ 0.06c	0.40 $\pm$ 0.00c	2.85 $\pm$ 0.03c	6.83 $\pm$ 0.08c	3.26 $\pm$ 0.04c	1.32 $\pm$ 0.02c	0.61 $\pm$ 0.01c
Sp + Pa	22.13 $\pm$ 0.65b	2.45 $\pm$ 0.03b	14.19 $\pm$ 0.16b	11.18 $\pm$ 0.12b	9.00 $\pm$ 0.10b	3.82 $\pm$ 0.04b	1.09 $\pm$ 0.01a
Raíz							
Plantas sin inocular	1.68 $\pm$ 0.02c	0.12 $\pm$ 0.00c	0.88 $\pm$ 0.01d	2.77 $\pm$ 0.04d	0.84 $\pm$ 0.01d	0.36 $\pm$ 0.01d	1.25 $\pm$ 0.02d
Sp	14.68 $\pm$ 0.20a	1.67 $\pm$ 0.02a	9.67 $\pm$ 0.13b	21.38 $\pm$ 0.30a	6.88 $\pm$ 0.10a	3.16 $\pm$ 0.04a	4.46 $\pm$ 0.06a
Pa	3.63 $\pm$ 0.10b	0.19 $\pm$ 0.01b	1.39 $\pm$ 0.04c	6.15 $\pm$ 0.17c	2.05 $\pm$ 0.06c	0.86 $\pm$ 0.02c	1.98 $\pm$ 0.05c
Sp + Pa	15.66 $\pm$ 0.13a	1.70 $\pm$ 0.01a	11.58 $\pm$ 0.10a	18.90 $\pm$ 0.16b	6.13 $\pm$ 0.05b	2.72 $\pm$ 0.02b	3.58 $\pm$ 0.03b
Total							
Plantas sin inocular	4.57 $\pm$ 0.05d	0.38 $\pm$ 0.00d	2.59 $\pm$ 0.03d	5.93 $\pm$ 0.07d	2.07 $\pm$ 0.02d	0.95 $\pm$ 0.01d	1.68 $\pm$ 0.02d
Sp	40.09 $\pm$ 0.26a	4.92 $\pm$ 0.03a	27.98 $\pm$ 0.18a	38.22 $\pm$ 0.32a	18.40 $\pm$ 0.12a	7.59 $\pm$ 0.05a	5.35 $\pm$ 0.06a
Pa	9.44 $\pm$ 0.10c	0.60 $\pm$ 0.01c	4.24 $\pm$ 0.04c	12.97 $\pm$ 0.17c	5.31 $\pm$ 0.06c	2.18 $\pm$ 0.02c	2.59 $\pm$ 0.05c
Sp + Pa	37.79 $\pm$ 0.62b	4.16 $\pm$ 0.03b	25.77 $\pm$ 0.20b	30.09 $\pm$ 0.23cb	15.13 $\pm$ 0.12b	6.54 $\pm$ 0.05b	4.67 $\pm$ 0.04d

tos (ANOVA, $p \leq 0.0001$; Cuadro S9). Los análisis post-hoc (prueba de Tukey, $p \leq 0.0001$; Cuadro S10, Fig. 2) identificaron que los tratamientos inoculados con *S. placidus*, así como la coinoculación Sp + Pa, establecieron altas colo-

nizaciones micorrízicas, cercanas al 100%. Estos valores fueron significativamente superiores a los registrados en las plantas no inoculadas y en aquellas inoculadas exclusivamente con *P. azotoformans*.



Cuadro 5: Contenido de micronutrientes en la parte aérea, raíz y total de plantas de *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. inoculadas o no con un hongo ectomicorrízico comestible *Suillus placidus* (Bonord.) Singer y una bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1, 570 días después de la inoculación. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n=10$). Los valores con letra igual en la misma columna son estadísticamente equivalentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Sp=*Suillus placidus*; Pa=*Pseudomonas azotoformans*.

Tratamiento	Fe	Zn	Mn	Cu	B	Ni	Mo
mg por planta							
Parte aérea							
<i>Suillus placidus</i> (Bonord.) Singer (Sp)	0.66 $\pm$ 0.00a	0.11 $\pm$ 0.00a	1.82 $\pm$ 0.01a	0.01 $\pm$ 0.00a	0.16 $\pm$ 0.00a	0.004 $\pm$ 0.00a	0.006 $\pm$ 0.00a
<i>Pseudomonas azotoformans</i> Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1 (Pa)	0.07 $\pm$ 0.00c	0.04 $\pm$ 0.00c	0.55 $\pm$ 0.01c	0.003 $\pm$ 0.00c	0.06 $\pm$ 0.00c	0.001 $\pm$ 0.00c	0.001 $\pm$ 0.00c
Sp + Pa	0.55 $\pm$ 0.01b	0.13 $\pm$ 0.00a	1.65 $\pm$ 0.02b	0.007 $\pm$ 0.00b	0.09 $\pm$ 0.00b	0.003 $\pm$ 0.00b	0.001 $\pm$ 0.00b
Raíz							
Plantas sin inocular	0.41 $\pm$ 0.01d	0.02 $\pm$ 0.00d	0.03 $\pm$ 0.00d	0.01 $\pm$ 0.00b	0.01 $\pm$ 0.00d	0.00 $\pm$ 0.00b	0.001 $\pm$ 0.00d
Sp	3.64 $\pm$ 0.05a	0.09 $\pm$ 0.00a	0.28 $\pm$ 0.00a	0.03 $\pm$ 0.00a	0.05 $\pm$ 0.00a	0.007 $\pm$ 0.00a	0.004 $\pm$ 0.00a
Pa	0.61 $\pm$ 0.02c	0.04 $\pm$ 0.00c	0.06 $\pm$ 0.00c	0.01 $\pm$ 0.00b	0.02 $\pm$ 0.00c	0.001 $\pm$ 0.00b	0.001 $\pm$ 0.00c
Sp + Pa	3.24 $\pm$ 0.03b	0.08 $\pm$ 0.00a	0.29 $\pm$ 0.00a	0.02 $\pm$ 0.00a	0.05 $\pm$ 0.00b	0.007 $\pm$ 0.00a	0.003 $\pm$ 0.00b
Total							
Plantas sin inocular	0.49 $\pm$ 0.01d	0.04 $\pm$ 0.00c	0.40 $\pm$ 0.01d	0.01 $\pm$ 0.00d	0.05 $\pm$ 0.00d	0.002 $\pm$ 0.00c	0.001 $\pm$ 0.00d
Sp	4.29 $\pm$ 0.05a	0.20 $\pm$ 0.00a	2.10 $\pm$ 0.01a	0.04 $\pm$ 0.00a	0.21 $\pm$ 0.00a	0.011 $\pm$ 0.00a	0.010 $\pm$ 0.00a
Pa	0.68 $\pm$ 0.02c	0.08 $\pm$ 0.00b	0.61 $\pm$ 0.01c	0.01 $\pm$ 0.00c	0.08 $\pm$ 0.00c	0.002 $\pm$ 0.00c	0.002 $\pm$ 0.00c
Sp + Pa	3.79 $\pm$ 0.03b	0.21 $\pm$ 0.00a	1.94 $\pm$ 0.02b	0.03 $\pm$ 0.00b	0.14 $\pm$ 0.00b	0.009 $\pm$ 0.00b	0.005 $\pm$ 0.00b

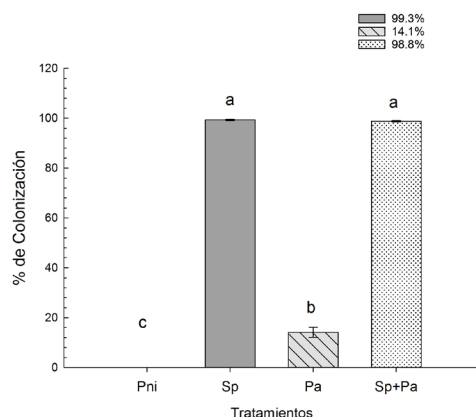


Figura 2: Porcentaje de colonización en *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl. inoculadas o coinoculadas con el hongo comestible ectomicorrízico *Suillus placidus* (Bonord.) Singer y una bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas azotoformans* Lizuka & Komagata, 1963, OLSAu1, micorrización, 570 días después de la inoculación. Pni=Plantas sin inocular; Sp=*Suillus placidus*; Pa=*Pseudomonas azotoformans*. Los datos son medias $\pm$ error estándar ($n=10$). Los valores con letra igual en la misma columna son estadísticamente equivalentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Las raíces ectomicorrizadas solo presentaron morfotipos característicos del género *Suillus*, la ramificación fue dicotómica y coraloide (Fig. 1B). En estadio joven las terminaciones no ramificadas fueron rectas con una longitud de 1 mm y 0.4 mm de diámetro, de color blanco con abundante micelio externo; en los morfotipos dicotómicos la base fue de 0.5 mm de longitud y 0.5 mm de diámetro, con ápices de 0.2 mm (Fig. 1C). En estadio maduro las ramificaciones fueron coraloideas de 15 a 40 ápices por morfotipo, con longitudes de 0.2 mm con ápices cilíndricos, la base fue de 0.4 mm de longitud al igual que el diámetro, de color blanquecino por la abundancia de micelio algodonoso, y al madurar se torna blanco rojizo (Fig. 1D, E, F); además de abundantes rizomorfos de color blanco, con tipo de exploración de larga distancia (Fig. 1G). La organización del manto fue plectenquimatoso (Fig. 1H) midiendo de 2 a 3 micras de grosor. En el corte transversal de la raíz micorrizada se observaron hifas emanantes abun-



dantes y la red de Hartig cubrió por completo las células corticales logrando penetrar tres capas, con presencia de cristales de oxalato (Fig. 1F).

Discusión

Variables morfológicas

Suillus placidus solo o combinado con *P. azotoformans* incrementó las variables de crecimiento evaluadas, demostrando que existe compatibilidad genética entre este micobionte y *Pinus ayacahuite*. Trabajos previos han demostrado la importancia de la búsqueda de compatibilidad entre simbiontes vegetales, fúngicos y bacterianos (Domínguez-Núñez et al., 2015; Alori et al., 2017; Barragán-Soriano et al., 2022). En este trabajo se estudia por primera ocasión la relación tripartita entre estas especies. En esta investigación las plantas inoculadas y coinoculadas presentaron valores dos veces mayores en términos de altura, diámetro y peso seco de la biomasa y parte radical en comparación con las plantas no inoculadas. Los parámetros de vigor (altura y diámetro ϕ) que debe cumplir una planta para ser considerada de calidad es tener al menos de 15-20 cm de altura y un diámetro de 3-5 cm (Prieto et al., 2009; Sáenz-Reyes et al., 2014), valores similares a los que se obtuvieron en este trabajo (18.33 altura y 3.35 ϕ).

El efecto sinérgico cuando se inoculó el hongo y la bacteria estuvo ausente. Sin embargo, se observó un incremento en las variables evaluadas con respecto a las plantas no inoculadas cuando se inoculó solo con la bacteria, demostrando un efecto benéfico de la misma. La carencia de efecto sinérgico observada podría deberse a las variaciones inter e intraespecíficas cuando se inoculan hongos ECM con BPCV, debido a la enorme variabilidad genética entre especies e incluso entre cepas pertenecientes a una misma especie (Afkhami et al., 2020; Mangeot-Peter et al., 2020). A diferencia de los hongos ectomicorrízicos, las bacterias en algunas ocasiones establecen una relación menos duradera con sus plantas hospedantes (Khan et al., 2007; Mosimann et al., 2017). Otra causa por la que el hongo, comparado con la bacteria, pudo haber superado los efectos benéficos puede deberse a que los hongos producen más ácidos orgánicos y mediante su abundante sistema hifal pueden explorar mayor superficie de suelo para la obtención de los nutrientes y agua (Sharma Serma et al., 2013; Alori et al., 2017).

Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas como la fotosíntesis, contenido de clorofilas a, b y carotenos y transpiración incrementaron hasta 9.0; 2.8; 2.0; 2.6 y 4.8 veces más, respectivamente, en las plantas inoculadas con Sp y en combinación con la bacteria, en comparación con las plantas no inoculadas. Algunos estudios han registrado resultados similares. Por ejemplo, Zhu et al. (2018) reportaron que la inoculación de hongos micorrízicos puede mejorar la tasa fotosintética y la tasa de transpiración de plantas hospedantes, sobre todo bajo estrés hídrico. Barragán-Soriano et al. (2018) evaluaron el hongo ECM *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Quél. (Hm) solo y en combinación con *Cohnella* sp. CPT10 (C) y *Azospirillum brasilense* Tarrand et al., 1978 (Ab) en *Pinus montezumae* Lamb. Estos autores registraron un incremento cuatro veces mayor en fotosíntesis en aquellas plantas coinoculadas con el hongo Hm más la bacteria *A. brasilense* a los 360 días, e incrementos de clorofilas a, b y carotenos en el tratamiento Hm+C en comparación con las plantas sin inóculo o solo las bacterias. También se han reportado aumentos en la tasa fotosintética en plantas inoculadas solo con los hongos ectomicorrízicos. Por ejemplo, Wang et al. (2021) registraron que plantas de *Pinus tabulaeformis* Carrière inoculadas con *Suillus variegatus* (Sw.) Richon & Roze, aumentaron su tasa fotosintética en 100% y la tasa de transpiración en 67% en comparación con plantas sin inocular. Xu et al. (2015) al inocular *Laccaria bicolor* (Maire) P.D. Orton. en *Picea glauca* (Moench) Voss obtuvieron una mayor tasa fotosintética y de transpiración; en esta última con una eficiencia de 160% más de capacidad en el transporte de agua debido a la acuaporina JQ585595 en comparación con el tratamiento testigo. Szuba et al. (2019) inocularon plantas de *Populus canescens* (Aiton) Sm. con el hongo ectomicorrízico *Paxillus involutus* (Batsch) Fr. registraron aumentos de clorofila a y b de 1.67 veces más que las plantas sin inocular.

