Efecto de Micorrizas Arbusculares y Sustratos Orgánicos en el Desarrollo de Especies Forestales Nativas en Vivero.

Benjamín José Manzanares.

Tutor: Mrs.  Pedro Silva.

Resumen.

La degradación forestal y la reducción de la biodiversidad representan un desafío ambiental crucial en Nicaragua, especialmente en León, un ecosistema de bosque seco tropical. Esta problemática afecta la capacidad del entorno para mitigar el cambio climático y sostener funciones ecológicas, resultando en un aumento de temperaturas. En este contexto, la producción de especies forestales enfrenta serias limitantes en vivero y campo, incluyendo la baja disponibilidad de nutrientes, el estrés hídrico y la escasa adaptación inicial.

Para abordar esto, los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) y los sustratos orgánicos (compost y lombrihumus) se proponen como alternativas sostenibles para mejorar el desarrollo vegetativo y la supervivencia de especies clave.

El estudio evaluó el efecto de la inoculación micorrízica y los sustratos orgánicos en el crecimiento de Guanacaste Negro (*Enterolobium cyclocarpum*) y Cedro Americano (*Cedrela Odorata*) en vivero, aunque una de las especies de interés no logró germinar. Se midieron variables como supervivencia, altura, diámetro del tallo y biomasa. La tinción de raíces confirmó la colonización simbiótica de los HFMA.

Los resultados finales demuestran que las observaciones sugieren una respuesta positiva a la inoculación y las enmiendas orgánicas, evidenciando un mejor establecimiento inicial y mayor potencial de adaptación. Este trabajo busca aportar información técnica para la mejora de prácticas de producción de plantas forestales en vivero, promoviendo alternativas integrales que sinteticen el uso de todos los elementos presentes en el entorno.

Palabras Clave: Simbiosis radicular, Colonización micorrízica, Sustentabilidad forestal ,Propagación nativa.

## Introducción

La pérdida de cobertura forestal y la degradación de los ecosistemas constituyen una de las principales amenazas para la sostenibilidad ambiental y productiva de Nicaragua. Según el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA, 2019), la deforestación ha provocado la alteración de los suelos, la reducción de fuentes de agua superficial y subterránea, y la fragmentación de corredores biológicos esenciales para la fauna nativa. Esta problemática no solo afecta la biodiversidad, sino que también limita la capacidad de los ecosistemas para mantener servicios esenciales como la fertilidad del suelo, la regulación climática y la producción forestal. En este contexto, los sistemas agroforestales y las estrategias de restauración ecológica se consolidan como alternativas sostenibles que integran la producción con la conservación, favoreciendo la resiliencia ambiental y social de los territorios.

Diversos estudios han demostrado que el éxito de las plantaciones forestales depende en gran medida del manejo en vivero, donde factores como la calidad del sustrato, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad simbiótica del sistema radicular determinan la supervivencia y el crecimiento inicial de las plántulas (Jeffries et al., 2003; Pimienta-Barrios, 2009). En particular, la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) ha mostrado resultados prometedores al establecer una relación mutualista con las raíces de las plantas, incrementando la absorción de fósforo, nitrógeno y micronutrientes, mejorando la estructura radicular y aumentando la tolerancia a condiciones de estrés hídrico o nutricional (Smith & Read, 2008; Chaiyasen et al., 2017). Estudios recientes destacan que las especies del género *Glomus* son altamente efectivas en la colonización de especies forestales tropicales y templadas, contribuyendo al vigor inicial y la adaptación al trasplante en campo (Marcia Toro, 2008; Janoušková et al., 2018).

El uso de sustratos orgánicos, como el compost y el lombricompuesto, representa otra alternativa sostenible para la producción de plantas en vivero. Estos materiales mejoran la aireación, la retención de humedad y el contenido microbiano del suelo, además de proveer nutrientes de liberación lenta que favorecen el desarrollo de la microbiota benéfica y de los hongos micorrízicos (Borie et al., 2010; Rodríguez et al., 2021). La combinación de estos sustratos con inoculación micorrízica puede potenciar la calidad fisiológica de las plántulas, acortar su permanencia en vivero y aumentar su tasa de supervivencia en campo. Sin embargo, la efectividad de esta interacción depende de factores como la compatibilidad hongo-planta, la composición físico-química del sustrato y las condiciones microclimáticas de cultivo, lo que hace necesario realizar

estudios experimentales bajo condiciones controladas que evalúen estas variables de forma comparativa.