Contenido nutrimental

En este estudio, las plantas inoculadas con *S. placidus* presentaron las concentraciones más altas de macronutrientes (N, P, K, Ca, S y Mg) y de micronutrientes (Fe y Mn), tanto en la parte aérea como en el sistema radical. En segundo lugar, se ubicaron las plantas coinoculadas con la bacteria, mientras que las menores concentraciones se observaron en



las plantas no inoculadas. El tratamiento con solo la bacteria también mostró aumentos en los macronutrientes mencionados. Si bien ambos microorganismos poseen mecanismos similares para la mineralización y obtención de nutrientes del suelo, el hongo posee mecanismos efectivos que influyen en una mayor producción de ácidos orgánicos. Además, debido a sus hifas estos pueden explorar mayor superficie de suelo para la obtención de los macro y micronutrientes importantes para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Sharma-Serma et al., 2013; Alori et al., 2017).

Colonización micorrízica

Los sistemas radicales de las plantas inoculadas de *Pinus ayacahuite* con *S. placidus* solo y coinoculado con la bacteria *P. azotoformans*, mostraron altos porcentajes de micorrización. Distintos estudios han reportado el efecto positivo que se obtiene a partir de la inoculación con hongos ectomicorrízicos; sin embargo, existen pocos estudios de la coinoculación con bacterias BPCV. En este trabajo se presenta por primera ocasión la colonización ectomicorrízica de *P. ayacahuite* con el basidiomiceto *S. placidus* y *P. azotoformans*. Los resultados muestran que el porcentaje (99.81%) de micorrización es alto, valor que excede ampliamente el estándar requerido para considerarse una planta de calidad y poder ser trasplantada a campo, la cual debe tener de 25-35% de micorrización (Wang y Hall, 2004). La caracterización morfoanatómica de las ectomicorrizas encontradas concuerdan con los caracteres descritos previamente para el género *Suillus*. Garibay-Orijel et al. (2013) describieron a *S. pungens* y *S. pseudobrevipes* A.H. Sm. & Thiers en *P. montezumae* con micorrizas de tipo monopodial, dicotómico y coraloide, de color blanco a café rojizo en la madurez y la secuenciación molecular mostró 98.4% y 99.5% de similitud respectivamente con las especies. Pérez-Pazos et al. (2021) describieron a *S. glanulatus* (Peck) Singer y *S. punctatipes* (Snell y E.A. Dick) Singer en árboles de *Abies* Mill. y *Tsuga* (Endl.) Carrière con micorrizas de tipo coraloides y abundante micelio blanco e hifas emanantes y sin rizomorfos. Rainer et al. (2015) analizaron muestras extraídas de plantaciones realizadas en 1960 de *Pinus cembra* L. inoculados con una mezcla de *S. plorans* (Rolland) Kuntze, *S. sibiricus* (Singer) Singer y *S. placidus*, encontran-

do mayor presencia de este último (57%). Dichos autores reportaron una forma típica similar a un nódulo con una red de rizomorfos extra radicales en las tres especies. Los altos porcentajes obtenidos en el presente trabajo son un indicador del éxito en el establecimiento del hongo ectomicorrízico evaluado en las raíces de las plantas hospederas. Además demostró la alta eficiencia que presenta el hongo ya sea solo o combinado con la bacteria en las plantas inoculadas, al incrementar el crecimiento, nutrición y fisiología de *Pinus ayacahuite*.

Conclusión

Se demostró el efecto benéfico en *Pinus ayacahuite* del hongo ectomicorrízico comestible *Suillus placidus* solo o en combinación con la bacteria *Pseudomonas azotoformans*. Se registraron incrementos cinco veces mayor en ambos tratamientos, tanto en el crecimiento como en el peso seco de la parte aérea, radical y total, en comparación con plantas no inoculadas. En la tasa fotosintética y transpiración, existió un incremento de nueve y cinco veces más, respectivamente; y por consecuencia los contenidos de clorofilas y carotenos también fueron mayores en las plantas inoculadas solo con el hongo ectomicorrízico o en combinación con la bacteria. Los incrementos de los macro y micronutrientes fueron mayores cuando solo se inoculó con el hongo, siendo el N, K, Ca y Mg los más altos, tanto en la parte radical como en la biomasa aérea. En los tratamientos donde se aplicó inoculante de *Suillus placidus* se registraron valores de micorrización de 99%, lo que demuestra la capacidad de establecimiento de dicho micobionte en las raíces de la planta hospedera, independientemente de la coinoculación con la bacteria. La inoculación exclusivamente con la bacteria también presentó efectos benéficos para las plantas hospederas en términos de crecimiento, variables fisiológicas y contenido nutrimental, pero menores que cuando se inoculó con el hongo solo o combinado. Este trabajo demuestra el efecto positivo del micobionte *Suillus placidus* solo o combinado con la bacteria. Sin embargo, no se observaron efectos sinérgicos por la adición de la bacteria. Esta investigación demuestra que *S. placidus* presenta un gran potencial como una alternativa biotecnológica para la producción de plantas de calidad de *Pinus ayacahuite*, una de las especies



de pino más importantes en México al formar parte de los bosques templados y por su uso ornamental en plantaciones de árboles de Navidad, con fines de reforestación y restauración.

Contribución de autores

Conceptualización del estudio: IOL, JPM, MM; Análisis: IOL, MMR, JJAS; Curación de datos: IOL, OAV; Metodología: JPM, MMR; Redacción - borrador original: IOL; Redacción - Revisión y edición: JPM, MMR, IOL, JJAS, MPCs.

Financiamiento

La primera autora agradece el apoyo económico para sus estudios de posgrado por parte de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI); así como del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) a través del “Programa de Investigadoras e Investigadores COMECyT”, clave EESP2024-0094. También se agradece el apoyo financiero para la ejecución de la investigación al Colegio de Postgraduados a través del Proyecto CONV_ENA-SAS_2025_29, y al Proyecto C-SINERGIA-FICDTEM-25-032 del COMECyT.

Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del laboratorio de Micorrizas y del laboratorio de Microbiología de suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, por las facilidades del área de trabajo. Así como a Julieta Serafina Amaya Pérez por el apoyo y facilidad para realizar las colectas de esporas de *Suillus placidus* en su comunidad de San Miguel Mixtepec, Zimatlán, Oaxaca de Juárez. Asimismo, se agradece profundamente Abraham Bibiano Flores por su asistencia técnica en los aspectos estadísticos de este trabajo.

Literatura Citada

- Agerer, R. 1994. Characterization of ectomycorrhizae. In: Norris, J. R., D. J. Read y A. K. Varma (eds.). Techniques for mycorrhizal research. Academic Press. London, UK. Pp. 25-73.
- Agerer, R. y G. Rambold. 2004. DEEMY- An information system for characterization and determination of ectomycorrhizae. Munich, Germany. <http://www.deemy.de> (consultado febrero de 2022).

- Afkhami, M. E., B. K. Almeida, D. J. Hernandez, K. N. Kieseewetter, y D. P. Revillini. 2020. Tripartite mutualisms as models for understanding plant-microbial interactions. Current Opinion in Plant Biology 56: 28-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.02.003>.
- Ahangar, M. A., G. H. Dar y Z. A. Bhat. 2012. Growth response and nutrient uptake of blue pine (*Pinus wallichiana*) seedlings inoculated with rhizosphere microorganisms under temperate nursery conditions. Annals of Forest Research 55(2): 217-227. DOI: <https://doi.org/10.15287/afr.2012.62>
- Allen, S. E., H. M. Grimshaw, J. A. Parkinson y C. Quarmby. 1997. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications. Oxford, USA. 85 pp.
- Alori, E. T., B. R. Glick y O. O. Babalola. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. Frontiers in Microbiology 8: 971. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Alves, L., V. L. Oliveira y G. N. Silva Filho. 2010. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. Brazilian Journal of Microbiology 41(3): 676-684. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000300018>
- Araújo, G. C., N. R. Sousa, M. A. Ramos, A. L. Vega y P. M. L. Castro. 2018. Performance of *Quercus suber* L. at nursery stage-application of two bio-inoculants under two distinct environments. Annals of Forest Science 75(1): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0700-3>
- Arteaga-León, C., J. Pérez-Moreno, D. Espinosa-Victoria, J. J. Almaraz-Suárez, H. Silva Rojas y A. Delgado-Alvarado. 2018. Ectomycorrhizal inoculation with edible fungi increases plant growth and nutrient contents of *Pinus ayacahuite*. Revista Mexicana de Biodiversidad 89(4): 1089-1099. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.4.2235>
- Barragán-Soriano, J. L., J. Pérez-Moreno, J. J. Almaraz-Suárez, M. G. Carcaño-Montiel y K. I. Medrano-Ortiz. 2018. Inoculation with an edible ectomycorrhizal fungus and bacteria increases growth and improves the physiological quality of *Pinus montezumae* Lamb. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 24(1): 5-16. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.chscfa.2017.01.010>
- Barragán-Soriano, J. L., J. Pérez-Moreno, J. J. Almaraz-Suárez, M. G. Carcaño-Montiel, J. Delgadillo-Martínez, V. M. Cetina-Alcalá y G. Mata. 2022. Coinoculación de *Pinus montezumae* (Pinaceae) con un hongo comestible ectomicorrízico y



- bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Acta Botanica Mexicana* 129: e2024. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2024>
- Berrios, L., J. Yeom, L. Holm, W. Robinson, P. T. Pellitier, M. L. Chin, T. W. Henkel y K. G. Peay. 2023. Positive interactions between mycorrhizal fungi and bacteria are widespread and benefit plant growth. *Current Biology* 33(14): 2878-2887. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.010>
- Bremner, J. M. 1975. Total Nitrogen. In: Black, C. A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Agronomy Part 2*. American Society of Agronomy. Madison, USA. Pp. 1149-1178.
- Brundrett, M., C. 2017. Global diversity and importance of mycorrhizal and nonmycorrhizal plants. In: Tedersoo, L. (ed.). *Biogeography of Mycorrhizal Symbiosis. Ecological Studies*, Vol. 230. Springer. Cham, Switzerland. Pp. 533-556. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-56363-3_21
- CONAFOR. 2013a. Árboles de Navidad. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales - Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Jalisco, México. Pp. 9.
- CONAFOR. 2013b. Comprar árboles de Navidad mexicanos mejora la economía de productores locales y el medio ambiente. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Boletín 163: 2.
- de Guadalupe Farfán-Vázquez, E., J. Jaso-Mata, J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y C. Ramírez-Herrera. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3): 239-239. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2002.3.239>
- Dixon, L., B. Bellinger y A. H. Carter. 2023. A gravimetric method to monitor transpiration under water stress conditions in wheat. *The Plant Phenome Journal* 6(1): e20078. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppj2.20078>
- Domínguez-Núñez, J. A., M. Medina, M. Berrocal-Lobo, A. Anriquez y A. Albanesi. 2015. The combined effects of *Pseudomonas fluorescens* CECT 844 and the black truffle co-inoculation on *Pinus nigra* seedlings. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 8(5): 624. DOI: <https://doi.org/10.3832/for1334-007>
- Dwyer, L. M., D. W. Stewart y D. Balchin. 1987. Accurately monitoring and maintaining soil water in greenhouse containers. *Canadian Agricultural Engineering* 29: 89-91.
- FAO. 2010. Global Forest resources assessment 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. Pp. 36.
- FAO. 2013. Sustainable Christmas trees give German forests a boost. Food and Agriculture Organization (FAO)-Forestry Department. *Infosylva Forestry News Clippings* 24: 15-17.
- FAO. 2020. El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques la biodiversidad y las personas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma. Italia. Pp. 197.
- Frey-Klett, P., J. Garbaye y M. Tarkka. 2007. The mycorrhiza helper revisited. *New Phytologist* 176(1): 22-36. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02191.x>
- Garibay-Orijel, R., E. Morales-Marañón, M. Domínguez-Gutiérrez y A. Flores-García. 2013. Caracterización morfológica y genética de las ectomicorizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 84(1): 153-169. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.29839>
- Gernandt, D. S. y J. A. Pérez de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126-133. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Heras-Marcial, M., A. Aldrete, A. Gómez-Guerrero y D. A. Rodríguez-Trejo. 2023. Influence of fertilization on survival and growth of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. under nursery and field conditions. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 29(1): 3-14. DOI: <https://doi.org/10.5154/rchscfa.2022.03.019>
- Jefwa, J. M., S. Okoth, D. Baraza, M. J. Korir y M. A. Sakha. 2025. Ectomycorrhizal fungi as biofertilizers in forestry restoration in Africa. In: Azeem, A. M. A., M. Gryzenhout, S. Ghosh y T. A. Mohammed (eds.). *Forest Fungi*. Academic Press. Cambridge, USA. Pp. 463-478. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18870-1.00013-5>
- Khan, M. S., A. Zaidi y P. A. Wani. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture a review. *Agronomy for Sustainable Development* 27(1): 2943. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_34
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)



- López-Gutiérrez, A., J. Pérez-Moreno, F. Hernández-Santiago, E. Uscanga-Mortera, A. García-Esteva, V. M. Cetina-Alcalá y B. Xoconostle-Cázares. 2018. Nutrient mobilization, growth and field survival of *Pinus pringlei* inoculated with three ectomycorrhizal mushrooms. *Botanical Sciences* 96(2): 286-304. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1239>
- Mangeot-Peter, L., T. J. Tschaplinski, N. L. Engle, C. Veneault-Fourrey, F. Martin y A. Deveau. 2020. Impacts of soil microbiome variations on root colonization by fungi and bacteria and on the metabolome of *Populus tremula* × *alba*. *Phytobiomes Journal* 4(2): 142-155. DOI: <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-08-19-0042-R>
- Martínez-Reyes, M., J. Pérez-Moreno, L. Villarreal-Ruiz, R. Ferrera-Cerrato, B. Xoconostle-Cázares, J. J. Vargas-Hernández y M. Honrubia-García. 2012. Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con el hongo comestible ectomicorrízico *Hebeloma mesophaeum* (Pers.) Quél. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(2): 183-192. DOI: <https://doi.org/10.5154/rchscfa.2010.11.112>
- Mosimann, C., T. Oberhänsli, D. Ziegler, D. Nassal, E. Kandeler, T. Boller y C. Thonar. 2017. Tracing of two *Pseudomonas* strains in the root and rhizoplane of maize, as related to their plant growth-promoting effect in contrasting soils. *Frontiers in Microbiology* 7: 2150. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02150>
- Musálem, M. A. y A. Ramírez-Luis. 2003. Monografía de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarias. México, D.F., México. Pp. 64-65.
- Pecl, G. T., M. B. Araújo, J. D. Bell, J. Blanchard, T. C. Bonebrake, I. C. Chen y L. Falconi. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science* 355(6332): eaai9214. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Pérez de la Rosa A. P. y D. S. Gernandt. 2017. *Pinus vallartensis* (Pinaceae), a new species from western Jalisco, Mexico. *Phytotaxa* 331(2): 233-242. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.331.2.7>
- Pérez-Moreno, J., M. Martínez-Reyes, F. Hernández-Santiago y I. Ortiz-Lopez. 2020. Climate Change, Biotechnology, and Mexican Neotropical Edible Ectomycorrhizal Mushrooms. In: Pérez-Moreno, J., A. Guerin-Laguette, R. Flores-Arzú y Y. Fu-Qiang (eds.). *Mushrooms, Humans and Nature in a Changing World Perspectives from Ecological, Agricultural and Social Sciences*. Springer. Cham, Switzerland. Pp. 61-69. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37378-8_3
- Pérez-Moreno, J., P. E. Mortimer, J. Xu, S. C. Karunarathna y H. Li. 2021. Global perspectives on the ecological, cultural and socioeconomic relevance of wild edible fungi. *Studies in Fungi* 6(1): 408-424. DOI: <https://doi.org/10.5943/sif/6/1/31>
- Pérez-Pazos, E., A. Certano, J. Gagne, R. Lebeuf, N. Siegel, N. Nguyen y P. G. Kennedy. 2021. The slippery nature of ectomycorrhizal host specificity: *Suillus* fungi associated with novel pinoid (*Picea*) and abietoid (*Abies*) hosts. *Mycology* 113(5): 891-901. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.2021.1921525>
- Pickles, B. J. y S. W. Simard. 2017. Mycorrhizal networks and forest resilience to drought. In: Johnson, N. C., C. Gehring y J. Jansa (eds.). *Mycorrhizal mediation of Soil-Fertility, structure, and carbon storage*, cap. 18. Elsevier. Ámsterdam, Netherlands. Pp. 319-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00018-8>
- Pineda-Mendoza, D. Y., J. J. Almaraz, M. E. Lara-Hernández, R. Arteaga-Garibay y H. V. Silva-Rojas. 2019. Cepas de bacterias aisladas de esporomas de hongos ectomicorrízicos promueven el crecimiento vegetal. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 115(1): 4-17. DOI: <https://doi.org/10.12706/itea.2018.027>
- Prieto, R. J. A., J. L. Garcia, M. Mejía, S. Huchin y L. Aguilar. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frio, Publicación especial N°28. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo experimental del Valle de Guadiana. Durango, México. Pp. 46.
- Rainer, G., R. Kuhnert, M. Unterholzer, P. Dresch, A. Gruber y U. Peintner. 2015. Host-Specialist Dominated Ectomycorrhizal Communities of *Pinus cembra* are not Affected by Temperature Manipulation. *Journal of Fungi* (Basel) 1(1): 55-75. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof1010055>
- Ramírez-Gama, R. N., O. C. Velázquez-Madrado y B. Luna Millán. 2011. *Manual de Prácticas de Microbiología General*. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 300 pp.



- Ramírez-Mendoza, R., R. Ángeles-Argáiz, L. F. Aguirre-Beltrán, J. J. Almaraz-Suárez, D. Hernández-Oaxaca, I. Ortiz-Lopez y J. Pérez-Moreno. 2023. Whole-Genome sequence of *Pseudomonas yamanorum* OLSAu1 isolated from the edible wild ectomycorrhizal mushroom *Lactarius* sp. Section *Deliciosi*. Microbiology Resource Announcements. 12: e00843-23. DOI: <https://doi.org/10.1128/MRA.00843-23>
- Ramos-Dorantes, D. B., J. L. Villaseñor, E. Ortiz y S. D. Gernandt. 2017. Biodiversity, distribution, and conservation status of Pinaceae in Puebla, Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad 88(1): 215-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.028>
- Rinaldi, A. C., O. Comadini y T. W. Kuyper. 2008. Ectomycorrhizal fungal diversity: Separating the wheat from the chaff. Fungal Diversity 33: 1-45. <http://www.fungaldiversity.org/fdp/sfdp/33-1.pdf> (consultado septiembre de 2025).
- Rosete-Vergés, F. A., J. L. Pérez-Damián, M. Villalobos-Delgado, E. N. Navarro-Salas, E. Salinas-Chávez y R. Remond-Noa. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. Madera y Bosques 20(1): 21-35. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201173>
- Sáenz-Reyes, J., H. J. Muñoz-Flores, C. M. A. Pérez, A. Rueda-Sánchez y J. Hernández Ramos. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(26): 98-111. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i26.293>
- SAS. 2004. STAT ver. 9.00 User's Guide. SAS Institute. Cary, USA. 880 pp.
- Sharma-Serma, B., Z. Sayyed-Riyaz, H. Trivedi-Mrugesh y A. Gobi-Thivakaran. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. SpringerPlus 2: 587. DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- Singer, R. 1975. Agaricales in Modern Taxonomy. 3rd. ed. J. Cramer. Vaduz, Liechtenstein. 912 pp.
- Smith, S. E. y D. J. Read. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3rd. ed. Academic Press. New York, USA. 787 pp.
- Sosa-Rodríguez, S. F. 2015. Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. Realidad, Retos y Espacios, Revista Internacional de Estadística y Geografía: 6(2): 18.
- Sousa, R. N., R. A. Franco, A. M. Ramos, S. R. Oliveira y L. M. P. Castro. 2015. The response of *Betula pubescens* to inoculation with an ectomycorrhizal fungus and a plant growth promoting bacterium is substrate-dependent. Ecological Engineering 81: 439-443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.024>
- Sritongon, N., S. Boonlue, W. Mongkolthanaruk, S. Jogloy y N. Riddech. 2023. The combination of multiple plant growth promotion and hydrolytic enzyme producing rhizobacteria and their effect on Jerusalem artichoke growth improvement. Scientific Reports 13(1): 5917. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33099-x>
- Szuba, A., L. Marczak, L. Karliński, J. Mucha y D. Tomaszewski. 2019. Regulation of the leaf proteome by inoculation of *Populus × canescens* with two *Paxillus involutus* isolates differing in root colonization rates. Mycorrhiza 29: 503-517. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00910-5>
- Thomas, P. W y S. A. Jump. 2023. Edible fungi crops through mycoforestry, potential for carbon negative food production and mitigation of food and forestry conflicts. Proceedings of the National Academy of Sciences 120(12): e2220079120. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2220079120>
- Wang, J., H. Zhang y J. Gao. 2021. Effects of ectomycorrhizal fungi (*Suillus variegatus*) on the growth, hydraulic function, and non-structural carbohydrates of *Pinus tabulaeformis* under drought stress. BMC Plant Biology 21: 171. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-02945-3>
- Wang, Y. y I. R. Hall. 2004. Edible ectomycorrhizal mushrooms: challenges and achievements. Canadian Journal of Botany 82(8): 1063-1073. DOI: <https://doi.org/10.1139/b04-051>
- Wang, Y. H., L. L. Hou, X. Q. Wu, M. L. Zhu, Y. Dai y Y. J. Zhao. 2022. Mycorrhiza helper bacterium *Bacillus pumilus* HR10 improves growth and nutritional status of *Pinus thunbergii* by promoting mycorrhizal proliferation. Tree Physiology 42(4): 907-918. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab139>
- Wu, X. Q., L. L. Hou, J. M. Sheng, J. H. Ren, L. Zheng, D. Chen y J. R. Ye. 2012. Effects of ectomycorrhizal fungus *Boletus edulis* and mycorrhiza helper *Bacillus cereus* on the growth and nutrient uptake by *Pinus thunbergii*. Biology and Fertility of Soils 48(4): 385-391. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0638-1>
- Xu, H., M. Kemppainen, W. El Kayal, S. H. Lee, A. G. Pardo, J. E. Cooke y J. J. Zwiazek. 2015. Overexpression of *Laccaria bicolor* aquaporin JQ585595 alters root water transport



- properties in ectomycorrhizal white spruce (*Picea glauca*) seedlings. *New Phytologist* 205(2): 757-770. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13098>
- Zhang, Z. X. 1986. Determination of chlorophyll content of plants - acetone and ethanol mixture method. *Liaoning Agricultural Science* 3: 26-28.
- Zhu, L., Z. Fu, J. Zhang, J. Wang, J. Lin, Z. Yuan, X. Cheng y D. Chu. 2018. Effects of mycorrhizal fungi on photosynthetic characteristics of *Zelkova serrata* Thunb. *Journal of Nanjing Forestry University* 42: 121-127. DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2006.201801031>



MATERIAL SUPLEMENTARIO

Cuadro S1: Resumen estadístico de los análisis de varianza (ANOVA) unifactoriales aplicados a las variables morfológicas cuantificadas en las plantas: altura, diámetro del tallo, peso seco de la raíz, peso seco de la parte aérea y peso seco total. df: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; MS: cuadrados medios; F: valor F, o estadístico F; p: probabilidad.

Altura de la planta					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	1041.52902	347.176341	27.2349626	1.496E-12
Error	76	1121.77565	12.7474506		
Total	79	2163.30467			
Diámetro del tallo					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	22.3589826	7.4529942	45.39	1.6E-16
Error	76	14.4492087	0.16419555		
Total	79	36.8081913			
Peso seco de la raíz					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	16.0777356	5.359245196	1700.45151	8.08466E-39
Error	36	0.11345976	0.00315166		
Total	39	16.1911954			
Peso seco de la parte aérea de la planta					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	44.0319518	14.6773173	3910.91927	2.6831E-45
Error	36	0.13510466	0.00375291		
Total	39	44.1670565			
Peso seco total					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	112.606372	37.5354575	5236.76343	1.4215E-47
Error	36	0.25803657	0.00716768		
Total	39	112.864409			



Cuadro S2: Resumen estadístico del análisis de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para los atributos morfológicos cuantificados en las plantas: altura, diámetro del tallo, biomasa seca radical, biomasa seca aérea y biomasa seca total. Los tratamientos aplicados en todos los casos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Testigo, Tratamiento 2: plantas inoculadas con *Suillus placidus*, Tratamiento 3: plantas inoculadas con *Suillus placidus* + *Pseudomonas azotoformans*, Tratamiento 4: *Pseudomonas azotoformans*. p: probabilidad; IC(95%): intervalo de confianza del 95%.

Altura de las plantas				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	1.270	0.67	(-1.48, 4.02)	No
Tratamiento 2-4	4.161	<0.0001	(1.40, 6.91)	Si
Tratamiento 2-1	8.757	<0.0001	(5.99, 11.51)	Si
Tratamiento 3-2	-1.270	0.34	(-4.02, 1.48)	No
Tratamiento 3-4	2.891	<0.0001	(0.13, 5.64)	Si
Tratamiento 3-1	7.487	<0.0001	(4.73, 10.24)	Si
Tratamiento 4-2	-4.161	<0.0001	(-6.91, -1.40)	Si
Tratamiento 4-3	-2.891	<0.0001	(-5.64, -0.13)	Si
Tratamiento 4-1	4.596	<0.0001	(1.83, 7.35)	Si
Tratamiento 1-2	-8.757	<0.0001	(-11.51, -5.99)	Si
Tratamiento 1-3	-7.487	<0.0001	(-10.24, -4.730)	Si
Tratamiento 1-4	-4.596	<0.0001	(-7.35, -1.83)	Si
Diámetro de las plantas				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	0.13	0.23	(-0.18, 0.44)	No
Tratamiento 2-4	0.50	<0.0001	(0.19, 0.82)	Si
Tratamiento 2-1	1.26	<0.0001	(0.95, 1.58)	Si
Tratamiento 3-2	-0.13	0.29	(-0.44, 0.18)	No
Tratamiento 3-4	0.37	<0.0001	(0.06, 0.68)	Si
Tratamiento 3-1	1.13	<0.0001	(0.82, 1.44)	Si
Tratamiento 4-2	-0.50	<0.0001	(-0.82, -0.19)	Si
Tratamiento 4-3	-0.37	<0.0001	(-0.68, -0.06)	Si
Tratamiento 4-1	0.75	<0.0001	(0.44, 1.07)	Si
Tratamiento 1-2	-1.26	<0.0001	(-1.58, -0.95)	Si
Tratamiento 1-3	-1.13	<0.0001	(-1.44, -0.82)	Si
Tratamiento 1-4	-0.75	<0.0001	(-1.07, -0.44)	Si
Peso seco de raíz				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.15	<0.0001	(0.08, 0.22)	Si
Tratamiento 3-4	1.19	<0.0001	(1.13, 1.26)	Si
Tratamiento 3-1	1.45	<0.0001	(1.38, 1.52)	Si
Tratamiento 2-3	-0.15	<0.0001	(-0.22, -0.08)	Si
Tratamiento 2-4	1.04	<0.0001	(0.97, 1.10)	Si
Tratamiento 2-1	1.30	<0.0001	(1.23, 1.36)	Si
Tratamiento 4-3	-1.19	<0.0001	(-1.26, -1.13)	Si
Tratamiento 4-2	-1.04	<0.0001	(-1.10, -0.97)	Si
Tratamiento 4-1	0.25	<0.0001	(0.19, 0.32)	Si
Tratamiento 1-3	-1.45	<0.0001	(-1.52, -1.38)	Si
Tratamiento 1-2	-1.30	<0.0001	(-1.36, -1.23)	Si
Tratamiento 1-4	-0.25	<0.0001	(-0.32, -0.19)	Si



Cuadro S2: Continuación.