A partir de estos antecedentes, surge la necesidad de evaluar estrategias biotecnológicas que mejoren el desarrollo de especies forestales nativas de importancia ecológica y económica. El problema central que se plantea es: ¿de qué manera la inoculación con micorrizas arbusculares y el uso de diferentes sustratos orgánicos (compost y lombrihumus) influyen en la germinación y el desarrollo fisiológico de *Quercus robur* y *Enterolobium cyclocarpum* en condiciones de vivero? Partiendo de la hipótesis de que la aplicación conjunta de micorrizas y sustratos orgánicos mejora significativamente el establecimiento y crecimiento de las plántulas, al optimizar la absorción de nutrientes esenciales y promover un desarrollo radicular más eficiente.

El objetivo general de la investigación es evaluar el efecto de la inoculación con micorrizas arbusculares y del uso de dos sustratos orgánicos sobre el desarrollo fisiológico de *Quercus robur* y *Enterolobium cyclocarpum* en condiciones de vivero, considerando que *Cedrela odorata* fue incluida en el diseño inicial, pero no logró germinar. Los objetivos específicos son: determinar el efecto de la inoculación micorrízica y del tipo de sustrato sobre el porcentaje de germinación y mortalidad; cuantificar su impacto en el desarrollo vegetativo (altura, diámetro del tallo y número de hojas); y evaluar la influencia de los tratamientos sobre la biomasa aérea y radicular como indicadores de vigor y crecimiento total.

## Materiales y Métodos

El presente estudio se enmarcará en un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, ya que permitirá caracterizar el efecto de la inoculación con micorrizas arbusculares y del tipo de sustrato orgánico sobre el desarrollo vegetativo de *Quercus robur* (roble) y *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste negro) en condiciones de vivero. Este enfoque se justifica porque posibilita obtener mediciones objetivas de variables morfológicas y fisiológicas, sin alterar los factores más allá de los tratamientos planificados, permitiendo establecer comparaciones entre grupos experimentales.

El estudio se desarrolló en el vivero experimental del Área de Ciencias Agrarias y Veterinarias (AECAV) del Campus Agropecuario de la UNAN-León, ubicado en una zona de clima tropical seco con régimen de lluvias de mayo a octubre y un período seco de noviembre a abril. La altitud promedio del sitio fue de 120 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas entre 24 y 32 °C y humedad relativa de 65–75 %.

El diseño experimental correspondió a un bifactorial completamente al azar, con dos factores principales: la inoculación con micorrizas arbusculares (presencia/ausencia) y el tipo de sustrato orgánico (lombrihumus y compost). De esta combinación se obtuvieron cuatro tratamientos:
T1) plantas con micorrizas en lombrihumus,
T2) plantas con micorrizas en compost,
T3) plantas sin micorrizas en lombrihumus (testigo 1), y
T4) plantas sin micorrizas en compost (testigo 2).
La distribución de los tratamientos se realizó de manera aleatoria en las mesas de vivero, procurando una separación adecuada entre unidades experimentales para evitar interferencias entre tratamientos.

La población en estudio estuvo constituida por todas las plántulas germinadas de *Q. robur* y *E. cyclocarpum*. En total se establecieron 240 bolsas por especie (20 por tratamiento), pero debido a diferencias en la germinación, solo 82 plántulas de

guanacaste y 42 de roble conformaron la población efectiva. Se seleccionó una muestra representativa mediante muestreo aleatorio simple, calculada con base en una precisión del 95 % y un coeficiente de variación esperado entre 0.25 y 0.30, aplicando la corrección para población finita. Como resultado, se seleccionaron 32 plántulas de guanacaste y 17 de roble por tratamiento, garantizando representatividad y control del error muestral. Para la germinación se realizó un censo completo de la población. La selección de plántulas se efectuó mediante números aleatorios generados en Excel, y cada planta fue etiquetada individualmente para asegurar la toma de datos repetida.

El establecimiento del ensayo inició con la adquisición y desinfección de las semillas, el tamizado de los sustratos, la preparación de las mezclas y la inoculación micorrízica. Las semillas de *Q. robur* y *E. cyclocarpum* se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5 % y se sometieron a un tratamiento pregerminativo mediante remojo en agua durante 19 horas para favorecer la imbibición. El compost y el lombrihumus se tamizaron con una malla de 2 × 2 cm y se mezclaron con carbón vegetal triturado, utilizado como enmienda complementaria, en una proporción de tres partes de sustrato por dos de carbón. Las mesas de vivero se instalaron el 16 de julio, asignando una a cada especie, y se rellenaron las bolsas con los sustratos preparados. La inoculación se realizó el 2 de agosto con micorrizas del género *Glomus*, aplicando 500 g del inóculo por cada 3.5 L de agua, según las recomendaciones del INTA; posteriormente se aplicaron 10 mL de la suspensión por bolsa en los tratamientos correspondientes.