Peso seco del follaje				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.22	<0.0001	(0.15, 0.29)	Si
Tratamiento 2-4	1.93	<0.0001	(1.86, 2.00)	Si
Tratamiento 2-1	2.41	<0.0001	(2.34, 2.49)	Si
Tratamiento 3-2	-0.22	<0.0001	(-0.29, -0.15)	Si
Tratamiento 3-4	1.70	<0.0001	(1.63, 1.78)	Si
Tratamiento 3-1	2.19	<0.0001	(2.11, 2.26)	Si
Tratamiento 4-2	-1.93	<0.0001	(-2.00, -1.86)	Si
Tratamiento 4-3	-1.70	<0.0001	(-1.78, -1.63)	Si
Tratamiento 4-1	0.48	<0.0001	(0.41, 0.55)	Si
Tratamiento 1-2	-2.41	<0.0001	(-2.49, -2.34)	Si
Tratamiento 1-3	-2.19	<0.0001	(-2.26, -2.11)	Si
Tratamiento 1-4	-0.48	<0.0001	(-0.55, -0.41)	Si
Peso seco total				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.07	0.13	(-0.03, 0.17)	No
Tratamiento 2-4	2.97	<0.0001	(2.87, 3.07)	Si
Tratamiento 2-1	3.72	<0.0001	(3.61, 3.82)	Si
Tratamiento 3-2	-0.07	0.78	(-0.17, 0.03)	No
Tratamiento 3-4	2.90	<0.0001	(2.80, 3.00)	Si
Tratamiento 3-1	3.65	<0.0001	(3.54, 3.75)	Si
Tratamiento 4-2	-2.97	<0.0001	(-3.07, -2.87)	Si
Tratamiento 4-3	-2.90	<0.0001	(-3.00, -2.80)	Si
Tratamiento 4-1	0.74	<0.0001	(0.64, 0.84)	Si
Tratamiento 1-2	-3.72	<0.0001	(-3.82, -3.61)	Si
Tratamiento 1-3	-3.65	<0.0001	(-3.75, -3.54)	Si
Tratamiento 1-4	-0.74	<0.0001	(-0.84, -0.64)	Si



Cuadro S3: Resumen estadístico de los análisis de varianza (ANOVA) unifactoriales aplicados a las variables fisiológicas cuantificadas en las plantas: tasa fotosintética, transpiración, contenido de clorofila a, clorofila b, clorofila total y carotenos. df: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; MS: cuadrados medios; F: valor F, o estadístico F; p: probabilidad.

Tasa fotosintética					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	317.62487	105.874957	32.4642721	4.9058E-07
Error	16	52.1804184	3.26127615		
Total	19	369.805288			
Transpiración					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	44.2	14.7333333	24.5555556	3.1473E-06
Error	16	9.6	0.6		
Total	19	53.8			
Contenido de pigmentos fotosintéticos					
Clorofila a					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	98.2038645	32.7346215	2973.58624	3.52E-22
Error	16	0.17613545	0.01100847		
Total	19	98.3799999			
Clorofila b					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	21.0368533	7.01228443	411.78976	2.3711E-15
Error	16	0.27246076	0.0170288		
Total	19	21.309314			
Clorofila total					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	52.8503558	17.6167853	5597.43316	2.2497E-24
Error	16	0.05035675	0.0031473		
Total	19	52.9007126			
Carotenos					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	3.70413984	1.23471328	33.9450553	3.6171E-07
Error	16	0.58198204	0.03637388		
Total	19	4.28612188			



Cuadro S4: Resumen estadístico del análisis de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para los atributos fisiológicos cuantificados en las plantas: tasa fotosintética, transpiración, clorofila a, b, total y carotenos. Los tratamientos aplicados en todos los casos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Testigo, Tratamiento 2: plantas inoculadas con *Suillus placidus*, Tratamiento 3: plantas inoculadas con *Suillus placidus* + *Pseudomonas azotoformans*, Tratamiento 4: *Pseudomonas azotoformans*. p: probabilidad; IC (95%): intervalo de confianza del 95%.

Tasa fotosintética				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.65	0.87	(-2.61, 3.92)	No
Tratamiento 2-4	5.51	<0.0001	(2.24, 8.78)	Si
Tratamiento 2-1	9.83	<0.0001	(6.56, 13.10)	Si
Tratamiento 3-2	-0.65	0.36	(-3.92, 2.619)	No
Tratamiento 3-4	4.86	<0.0001	(1.59, 8.12)	Si
Tratamiento 3-1	9.17	<0.0001	(5.91, 12.44)	Si
Tratamiento 4-2	-5.51	<0.0001	(-8.78, -2.24)	Si
Tratamiento 4-3	-4.86	<0.0001	(-8.12, -1.59)	Si
Tratamiento 4-1	4.32	<0.0001	(1.05, 7.58)	Si
Tratamiento 1-2	-9.83	<0.0001	(-13.10, -6.56)	Si
Tratamiento 1-3	-9.17	<0.0001	(-12.44, -5.91)	Si
Tratamiento 1-4	-4.32	<0.0001	(-7.58, -1.05)	Si
Transpiración				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.40	0.54	(-1.00, 1.80)	No
Tratamiento 2-4	1.80	<0.0001	(0.39, 3.20)	Si
Tratamiento 2-1	3.80	<0.0001	(2.39, 5.20)	Si
Tratamiento 3-2	-0.40	0.41	(-1.80, 1.00)	No
Tratamiento 3-4	1.40	0.53	(-0.001, 2.80)	No
Tratamiento 3-1	3.40	<0.0001	(1.99, 4.80)	Si
Tratamiento 4-2	-1.80	<0.0001	(-3.20, -0.39)	Si
Tratamiento 4-3	-1.40	0.82	(-2.80, 0.001)	No
Tratamiento 4-1	2.00	<0.0001	(0.59, 3.40)	Si
Tratamiento 1-2	-3.80	<0.0001	(-5.20, -2.39)	Si
Tratamiento 1-3	-3.40	<0.0001	(-4.80, -1.99)	Si
Tratamiento 1-4	-2.00	<0.0001	(-3.40, -0.59)	Si
Clorofila a				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.39	<0.0001	(0.20, 0.58)	Si
Tratamiento 2-4	4.27	<0.0001	(4.08, 4.46)	Si
Tratamiento 2-1	4.91	<0.0001	(4.72, 5.10)	Si
Tratamiento 3-2	-0.39	<0.0001	(-0.58, -0.20)	Si
Tratamiento 3-4	3.88	<0.0001	(3.69, 4.07)	Si
Tratamiento 3-1	4.52	<0.0001	(4.33, 4.71)	Si
Tratamiento 4-2	-4.27	<0.0001	(-4.46, -4.08)	Si
Tratamiento 4-3	-3.88	<0.0001	(-4.07, -3.69)	Si
Tratamiento 4-1	0.63	<0.0001	(0.44, 0.82)	Si
Tratamiento 1-2	-4.91	<0.0001	(-5.10, -4.72)	Si
Tratamiento 1-3	-4.52	<0.0001	(-4.71, -4.33)	Si
Tratamiento 1-4	-0.63	<0.0001	(-0.82, -0.44)	Si



Cuadro S4: Continuación.

Clorofila b				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.02	0.08	(-0.21, 0.26)	No
Tratamiento 3-4	1.58	<0.0001	(1.34, 1.81)	Si
Tratamiento 3-1	2.38	<0.0001	(2.14, 2.62)	Si
Tratamiento 2-3	-0.02	0.16	(-0.26, 0.21)	No
Tratamiento 2-4	1.55	<0.0001	(1.32, 1.7)	Si
Tratamiento 2-1	2.35	<0.0001	(2.12, 2.59)	Si
Tratamiento 4-3	-1.58	<0.0001	(-1.81, -1.34)	Si
Tratamiento 4-2	-1.55	<0.0001	(-1.79, -1.32)	Si
Tratamiento 4-1	0.80	<0.0001	(0.56, 1.03)	Si
Tratamiento 1-3	-2.38	<0.0001	(-2.62, -2.14)	Si
Tratamiento 1-2	-2.35	<0.0001	(-2.59, -2.12)	Si
Tratamiento 1-4	-0.80	<0.0001	(-1.03, -0.56)	Si
Clorofila total				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.25	<0.0001	(0.15, 0.35)	Si
Tratamiento 2-4	3.07	<0.0001	(2.96, 3.17)	Si
Tratamiento 2-1	3.62	<0.0001	(3.52, 3.72)	Si
Tratamiento 3-2	-0.25	<0.0001	(-0.35, -0.15)	Si
Tratamiento 3-4	2.81	<0.0001	(2.71, 2.92)	Si
Tratamiento 3-1	3.37	<0.0001	(3.27, 3.47)	Si
Tratamiento 4-2	-3.07	<0.0001	(-3.17, -2.96)	Si
Tratamiento 4-3	-2.81	<0.0001	(-2.92, -2.71)	Si
Tratamiento 4-1	0.55	<0.0001	(0.45, 0.65)	Si
Tratamiento 1-2	-3.62	<0.0001	(-3.72, -3.52)	Si
Tratamiento 1-3	-3.37	<0.0001	(-3.47, -3.27)	Si
Tratamiento 1-4	-0.55	<0.0001	(-0.65, -0.45)	Si
Carotenos				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.24	0.64	(-0.09, 0.59)	No
Tratamiento 2-4	0.75	<0.0001	(0.41, 1.10)	Si
Tratamiento 2-1	1.10	<0.0001	(0.75, 1.44)	Si
Tratamiento 3-2	-0.24	0.75	(-0.59, 0.09)	No
Tratamiento 3-4	0.51	<0.0001	(0.16, 0.85)	Si
Tratamiento 3-1	0.85	<0.0001	(0.50, 1.19)	Si
Tratamiento 4-2	-0.75	<0.0001	(-1.10, -0.41)	Si
Tratamiento 4-3	-0.51	<0.0001	(-0.85, -0.16)	Si
Tratamiento 4-1	0.34	0.43	(-0.001, 0.68)	No
Tratamiento 1-2	-1.10	<0.0001	(-1.44, -0.75)	Si
Tratamiento 1-3	-0.85	<0.0001	(-1.19, -0.50)	Si
Tratamiento 1-4	-0.34	0.32	(-0.68, 0.001)	No



Cuadro S5: Resumen estadístico de los análisis de varianza (ANOVA) unifactoriales aplicados a los análisis nutrimentales cuantificados en las plantas: Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Na) de la parte aérea, de la parte radical y totales. df: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; MS: cuadrados medios; F: valor F, o estadístico F; p: probabilidad.

Macronutrientes de la parte aérea					
N					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	3867.35779	1289.11926	1119.18774	1.4074E-35
Error	36	41.466049	1.1518347		
Total	39	3908.82384			
P					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos		66.4938406	22.1646135	7065.04007	6.5548E-50
Error		0.11294007	0.00313722		
Total		66.6067806			
K					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	2042.78324	680.927746	6554.13264	2.5252E-49
Error	36	3.74014384	0.10389288		
Total	39	2046.52338			
Ca					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	1040.77731	346.925771	3791.73846	4.6752E-45
Error	36	3.29382627	0.09149517		
Total	39	1044.07114			
Mg					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	694.892931	231.630977	5240.73339	1.4023E-47
Error	36	1.59113516	0.0441982		
Total	39	696.484066			
S					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	104.982673	34.9942243	4700.76161	9.8799E-47
Error	36	0.26799744	0.00744437		
Total	39	105.25067			
Na					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	2.5788002	0.85960007	1281.44537	1.2614E-36
Error	36	0.02414898	0.00067081		
Total	39	2.60294919			
Macronutrientes de la parte radical					
N					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	1590.3268	530.108934	2981.69398	3.4808E-43
Error	36	6.40036226	0.17778784		
Total	39	1596.72717			



Cuadro S5: Continuación.

P					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	23.4034385	7.80114617	3921.85576	2.552E-45
Error	36	0.07160928	0.00198915		
Total	39	23.4750478			
K					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	919.793898	306.597966	4101.59815	1.1419E-45
Error	36	2.69103076	0.07475085		
Total	39	922.484929			
Ca					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	2546.97825	848.992752	2321.34826	3.0871E-41
Error	36	13.1663739	0.36573261		
Total	39	2560.14463			
Mg					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	265.947255	88.6490851	2304.57183	3.5152E-41
Error	36	1.38479826	0.03846662		
Total	39	267.332053			
S					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	56.5818256	18.8606085	2439.37729	1.2701E-41
Error	36	0.27834231	0.00773173		
Total	39	56.860168			
Na					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	64.402229	21.4674097	1042.79301	4.9531E-35
Error	36	0.74111232	0.02058645		
Total	39	65.1433413			
Macronutrientes totales					
N					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	10343.5559	3447.85198	2866.14802	7.0687E-43
Error	36	43.3064415	1.20295671		
Total	39	10386.8624			
P					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	166.655274	55.5517581	9976.33271	1.3277E-52
Error	36	0.20046077	0.00556835		
Total	39	166.855735			



Cuadro S5: Continuación.

K					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	5539.85896	1846.61965	9435.58296	3.6158E-52
Error	36	7.04549023	0.19570806		
Total	39	5546.90445			
Ca					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	6680.73033	2226.91011	4774.90191	7.46E-47
Error	36	16.7896148	0.46637819		
Total	39	6697.51994			
Mg					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	1815.13388	605.044627	7001.76482	7.7048E-50
Error	36	3.11087378	0.08641316		
Total	39	1818.24476			
S					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	315.694592	105.231531	6603.64698	2.2058E-49
Error	36	0.57367317	0.01593537		
Total	39	316.268265			
Na					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	89.0662357	29.6887452	1386.73938	3.0846E-37
Error	36	0.77072509	0.02140903		
Total	39	89.8369608			



Cuadro S6: Resumen estadístico de los análisis de varianza (ANOVA) unifactoriales aplicados a los análisis nutrimentales cuantificados en las plantas: Micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Ni, Mo, P, K, Ca, Mg, S y Na) de la parte aérea, de la parte radical y totales. df: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; MS: cuadrados medios; F: valor F, o estadístico F; p: probabilidad.

Micronutrientes en la parte aérea					
Fe					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	2.83012272	0.94337424	6447.35831	3.3919E-49
Error	36	0.0052675	0.00014632		
Total	39	2.83539022			
Zn					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.07579172	0.02526391	3505.30874	1.9131E-44
Error	36	0.00025946	7.2073E-06		
Total	39	0.07605119			
Mn					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	16.6020441	5.53401469	4015.77756	1.669E-45
Error	36	0.04961045	0.00137807		
Total	39	16.6516545			
Cu					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.00029413	9.8045E-05	3576.40927	1.3345E-44
Error	36	9.8692E-07	2.7414E-08		
Total	39	0.00029512			
B					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.08315627	0.02771876	3607.33843	1.1435E-44
Error	36	0.00027662	7.684E-06		
Total	39	0.08343289			
Ni					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	8.1237E-05	2.7079E-05	6931.49454	9.2358E-50
Error	36	1.4064E-07	3.9067E-09		
Total	39	8.1378E-05			
Mo					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.00024364	8.1214E-05	14728.9764	1.2039E-55
Error	36	1.985E-07	5.5139E-09		
Total	39	0.00024384			



Cuadro S6: Continuación.

Micronutrientes en la parte radical					
Fe					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	86.813744	28.9379147	3142.25733	1.3593E-43
Error	36	0.33153393	0.00920928		
Total	39	87.1452779			
Zn					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.03471095	0.01157032	1487.43442	8.8286E-38
Error	36	0.00028003	7.7787E-06		
Total	39	0.03499099			
Mn					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.52775326	0.17591775	2883.39799	5.3464E-39
Error	36	0.00195234	6.1011E-05		
Total	39	0.5297056			
Cu					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.00273054	0.00091018	1848.89604	1.811E-39
Error	36	1.7722E-05	4.9228E-07		
Total	39	0.00274826			
B					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.01326663	0.00442221	1625.24253	1.8142E-38
Error	36	9.7954E-05	2.721E-06		
Total	39	0.01336459			
Ni					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.00037844	0.00012615	3418.60995	2.998E-44
Error	36	1.3284E-06	3.69E-08		
Total	39	0.00037977			
Mo					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	7.0952E-05	2.3651E-05	1750.51103	4.8135E-39
Error	36	4.8639E-07	1.3511E-08		
Total	39	7.1438E-05			



Cuadro S6: Continuación.

Micronutrientes totales					
Fe					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	120.892559	40.2975198	4221.89764	6.7972E-46
Error	36	0.34361579	0.00954488		
Total	39	121.236175			
Zn					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.20746156	0.06915385	4453.10435	2.6104E-46
Error	36	0.00055906	1.5529E-05		
Total	39	0.20802062			
Mn					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	23.4028911	7.80096371	5264.20886	1.2941E-47
Error	36	0.05334794	0.00148189		
Total	39	23.4562391			
Cu					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.00476208	0.00158736	3000.38954	3.1118E-43
Error	36	1.9046E-05	5.2905E-07		
Total	39	0.00478113			
B					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.15542813	0.05180938	4911.98562	4.4878E-47
Error	36	0.00037971	1.0548E-05		
Total	39	0.15580784			
Ni					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.00079786	0.00026595	6237.83389	6.1406E-49
Error	36	1.5349E-06	4.2635E-08		
Total	39	0.00079939			
Mo					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	0.0005233	0.00017443	9051.35192	7.6342E-52
Error	36	6.9378E-07	1.9272E-08		
Total	39	0.000524			



Cuadro S7: Resumen estadístico de los análisis de varianza (ANOVA) aplicados a la colonización ectomicorrízica. df: grados de libertad; SS: suma de cuadrados; MS: cuadrados medios; F: valor F, o estadístico F; p: probabilidad.

Colonización micorrízica					
Fuente de variación	df	SS	MS	F	p (ANOVA)
Tratamientos	3	179779004	59926334.8	333.9306	2.542E-26
Error	16	6460468.3	179457.453		
Total	19	186239473			

Cuadro S8: Resumen estadístico del análisis de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para la evaluación de análisis nutrimentales cuantificados en las plantas: Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Na) de la parte aérea, de la parte radical y totales. Los tratamientos aplicados en todos los casos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Testigo, Tratamiento 2: plantas inoculadas con *Suillus placidus*, Tratamiento 3: plantas inoculadas con *Suillus placidus* + *Pseudomonas azotoformans*, Tratamiento 4: *Pseudomonas azotoformans*. p: probabilidad; IC (95%): intervalo de confianza del 95%.

Macronutrientes parte aérea				
N				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	3.3	<0.0001	(1.9, 4.5)	Si
Tratamiento 2-4	19.5	<0.0001	(18.3, 20.8)	Si
Tratamiento 2-1	22.5	<0.0001	(21.2, 23.8)	Si
Tratamiento 3-2	-3.2	<0.0001	(-4.5, -1.9)	Si
Tratamiento 3-4	16.3	<0.0001	(15.0, 17.6)	Si
Tratamiento 3-1	19.2	<0.0001	(17.9, 20.5)	Si
Tratamiento 4-2	-19.5	<0.0001	(-20.8, -18.3)	Si
Tratamiento 4-3	-16.3	<0.0001	(-17.6, -15.0)	Si
Tratamiento 4-1	2.9	<0.0001	(1.6, 4.2)	Si
Tratamiento 1-2	-22.5	<0.0001	(-23.8, -21.2)	Si
Tratamiento 1-3	-19.2	<0.0001	(-20.5, -17.9)	Si
Tratamiento 1-4	-2.9	<0.0001	(-4.2, -1.6)	Si
P				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	0.7	<0.0001	(0.7, 0.8)	Si
Tratamiento 2-4	2.8	<0.0001	(2.7, 2.9)	Si
Tratamiento 2-1	2.9	<0.0001	(2.9, 3.0)	Si
Tratamiento 3-2	-0.7	<0.0001	(-0.8, -0.7)	Si
Tratamiento 3-4	2.0	<0.0001	(1.9, 2.1)	Si
Tratamiento 3-1	2.1	<0.0001	(2.1, 2.2)	Si
Tratamiento 4-2	-2.8	<0.0001	(-2.9, -2.7)	Si
Tratamiento 4-3	-2.0	<0.0001	(-2.1, -1.9)	Si
Tratamiento 4-1	0.1	<0.0001	(0.07, 0.2)	Si
Tratamiento 1-2	-2.9	<0.0001	(-3.0, -2.9)	Si
Tratamiento 1-3	-2.1	<0.0001	(-2.2, -2.1)	Si
Tratamiento 1-4	-0.1	<0.0001	(-0.2, -0.07)	Si



Cuadro S8: Continuación.

K				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	4.12	<0.0001	(3.74, 4.51)	Si
Tratamiento 2-4	15.46	<0.0001	(15.07, 15.84)	Si
Tratamiento 2-1	16.60	<0.0001	(16.21, 16.99)	Si
Tratamiento 3-2	-4.12	<0.0001	(-4.51, -3.74)	Si
Tratamiento 3-4	11.33	<0.0001	(10.94, 11.72)	Si
Tratamiento 3-1	12.47	<0.0001	(12.08, 12.86)	Si
Tratamiento 4-2	-15.46	<0.0001	(-15.84, -15.07)	Si
Tratamiento 4-3	-11.33	<0.0001	(-11.72, -10.94)	Si
Tratamiento 4-1	1.14	<0.0001	(0.75, 1.53)	Si
Tratamiento 1-2	-16.60	<0.0001	(-16.99, -16.21)	Si
Tratamiento 1-3	-12.47	<0.0001	(-12.86, -12.08)	Si
Tratamiento 1-4	-1.14	<0.0001	(-1.53, -0.75)	Si
Ca				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	5.65	<0.0001	(5.28, 6.01)	Si
Tratamiento 2-4	10.01	<0.0001	(9.64, 10.37)	Si
Tratamiento 2-1	13.68	<0.0001	(13.31, 14.04)	Si
Tratamiento 3-2	-5.65	<0.0001	(-6.01, -5.28)	Si
Tratamiento 3-4	4.35	<0.0001	(3.99, 4.72)	Si
Tratamiento 3-1	8.02	<0.0001	(7.66, 8.39)	Si
Tratamiento 4-2	-10.01	<0.0001	(-10.37, -9.64)	Si
Tratamiento 4-3	-4.35	<0.0001	(-4.72, -3.99)	Si
Tratamiento 4-1	3.67	<0.0001	(3.30, 4.03)	Si
Tratamiento 1-2	-13.68	<0.0001	(-14.04, -13.31)	Si
Tratamiento 1-3	-8.02	<0.0001	(-8.39, -7.66)	Si
Tratamiento 1-4	-3.67	<0.0001	(-4.03, -3.30)	Si
Mg				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	2.51	<0.0001	(2.26, 2.77)	Si
Tratamiento 2-4	8.25	<0.0001	(8.00, 8.51)	Si
Tratamiento 2-1	10.29	<0.0001	(10.03, 10.54)	Si
Tratamiento 3-2	-2.51	<0.0001	(-2.77, -2.26)	Si
Tratamiento 3-4	5.74	<0.0001	(5.48, 5.99)	Si
Tratamiento 3-1	7.77	<0.0001	(7.51, 8.02)	Si
Tratamiento 4-2	-8.25	<0.0001	(-8.51, -8.00)	Si
Tratamiento 4-3	-5.74	<0.0001	(-5.99, -5.48)	Si
Tratamiento 4-1	2.03	<0.0001	(1.77, 2.28)	Si
Tratamiento 1-2	-10.29	<0.0001	(-10.54, -10.03)	Si
Tratamiento 1-3	-7.77	<0.0001	(-8.02, -7.51)	Si
Tratamiento 1-4	-2.03	<0.0001	(-2.28, -1.77)	Si



Cuadro S8: Continuación.

S				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 2-3	0.61	<0.0001	(0.50, 0.71)	Si
Tratamiento 2-4	3.10	<0.0001	(3.00, 3.21)	Si
Tratamiento 2-1	3.84	<0.0001	(3.73, 3.94)	Si
Tratamiento 3-2	-0.61	<0.0001	(-0.71, -0.50)	Si
Tratamiento 3-4	2.49	<0.0001	(2.39, 2.59)	Si
Tratamiento 3-1	3.23	<0.0001	(3.12, 3.33)	Si
Tratamiento 4-2	-3.10	<0.0001	(-3.21, -3.00)	Si
Tratamiento 4-3	-2.49	<0.0001	(-2.59, -2.39)	Si
Tratamiento 4-1	0.73	<0.0001	(0.63, 0.84)	Si
Tratamiento 1-2	-3.84	<0.0001	(-3.94, -3.738)	Si
Tratamiento 1-3	-3.23	<0.0001	(-3.33, -3.12)	Si
Tratamiento 1-4	-0.73	<0.0001	(-0.84, -0.63)	Si
Na				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95%)	Significación
Tratamiento 3-2	0.20	<0.0001	(0.17, 0.23)	Si
Tratamiento 3-4	0.47	<0.0001	(0.44, 0.519)	Si
Tratamiento 3-1	0.66	<0.0001	(0.63, 0.69)	Si
Tratamiento 2-3	-0.20	<0.0001	(-0.23, -0.17)	Si
Tratamiento 2-4	0.27	<0.0001	(0.24, 0.30)	Si
Tratamiento 2-1	0.45	<0.0001	(0.42, 0.48)	Si
Tratamiento 4-3	-0.47	<0.0001	(-0.51, -0.44)	Si
Tratamiento 4-2	-0.27	<0.0001	(-0.30, -0.24)	Si
Tratamiento 4-1	0.18	<0.0001	(0.15, 0.21)	Si
Tratamiento 1-3	-0.66	<0.0001	(-0.69, -0.63)	Si
Tratamiento 1-2	-0.45	<0.0001	(-0.48, -0.42)	Si
Tratamiento 1-4	-0.18	<0.0001	(-0.21, -0.15)	Si
Macronutrientes parte radical				
N				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.98	<0.0001	(0.47, 1.48)	Si
Tratamiento 3-4	12.03	<0.0001	(11.52, 12.54)	Si
Tratamiento 3-1	13.98	<0.0001	(13.47, 14.48)	Si
Tratamiento 2-3	-0.98	<0.0001	(-1.48, -0.47)	Si
Tratamiento 2-4	11.05	<0.0001	(10.54, 11.55)	Si
Tratamiento 2-1	13.00	<0.0001	(12.49, 13.50)	Si
Tratamiento 4-3	-12.03	<0.0001	(-12.54, -11.52)	Si
Tratamiento 4-2	-11.05	<0.0001	(-11.55, -10.54)	Si
Tratamiento 4-1	1.94	<0.0001	(1.44, 2.45)	Si
Tratamiento 1-3	-13.98	<0.0001	(-14.48, -13.47)	Si
Tratamiento 1-2	-13.00	<0.0001	(-13.50, -12.49)	Si
Tratamiento 1-4	-1.94	<0.0001	(-2.45, -1.44)	Si



Cuadro S8: Continuación.

P				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.02	0.09	(-0.02, 0.08)	No
Tratamiento 3-4	1.50	<0.0001	(1.45, 1.55)	Si
Tratamiento 3-1	1.58	<0.0001	(1.52, 1.63)	Si
Tratamiento 2-3	-0.02	0.07	(-0.08, 0.02)	No
Tratamiento 2-4	1.47	<0.0001	(1.42, 1.52)	Si
Tratamiento 2-1	1.55	<0.0001	(1.49, 1.60)	Si
Tratamiento 4-3	-1.50	<0.0001	(-1.55, -1.45)	Si
Tratamiento 4-2	-1.47	<0.0001	(-1.52, -1.42)	Si
Tratamiento 4-1	0.07	<0.0001	(0.02, 0.13)	Si
Tratamiento 1-3	-1.58	<0.0001	(-1.63, -1.52)	Si
Tratamiento 1-2	-1.55	<0.0001	(-1.60, -1.49)	Si
Tratamiento 1-4	-0.07	<0.0001	(-0.13, -0.02)	Si
K				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	1.91	<0.0001	(1.58, 2.24)	Si
Tratamiento 3-4	10.19	<0.0001	(9.86, 10.52)	Si
Tratamiento 3-1	10.69	<0.0001	(10.36, 11.02)	Si
Tratamiento 2-3	-1.91	<0.0001	(-2.24, -1.58)	Si
Tratamiento 2-4	8.27	<0.0001	(7.94, 8.60)	Si
Tratamiento 2-1	8.78	<0.0001	(8.45, 9.11)	Si
Tratamiento 4-3	-10.19	<0.0001	(-10.52, -9.86)	Si
Tratamiento 4-2	-8.27	<0.0001	(-8.60, -7.94)	Si
Tratamiento 4-1	0.50	<0.0001	(0.17, 0.83)	Si
Tratamiento 1-3	-10.69	<0.0001	(-11.02, -10.36)	Si
Tratamiento 1-2	-8.78	<0.0001	(-9.11, -8.45)	Si
Tratamiento 1-4	-0.50	<0.0001	(-0.83, -0.17)	Si
Ca				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	2.47	<0.0001	(1.74, 3.20)	Si
Tratamiento 2-4	15.23	<0.0001	(14.50, 15.95)	Si
Tratamiento 2-1	18.60	<0.0001	(17.88, 19.33)	Si
Tratamiento 3-2	-2.47	<0.0001	(-3.20, -1.74)	Si
Tratamiento 3-4	12.75	<0.0001	(12.02, 13.48)	Si
Tratamiento 3-1	16.13	<0.0001	(15.40, 16.86)	Si
Tratamiento 4-2	-15.23	<0.0001	(-15.95, -14.50)	Si
Tratamiento 4-3	-12.75	<0.0001	(-13.48, -12.02)	Si
Tratamiento 4-1	3.37	<0.0001	(2.64, 4.10)	Si
Tratamiento 1-2	-18.60	<0.0001	(-19.33, -17.88)	Si
Tratamiento 1-3	-16.13	<0.0001	(-16.86, -15.40)	Si
Tratamiento 1-4	-3.37	<0.0001	(-4.10, -2.64)	Si



Cuadro S8: Continuación.

Mg				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.74	<0.0001	(0.51127, 0.98373)	Si
Tratamiento 2-4	4.82	<0.0001	(4.59297, 5.06543)	Si
Tratamiento 2-1	6.03	<0.0001	(5.79901, 6.27146)	Si
Tratamiento 3-2	-0.74	<0.0001	(-0.98373, -0.51127)	Si
Tratamiento 3-4	4.08	<0.0001	(3.84547, 4.31793)	Si
Tratamiento 3-1	5.28	<0.0001	(5.05151, 5.52396)	Si
Tratamiento 4-2	-4.82	<0.0001	(-5.06543, -4.59297)	Si
Tratamiento 4-3	-4.08	<0.0001	(-4.31793, -3.84547)	Si
Tratamiento 4-1	1.20	<0.0001	(0.96981, .44226)	Si
Tratamiento 1-2	-6.03	<0.0001	(-6.27146, -5.79901)	Si
Tratamiento 1-3	-5.28	<0.0001	(-5.52396, -5.05151)	Si
Tratamiento 1-4	-1.20	<0.0001	(-1.44226, -0.96981)	Si
S				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.43	<0.0001	(0.32959, 0.54141)	Si
Tratamiento 2-4	2.30	<0.0001	(2.19509, 2.40691)	Si
Tratamiento 2-1	2.79	<0.0001	(2.69308, 2.90489)	Si
Tratamiento 3-2	-0.43	<0.0001	(-0.54141, -0.32959)	Si
Tratamiento 3-4	1.86	<0.0001	(1.75959, 1.97141)	Si
Tratamiento 3-1	2.36	<0.0001	(2.25758, 2.46939)	Si
Tratamiento 4-2	-2.30	<0.0001	(-2.40691, -2.19509)	Si
Tratamiento 4-3	-1.86	<0.0001	(-1.97141, -1.75959)	Si
Tratamiento 4-1	0.49	<0.0001	(0.39208, 0.60389)	Si
Tratamiento 1-2	-2.79	<0.0001	(-2.90489, -2.69308)	Si
Tratamiento 1-3	-2.36	<0.0001	(-2.46939, -2.25758)	Si
Tratamiento 1-4	-0.49	<0.0001	(-0.60389, -0.39208)	Si
Na				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.88	<0.0001	(0.71249, 1.05811)	Si
Tratamiento 2-4	2.47	<0.0001	(2.30579, 2.65141)	Si
Tratamiento 2-1	3.21	<0.0001	(3.04132, 3.38694)	Si
Tratamiento 3-2	-0.88	<0.0001	(-1.05811, -0.71249)	Si
Tratamiento 3-4	1.59	<0.0001	(1.42049, 1.76611)	Si
Tratamiento 3-1	2.32	<0.0001	(2.15602, 2.50164)	Si
Tratamiento 4-2	-2.47	<0.0001	(-2.65141, -2.30579)	Si
Tratamiento 4-3	-1.59	<0.0001	(-1.76611, -1.42049)	Si
Tratamiento 4-1	0.73	<0.0001	(0.56272, 0.90834)	Si
Tratamiento 1-2	-3.21	<0.0001	(-3.38694, -3.04132)	Si
Tratamiento 1-3	-2.32	<0.0001	(-2.50164, -2.15602)	Si
Tratamiento 1-4	-0.73	<0.0001	(-0.90834, -0.56272)	Si



Cuadro S8: Continuación.

Macronutrientes totales				
N				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	2.29	<0.0001	(0.9711, 3.6131)	Si
Tratamiento 2-4	30.64	<0.0001	(29.3257, 31.9677)	Si
Tratamiento 2-1	35.51	<0.0001	(34.1952, 36.8373)	Si
Tratamiento 3-2	-2.29	<0.0001	(-3.6131, -0.9711)	Si
Tratamiento 3-4	28.35	<0.0001	(27.0336, 29.6756)	Si
Tratamiento 3-1	33.22	<0.0001	(31.9031, 34.5452)	Si
Tratamiento 4-2	-30.64	<0.0001	(-31.9677, -29.3257)	Si
Tratamiento 4-3	-28.35	<0.0001	(-29.6756, -27.0336)	Si
Tratamiento 4-1	4.86	<0.0001	(3.5485, 6.1906)	Si
Tratamiento 1-2	-35.51	<0.0001	(-36.8373, -34.1952)	Si
Tratamiento 1-3	-33.22	<0.0001	(-34.5452, -31.9031)	Si
Tratamiento 1-4	-4.86	<0.0001	(-6.1906, -3.5485)	Si
P				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.76	<0.0001	(0.67442, 0.85418)	Si
Tratamiento 2-4	4.31	<0.0001	(4.22672, 4.40648)	Si
Tratamiento 2-1	4.53	<0.0001	(4.44477, 4.62452)	Si
Tratamiento 3-2	-0.76	<0.0001	(-0.85418, -0.67442)	Si
Tratamiento 3-4	3.55	<0.0001	(3.46242, 3.64218)	Si
Tratamiento 3-1	3.77	<0.0001	(3.68047, 3.86022)	Si
Tratamiento 4-2	-4.31	<0.0001	(-4.40648, -4.22672)	Si
Tratamiento 4-3	-3.55	<0.0001	(-3.64218, -3.46242)	Si
Tratamiento 4-1	0.21	<0.0001	(0.12817, 0.30792)	Si
Tratamiento 1-2	-4.53	<0.0001	(-4.62452, -4.44477)	Si
Tratamiento 1-3	-3.77	<0.0001	(-3.86022, -3.68047)	Si
Tratamiento 1-4	-0.21	<0.0001	(-0.30792, -0.12817)	Si
K				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	2.21	<0.0001	(1.6828, 2.7484)	Si
Tratamiento 2-4	23.74	<0.0001	(23.2075, 24.2731)	Si
Tratamiento 2-1	25.38	<0.0001	(24.8541, 25.9198)	Si
Tratamiento 3-2	-2.21	<0.0001	(-2.7484, -1.6828)	Si
Tratamiento 3-4	21.52	<0.0001	(20.9919, 22.0575)	Si
Tratamiento 3-1	23.17	<0.0001	(22.6385, 23.7042)	Si
Tratamiento 4-2	-23.74	<0.0001	(-24.2731, -23.2075)	Si
Tratamiento 4-3	-21.52	<0.0001	(-22.0575, -20.9919)	Si
Tratamiento 4-1	1.64	<0.0001	(1.1138, 2.1795)	Si
Tratamiento 1-2	-25.38	<0.0001	(-25.9198, -24.8541)	Si
Tratamiento 1-3	-23.17	<0.0001	(-23.7042, -22.6385)	Si
Tratamiento 1-4	-1.64	<0.0001	(-2.1795, -1.1138)	Si



Cuadro S8: Continuación.

Ca				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	8.12	<0.0001	(7.3057, 8.9507)	Si
Tratamiento 2-4	25.24	<0.0001	(24.4192, 26.0642)	Si
Tratamiento 2-1	32.29	<0.0001	(31.4682, 33.1133)	Si
Tratamiento 3-2	-8.12	<0.0001	(-8.9507, -7.3057)	Si
Tratamiento 3-4	17.11	<0.0001	(16.2910, 17.9360)	Si
Tratamiento 3-1	24.16	<0.0001	(23.3400, 24.9851)	Si
Tratamiento 4-2	-25.24	<0.0001	(-26.0642, -24.4192)	Si
Tratamiento 4-3	-17.11	<0.0001	(-17.9360, -16.2910)	Si
Tratamiento 4-1	7.04	<0.0001	(6.2265, 7.8716)	Si
Tratamiento 1-2	-32.29	<0.0001	(-33.1133, -31.4682)	Si
Tratamiento 1-3	-24.16	<0.0001	(-24.9851, -23.3400)	Si
Tratamiento 1-4	-7.04	<0.0001	(-7.8716, -6.2265)	Si
Mg				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	3.26	<0.0001	(2.9116, 3.6198)	Si
Tratamiento 2-4	13.08	<0.0001	(12.7349, 13.4431)	Si
Tratamiento 2-1	16.32	<0.0001	(15.9717, 16.6798)	Si
Tratamiento 3-2	-3.26	<0.0001	(-3.6198, -2.9116)	Si
Tratamiento 3-4	9.82	<0.0001	(9.4692, 10.1774)	Si
Tratamiento 3-1	13.06	<0.0001	(12.7060, 13.4141)	Si
Tratamiento 4-2	-13.08	<0.0001	(-13.4431, -12.7349)	Si
Tratamiento 4-3	-9.82	<0.0001	(-10.1774, -9.4692)	Si
Tratamiento 4-1	3.23	<0.0001	(2.8827, 3.5908)	Si
Tratamiento 1-2	-16.32	<0.0001	(-16.6798, -15.9717)	Si
Tratamiento 1-3	-13.06	<0.0001	(-13.4141, -12.7060)	Si
Tratamiento 1-4	-3.23	<0.0001	(-3.5908, -2.8827)	Si
S				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	1.04	<0.0001	(0.89526, 1.19934)	Si
Tratamiento 2-4	5.40	<0.0001	(5.25526, 5.55934)	Si
Tratamiento 2-1	6.64	<0.0001	(6.48963, 6.79372)	Si
Tratamiento 3-2	-1.04	<0.0001	(-1.19934, -0.89526)	Si
Tratamiento 3-4	4.36	<0.0001	(4.20796, 4.51204)	Si
Tratamiento 3-1	5.59	<0.0001	(5.44233, 5.74642)	Si
Tratamiento 4-2	-5.40	<0.0001	(-5.55934, -5.25526)	Si
Tratamiento 4-3	-4.36	<0.0001	(-4.51204, -4.20796)	Si
Tratamiento 4-1	1.23	<0.0001	(1.08233, 1.38642)	Si
Tratamiento 1-2	-6.64	<0.0001	(-6.79372, -6.48963)	Si
Tratamiento 1-3	-5.59	<0.0001	(-5.74642, -5.44233)	Si
Tratamiento 1-4	-1.23	<0.0001	(-1.38642, -1.08233)	Si



Cuadro S8: Continuación.

Na				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.68	<0.0001	(0.50407, 0.85653)	Si
Tratamiento 2-4	2.75	<0.0001	(2.57717, 2.92963)	Si
Tratamiento 2-1	3.67	<0.0001	(3.49623, 3.84870)	Si
Tratamiento 3-2	-0.68	<0.0001	(-0.85653, -0.50407)	Si
Tratamiento 3-4	2.07	<0.0001	(1.89687, 2.24933)	Si
Tratamiento 3-1	2.99	<0.0001	(2.81593, 3.16840)	Si
Tratamiento 4-2	-2.75	<0.0001	(-2.92963, -2.57717)	Si
Tratamiento 4-3	-2.07	<0.0001	(-2.24933, -1.89687)	Si
Tratamiento 4-1	0.91	<0.0001	(0.74283, 1.09530)	Si
Tratamiento 1-2	-3.67	<0.0001	(-3.84870, -3.49623)	Si
Tratamiento 1-3	-2.99	<0.0001	(-3.16840, -2.81593)	Si
Tratamiento 1-4	-0.91	<0.0001	(-1.09530, -0.74283)	Si

Cuadro S9: Resumen estadístico del análisis de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para la evaluación de análisis nutrimentales cuantificados en las plantas: Micronutrientes (Fe, Zn, Mg, Cu, B, Ni, Mo) de la parte aérea, de la parte radical y totales. Los tratamientos aplicados en todos los casos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Testigo, Tratamiento 2: plantas inoculadas con *Suillus placidus*, Tratamiento 3: plantas inoculadas con *Suillus placidus* + *Pseudomonas azotoformans*, Tratamiento 4: *Pseudomonas azotoformans*. p: probabilidad; IC (95%): intervalo de confianza del 95%.

Micronutrientes parte aérea				
Fe				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.11	<0.0001	(0.095845, 0.124983)	Si
Tratamiento 2-1	0.57	<0.0001	(0.562345, 0.591483)	Si
Tratamiento 2-4	0.58	<0.0001	(0.571312, 0.600450)	Si
Tratamiento 3-2	-0.11	<0.0001	(-0.124983, -0.095845)	Si
Tratamiento 3-1	0.46	<0.0001	(0.451931, 0.481069)	Si
Tratamiento 3-4	0.47	<0.0001	(0.460898, 0.490036)	Si
Tratamiento 1-2	-0.57	<0.0001	(-0.591483, -0.562345)	Si
Tratamiento 1-3	-0.46	<0.0001	(-0.481069, -0.451931)	Si
Tratamiento 1-4	0.008	0.19	(-0.005602, 0.023536)	No
Tratamiento 4-2	-0.58	<0.0001	(-0.600450, -0.571312)	Si
Tratamiento 4-3	-0.47	<0.0001	(-0.490036, -0.460898)	Si
Tratamiento 4-1	-0.008	0.21	(-0.023536, 0.005602)	No
Zn				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.01	<0.0001	(0.013767, 0.020235)	Si
Tratamiento 3-4	0.08	<0.0001	(0.079669, 0.086137)	Si
Tratamiento 3-1	0.10	<0.0001	(0.100723, 0.107191)	Si
Tratamiento 2-3	-0.01	<0.0001	(-0.020235, -0.013767)	Si
Tratamiento 2-4	0.06	<0.0001	(0.062668, 0.069136)	Si
Tratamiento 2-1	0.08	<0.0001	(0.083722, 0.090190)	Si
Tratamiento 4-3	-0.08	<0.0001	(-0.086137, -0.079669)	Si



Cuadro S9: Continuación.

Tratamiento 4-2	-0.06	<0.0001	(-0.069136, -0.062668)	Si
Tratamiento 4-1	0.02	<0.0001	(0.017820, 0.024288)	Si
Tratamiento 1-3	-0.10	<0.0001	(-0.107191, -0.100723)	Si
Tratamiento 1-2	-0.08	<0.0001	(-0.090190, -0.083722)	Si
Tratamiento 1-4	-0.02	<0.0001	(-0.024288, -0.017820)	Si
Mg				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.16	<0.0001	(0.11883, 0.20825)	Si
Tratamiento 2-4	1.27	<0.0001	(1.22683, 1.31626)	Si
Tratamiento 2-1	1.44	<0.0001	(1.40190, 1.49132)	Si
Tratamiento 3-2	-0.16	<0.0001	(-0.20825, -0.11883)	Si
Tratamiento 3-4	1.10	<0.0001	(1.06329, 1.15271)	Si
Tratamiento 3-1	1.28	<0.0001	(1.23835, 1.32778)	Si
Tratamiento 4-2	-1.27155	<0.0001	(-1.31626, -1.22683)	Si
Tratamiento 4-3	-1.10800	<0.0001	(-1.15271, -1.06329)	Si
Tratamiento 4-1	0.17506	<0.0001	(0.13035, 0.21977)	Si
Tratamiento 1-2	-1.44661	<0.0001	(-1.49132, -1.40190)	Si
Tratamiento 1-3	-1.28307	<0.0001	(-1.32778, -1.23835)	Si
Tratamiento 1-4	-0.17506	<0.0001	(-0.21977, -0.13035)	Si
Cu				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.0004	<0.0001	(0.00023128, 0.00063012)	Si
Tratamiento 2-4	0.0047	<0.0001	(0.00456355, 0.00496239)	Si
Tratamiento 2-1	0.0062	<0.0001	(0.00608277, 0.00648162)	Si
Tratamiento 3-2	-0.00043	<0.0001	(-0.00063012, -0.00023128)	Si
Tratamiento 3-4	0.0043	<0.0001	(0.00413285, 0.00453169)	Si
Tratamiento 3-1	0.0058	<0.0001	(0.00565207, 0.00605092)	Si
Tratamiento 4-2	-0.0047	<0.0001	(-0.00496239, -0.00456355)	Si
Tratamiento 4-3	-0.0043	<0.0001	(-0.00453169, -0.00413285)	Si
Tratamiento 4-1	0.0015	<0.0001	(0.00131980, 0.00171865)	Si
Tratamiento 1-2	-0.0062	<0.0001	(-0.00648162, -0.00608277)	Si
Tratamiento 1-3	-0.0058	<0.0001	(-0.00605092, -0.00565207)	Si
Tratamiento 1-4	-0.0015	<0.0001	(-0.00171865, -0.00131980)	Si
B				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.06	<0.0001	(0.064193, 0.070871)	Si
Tratamiento 2-4	0.09	<0.0001	(0.094329, 0.101007)	Si
Tratamiento 2-1	0.12	<0.0001	(0.118191, 0.124869)	Si
Tratamiento 3-2	-0.06	<0.0001	(-0.070871, -0.064193)	Si
Tratamiento 3-4	0.03	<0.0001	(0.026797, 0.033475)	Si
Tratamiento 3-1	0.05	<0.0001	(0.050659, 0.057337)	Si
Tratamiento 4-2	-0.09	<0.0001	(-0.101007, -0.094329)	Si
Tratamiento 4-3	-0.03	<0.0001	(-0.033475, -0.026797)	Si
Tratamiento 4-1	0.02	<0.0001	(0.020523, 0.027201)	Si
Tratamiento 1-2	-0.12	<0.0001	(-0.124869, -0.118191)	Si



Cuadro S9: Continuación.

Tratamiento 1-3	-0.05	<0.0001	(-0.057337, -0.050659)	Si
Tratamiento 1-4	-0.02	<0.0001	(-0.027201, -0.020523)	Si
Ni				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.001	<0.0001	(0.00120060, 0.00135116)	Si
Tratamiento 2-4	0.003	<0.0001	(0.00312295, 0.00327351)	Si
Tratamiento 2-1	0.003	<0.0001	(0.00339589, 0.00354645)	Si
Tratamiento 3-2	-0.0012	<0.0001	(-0.00135116, -0.00120060)	Si
Tratamiento 3-4	0.001	<0.0001	(0.00184707, 0.00199763)	Si
Tratamiento 3-1	0.002	<0.0001	(0.00212001, 0.00227057)	Si
Tratamiento 4-2	-0.003	<0.0001	(-0.00327351, -0.00312295)	Si
Tratamiento 4-3	-0.001	<0.0001	(-0.00199763, -0.00184707)	Si
Tratamiento 4-1	0.0002	<0.0001	(0.00019766, 0.00034822)	Si
Tratamiento 1-2	-0.0034	<0.0001	(-0.00354645, -0.00339589)	Si
Tratamiento 1-3	-0.0021	<0.0001	(-0.00227057, -0.00212001)	Si
Tratamiento 1-4	-0.00027	<0.0001	(-0.00034822, -0.00019766)	Si
Mo				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.004	<0.0001	(0.00478854, 0.00496742)	Si
Tratamiento 2-4	0.005	<0.0001	(0.00559931, 0.00577819)	Si
Tratamiento 2-1	0.006	<0.0001	(0.00612261, 0.00630149)	Si
Tratamiento 3-2	-0.004	<0.0001	(-0.00496742, -0.00478854)	Si
Tratamiento 3-4	0.0008	<0.0001	(0.00072133, 0.00090021)	Si
Tratamiento 3-1	0.001	<0.0001	(0.00124463, 0.00142351)	Si
Tratamiento 4-2	-0.005	<0.0001	(-0.00577819, -0.00559931)	Si
Tratamiento 4-3	-0.0008	<0.0001	(-0.00090021, -0.00072133)	Si
Tratamiento 4-1	0.0005	<0.0001	(0.00043386, 0.00061274)	Si
Tratamiento 1-2	-0.006	<0.0001	(-0.00630149, -0.00612261)	Si
Tratamiento 1-3	-0.0013	<0.0001	(-0.00142351, -0.00124463)	Si
Tratamiento 1-4	-0.0005	<0.0001	(-0.00061274, -0.00043386)	Si
Micronutrientes de la parte radical				
Fe				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.39	<0.0001	(0.27981, 0.51098)	Si
Tratamiento 2-4	3.02	<0.0001	(2.90986, 3.14102)	Si
Tratamiento 2-1	3.22	<0.0001	(3.11354, 3.34471)	Si
Tratamiento 3-2	-0.39	<0.0001	(-0.51098, -0.27981)	Si
Tratamiento 3-4	2.63	<0.0001	(2.51446, 2.74563)	Si
Tratamiento 3-1	2.83	<0.0001	(2.71814, 2.94931)	Si
Tratamiento 4-2	-3.02	<0.0001	(-3.14102, -2.90986)	Si
Tratamiento 4-3	-2.63	<0.0001	(-2.74563, -2.51446)	Si
Tratamiento 4-1	0.20	<0.0001	(0.08810, 0.31927)	Si
Tratamiento 1-2	-3.22	<0.0001	(-3.34471, -3.11354)	Si
Tratamiento 1-3	-2.83	<0.0001	(-2.94931, -2.71814)	Si
Tratamiento 1-4	-0.20	<0.0001	(-0.31927, -0.08810)	Si



Cuadro S9: Continuación.

Zn				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.015	<0.0001	(0.012491, 0.019209)	Si
Tratamiento 2-4	0.05	<0.0001	(0.052277, 0.058995)	Si
Tratamiento 2-1	0.07	<0.0001	(0.069838, 0.076556)	Si
Tratamiento 3-2	-0.015	<0.0001	(-0.019209, -0.012491)	Si
Tratamiento 3-4	0.03	<0.0001	(0.036427, 0.043145)	Si
Tratamiento 3-1	0.05	<0.0001	(0.053988, 0.060706)	Si
Tratamiento 4-2	-0.05	<0.0001	(-0.058995, -0.052277)	Si
Tratamiento 4-3	-0.03	<0.0001	(-0.043145, -0.036427)	Si
Tratamiento 4-1	0.017	<0.0001	(0.014202, 0.020920)	Si
Tratamiento 1-2	-0.07	<0.0001	(-0.076556, -0.069838)	Si
Tratamiento 1-3	-0.05	<0.0001	(-0.060706, -0.053988)	Si
Tratamiento 1-4	-0.017	<0.0001	(-0.020920, -0.014202)	Si
Mn				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.012	<0.0001	(0.002924, 0.021802)	Si
Tratamiento 3-4	0.22	<0.0001	(0.219839, 0.238717)	Si
Tratamiento 3-1	0.26	<0.0001	(0.256443, 0.275321)	Si
Tratamiento 2-3	-0.012	<0.0001	(-0.021802, -0.002924)	Si
Tratamiento 2-4	0.21	<0.0001	(0.207476, 0.226354)	Si
Tratamiento 2-1	0.25	<0.0001	(0.244080, 0.262958)	Si
Tratamiento 4-3	-0.22	<0.0001	(-0.238717, -0.219839)	Si
Tratamiento 4-2	-0.21	<0.0001	(-0.226354, -0.207476)	Si
Tratamiento 4-1	0.036	<0.0001	(0.027165, 0.046043)	Si
Tratamiento 1-3	-0.26	<0.0001	(-0.275321, -0.256443)	Si
Tratamiento 1-2	-0.25	<0.0001	(-0.262958, -0.244080)	Si
Tratamiento 1-4	-0.03	<0.0001	(-0.046043, -0.027165)	Si
Cu				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.006	<0.0001	(0.0053637, 0.0070539)	Si
Tratamiento 2-4	0.018	<0.0001	(0.0173646, 0.0190548)	Si
Tratamiento 2-1	0.019	<0.0001	(0.0189372, 0.0206274)	Si
Tratamiento 3-2	-0.006	<0.0001	(-0.0070539, -0.0053637)	Si
Tratamiento 3-4	0.012	<0.0001	(0.0111558, 0.0128460)	Si
Tratamiento 3-1	0.013	<0.0001	(0.0127284, 0.0144186)	Si
Tratamiento 4-2	-0.018	<0.0001	(-0.0190548, -0.0173646)	Si
Tratamiento 4-3	-0.012	<0.0001	(-0.0128460, -0.0111558)	Si
Tratamiento 4-1	0.0015	<0.0001	(0.0007275, 0.0024177)	Si
Tratamiento 1-2	-0.019	<0.0001	(-0.0206274, -0.0189372)	Si
Tratamiento 1-3	-0.013	<0.0001	(-0.0144186, -0.0127284)	Si
Tratamiento 1-4	-0.0015	<0.0001	(-0.0024177, -0.0007275)	Si



Cuadro S9: Continuación.

B				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.004	<0.0001	(0.0020263, 0.0059999)	Si
Tratamiento 2-4	0.03	<0.0001	(0.0320281, 0.0360017)	Si
Tratamiento 2-1	0.04	<0.0001	(0.0398002, 0.0437738)	Si
Tratamiento 3-2	-0.004	<0.0001	(-0.0059999, -0.0020263)	Si
Tratamiento 3-4	0.03	<0.0001	(0.0280150, 0.0319886)	Si
Tratamiento 3-1	0.03	<0.0001	(0.0357871, 0.0397607)	Si
Tratamiento 4-2	-0.03	<0.0001	(-0.0360017, -0.0320281)	Si
Tratamiento 4-3	-0.03	<0.0001	(-0.0319886, -0.0280150)	Si
Tratamiento 4-1	0.007	<0.0001	(0.0057853, 0.0097589)	Si
Tratamiento 1-2	-0.04	<0.0001	(-0.0437738, -0.0398002)	Si
Tratamiento 1-3	-0.03	<0.0001	(-0.0397607, -0.0357871)	Si
Tratamiento 1-4	-0.007	<0.0001	(-0.0097589, -0.0057853)	Si
Ni				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.0005	<0.0001	(0.00033374, 0.00079648)	Si
Tratamiento 2-1	0.006	<0.0001	(0.00616022, 0.00662296)	Si
Tratamiento 2-4	0.006	<0.0001	(0.00621933, 0.00668207)	Si
Tratamiento 3-2	-0.0005	<0.0001	(-0.00079648, -0.00033374)	Si
Tratamiento 3-1	0.005	<0.0001	(0.00559511, 0.00605785)	Si
Tratamiento 3-4	0.0058	<0.0001	(0.00565422, 0.00611696)	Si
Tratamiento 1-2	-0.0063	<0.0001	(-0.00662296, -0.00616022)	Si
Tratamiento 1-3	-0.0058	<0.0001	(-0.00605785, -0.00559511)	Si
Tratamiento 1-4	0.00005	0.08	(-0.00017226, 0.00029048)	No
Tratamiento 4-2	-0.0064	<0.0001	(-0.00668207, -0.00621933)	Si
Tratamiento 4-3	-0.0058	<0.0001	(-0.00611696, -0.00565422)	Si
Tratamiento 4-1	-0.00005	0.11	(-0.00029048, 0.00017226)	No
Mo				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.0004	<0.0001	(0.00032228, 0.00060228)	Si
Tratamiento 2-4	0.002	<0.0001	(0.00235721, 0.00263721)	Si
Tratamiento 2-1	0.003	<0.0001	(0.00302670, 0.00330670)	Si
Tratamiento 3-2	-0.0004	<0.0001	(-0.00060228, -0.00032228)	Si
Tratamiento 3-4	0.002	<0.0001	(0.00189493, 0.00217493)	Si
Tratamiento 3-1	0.002	<0.0001	(0.00256442, 0.00284442)	Si
Tratamiento 4-2	-0.002	<0.0001	(-0.00263721, -0.00235721)	Si
Tratamiento 4-3	-0.002	<0.0001	(-0.00217493, -0.00189493)	Si
Tratamiento 4-1	0.0006	<0.0001	(0.00052949, 0.00080949)	Si
Tratamiento 1-2	-0.0031	<0.0001	(-0.00330670, -0.00302670)	Si
Tratamiento 1-3	-0.0027	<0.0001	(-0.00284442, -0.00256442)	Si
Tratamiento 1-4	-0.0006	<0.0001	(-0.00080949, -0.00052949)	Si



Cuadro S9: Continuación.

Micronutrientes totales				
Fe				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.50	<0.0001	(0.38814, 0.62348)	Si
Tratamiento 2-4	3.6	<0.0001	(3.49365, 3.72899)	Si
Tratamiento 2-1	3.80	<0.0001	(3.68836, 3.92371)	Si
Tratamiento 3-2	-0.50	<0.0001	(-0.62348, -0.38814)	Si
Tratamiento 3-4	3.10	<0.0001	(2.98784, 3.22318)	Si
Tratamiento 3-1	3.30	<0.0001	(3.18256, 3.41790)	Si
Tratamiento 4-2	-3.6	<0.0001	(-3.72899, -3.49365)	Si
Tratamiento 4-3	-3.10	<0.0001	(-3.22318, -2.98784)	Si
Tratamiento 4-1	0.19	<0.0001	(0.07704, 0.31239)	Si
Tratamiento 1-2	-3.80	<0.0001	(-3.92371, -3.68836)	Si
Tratamiento 1-3	-3.30	<0.0001	(-3.41790, -3.18256)	Si
Tratamiento 1-4	-0.19	<0.0001	(-0.31239, -0.07704)	Si
Zn				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 3-2	0.001	0.17	(-0.003598, 0.005894)	No
Tratamiento 3-4	0.12	<0.0001	(0.117941, 0.127433)	Si
Tratamiento 3-1	0.16	<0.0001	(0.156557, 0.166049)	Si
Tratamiento 2-3	-0.001	0.09	(-0.005894, 0.003598)	No
Tratamiento 2-4	0.12	<0.0001	(0.116793, 0.126285)	Si
Tratamiento 2-1	0.16	<0.0001	(0.155409, 0.164901)	Si
Tratamiento 4-3	-0.12	<0.0001	(-0.127433, -0.117941)	Si
Tratamiento 4-2	-0.12	<0.0001	(-0.126285, -0.116793)	Si
Tratamiento 4-1	0.038	<0.0001	(0.033870, 0.043362)	Si
Tratamiento 1-3	-0.16	<0.0001	(-0.166049, -0.156557)	Si
Tratamiento 1-2	-0.16	<0.0001	(-0.164901, -0.155409)	Si
Tratamiento 1-4	-0.03	<0.0001	(-0.043362, -0.033870)	Si
Mn				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.15	<0.0001	(0.10481, 0.19754)	Si
Tratamiento 2-4	1.48	<0.0001	(1.44209, 1.53483)	Si
Tratamiento 2-1	1.70	<0.0001	(1.65376, 1.74649)	Si
Tratamiento 3-2	-0.15	<0.0001	(-0.19754, -0.10481)	Si
Tratamiento 3-4	1.33	<0.0001	(1.29092, 1.38365)	Si
Tratamiento 3-1	1.54	<0.0001	(1.50258, 1.59531)	Si
Tratamiento 4-2	-1.48	<0.0001	(-1.53483, -1.44209)	Si
Tratamiento 4-3	-1.33	<0.0001	(-1.38365, -1.29092)	Si
Tratamiento 4-1	0.21	<0.0001	(0.16530, 0.25803)	Si
Tratamiento 1-2	-1.70	<0.0001	(-1.74649, -1.65376)	Si
Tratamiento 1-3	-1.54	<0.0001	(-1.59531, -1.50258)	Si
Tratamiento 1-4	-0.21	<0.0001	(-0.25803, -0.16530)	Si



Cuadro S9: Continuación.

Cu				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.006	<0.0001	(0.0057633, 0.0075155)	Si
Tratamiento 2-4	0.02	<0.0001	(0.0220963, 0.0238485)	Si
Tratamiento 2-1	0.02	<0.0001	(0.0251884, 0.0269406)	Si
Tratamiento 3-2	-0.006	<0.0001	(-0.0075155, -0.0057633)	Si
Tratamiento 3-4	0.016	<0.0001	(0.0154569, 0.0172091)	Si
Tratamiento 3-1	0.019	<0.0001	(0.0185490, 0.0203012)	Si
Tratamiento 4-2	-0.02	<0.0001	(-0.0238485, -0.0220963)	Si
Tratamiento 4-3	-0.016	<0.0001	(-0.0172091, -0.0154569)	Si
Tratamiento 4-1	0.003	<0.0001	(0.0022160, 0.0039682)	Si
Tratamiento 1-2	-0.02	<0.0001	(-0.0269406, -0.0251884)	Si
Tratamiento 1-3	-0.019	<0.0001	(-0.0203012, -0.0185490)	Si
Tratamiento 1-4	-0.003	<0.0001	(-0.0039682, -0.0022160)	Si
B				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.071	<0.0001	(0.067631, 0.075455)	Si
Tratamiento 2-4	0.131	<0.0001	(0.127771, 0.135595)	Si
Tratamiento 2-1	0.16	<0.0001	(0.159405, 0.167229)	Si
Tratamiento 3-2	-0.07	<0.0001	(-0.075455, -0.067631)	Si
Tratamiento 3-4	0.06	<0.0001	(0.056228, 0.064052)	Si
Tratamiento 3-1	0.09	<0.0001	(0.087862, 0.095686)	Si
Tratamiento 4-2	-0.13	<0.0001	(-0.135595, -0.127771)	Si
Tratamiento 4-3	-0.06	<0.0001	(-0.064052, -0.056228)	Si
Tratamiento 4-1	0.03	<0.0001	(0.027722, 0.035546)	Si
Tratamiento 1-2	-0.16	<0.0001	(-0.167229, -0.159405)	Si
Tratamiento 1-3	-0.09	<0.0001	(-0.095686, -0.087862)	Si
Tratamiento 1-4	-0.031	<0.0001	(-0.035546, -0.027722)	Si
Ni				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-3	0.001	<0.0001	(0.00159260, 0.00209000)	Si
Tratamiento 2-4	0.009	<0.0001	(0.00940050, 0.00989790)	Si
Tratamiento 2-1	0.009	<0.0001	(0.00961460, 0.01011200)	Si
Tratamiento 3-2	-0.0018	<0.0001	(-0.00209000, -0.00159260)	Si
Tratamiento 3-4	0.0078	<0.0001	(0.00755920, 0.00805660)	Si
Tratamiento 3-1	0.008	<0.0001	(0.00777330, 0.00827070)	Si
Tratamiento 4-2	-0.0096	<0.0001	(-0.00989790, -0.00940050)	Si
Tratamiento 4-3	-0.0078	<0.0001	(-0.00805660, -0.00755920)	Si
Tratamiento 4-1	0.00021	0.27	(-0.00003460, 0.00046280)	No
Tratamiento 1-2	-0.0098	<0.0001	(-0.01011200, -0.00961460)	Si
Tratamiento 1-3	-0.0080	<0.0001	(-0.00827070, -0.00777330)	Si
Tratamiento 1-4	-0.0002	0.017	(-0.00046280, 0.00003460)	No



Cuadro S9: Continuación.

Comparación	Mo				Significación
	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)		
Tratamiento 2-3	0.005	<0.0001	(0.00517310, 0.00550750)		Si
Tratamiento 2-4	0.008	<0.0001	(0.00801860, 0.00835300)		Si
Tratamiento 2-1	0.0093	<0.0001	(0.00921170, 0.00954610)		Si
Tratamiento 3-2	-0.0053	<0.0001	(-0.00550750, -0.00517310)		Si
Tratamiento 3-4	0.002	<0.0001	(0.00267830, 0.00301270)		Si
Tratamiento 3-1	0.0040	<0.0001	(0.00387140, 0.00420580)		Si
Tratamiento 4-2	-0.0081	<0.0001	(-0.00835300, -0.00801860)		Si
Tratamiento 4-3	-0.0028	<0.0001	(-0.00301270, -0.00267830)		Si
Tratamiento 4-1	0.001	<0.0001	(0.00102590, 0.00136030)		Si
Tratamiento 1-2	-0.009	<0.0001	(-0.00954610, -0.00921170)		Si
Tratamiento 1-3	-0.0040	<0.0001	(-0.00420580, -0.00387140)		Si
Tratamiento 1-4	-0.0011	<0.0001	(-0.00136030, -0.00102590)		Si

Cuadro S10: Resumen estadístico del análisis de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para la evaluación de colonización micorrízica. Los tratamientos aplicados en todos los casos fueron los siguientes: Tratamiento 1: Testigo, Tratamiento 2: plantas inoculadas con *Suillus placidus*, Tratamiento 3: plantas inoculadas con *Suillus placidus* + *Pseudomonas azotoformans*, Tratamiento 4: *Pseudomonas azotoformans*. p: probabilidad; IC (95%): intervalo de confianza del 95%.

Colonización micorrízica				
Comparación	Diferencia de medias	Valor p ajustado	IC (95 %)	Significación
Tratamiento 2-1	1394.8	<0.0001	(1376.223, 1413.377)	Si
Tratamiento 2-3	1472.2	<0.0001	(1453.623, 1490.777)	Si
Tratamiento 2-4	2406.2	<0.0001	(2387.623, 2424.777)	Si
Tratamiento 1-2	-1394.8	<0.0001	(-1413.377, -1376.223)	Si
Tratamiento 1-3	77.4	<0.0001	(58.823, 95.977)	Si
Tratamiento 1-4	1011.4	<0.0001	(992.823, 1029.977)	Si
Tratamiento 3-2	-1472.2	<0.0001	(-1490.777, -1453.623)	Si
Tratamiento 3-1	-77.4	<0.0001	(-95.977, -58.823)	Si
Tratamiento 3-4	934.0	<0.0001	(915.423, 952.577)	Si
Tratamiento 4-2	-2406.2	<0.0001	(-2424.777, -2387.623)	Si
Tratamiento 4-1	-1011.4	<0.0001	(-1029.977, -992.823)	Si
Tratamiento 4-3	-934.0	<0.0001	(-952.577, -915.423)	Si