Las variables evaluadas incluyeron:

- Porcentaje de germinación y supervivencia, determinados a partir de un censo completo de la población.
- Altura (cm) y diámetro del tallo al cuello (mm), por tratamiento mediante regla metálica y calibrador digital.
- Número y longitud de hojas (cm), registradas en las mismas plantas seleccionadas.

- Longitud de raíces (cm), medida al final del ensayo en tratamientos inoculados y no inoculados

Las técnicas de recolección de datos incluyeron observación directa y medición en campo, complementadas con registros fotográficos y hojas de cálculo digitales. La validez de los instrumentos se aseguró mediante calibración de los equipos de medición y verificación cruzada de los formularios de campo.

Los datos fueron procesados en Microsoft Excel y analizados mediante el software SPSS, aplicando estadística descriptiva (media, desviación estándar y error estándar) y análisis de varianza (ANOVA) para comparar los tratamientos con un nivel de confianza del 95 %. En caso de no cumplirse los supuestos de normalidad o homogeneidad, se recurrió a pruebas no paramétricas equivalentes Kruskal–Wallis.

Resultados y Discusión

Tabla 1. Resumen de la Germinación Total por Especie

| ESPECIE | N° DE SEMILLAS GERMINADAS | % |
|---|---|---|
| **GUANACASTE NEGRO** | 80 | 33.3 |
| **ROBLE** | 40 | 16.7 |

Se observó una tendencia general en la que *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste negro) presentó una mayor germinación con 80 de 240 semillas en todos los tratamientos en comparación con *Quercus robur* (roble), cuya respuesta fue marcadamente inferior con 40 semillas germinadas de 240. Esta diferencia (33.3 % frente a 16.7 %) puede atribuirse a las características fisiológicas y a la latencia seminal propias de cada especie (Hartmann et al., 2011; Bewley et al., 2013).

En *E. cyclocarpum*, las mayores medias se registraron en los tratamientos con micorrizas + lombrihumus y lombrihumus solo, lo que sugiere que este sustrato orgánico favorece la germinación, posiblemente por su aporte de microorganismos y nutrientes fácilmente asimilables (Azcón & Barea, 2017). En contraste, *Q. robur* mostró una germinación limitada incluso en condiciones enriquecidas, indicando que su éxito depende más de la ruptura de dormancia y de factores fisiológicos internos que del tipo de sustrato (Baskin & Baskin, 2014).

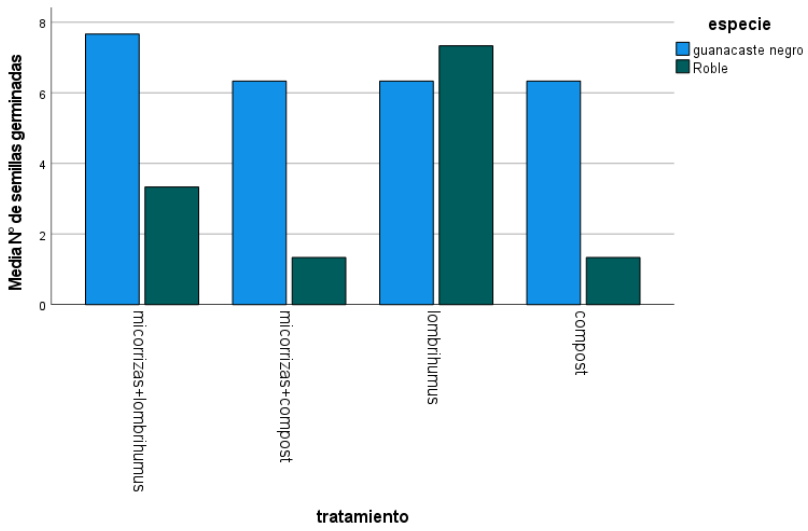



Figura 1. Media de Semillas Germinadas de *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste Negro) y *Quercus* sp. (Roble) en Función de Diferentes Sustratos y Bioinoculantes.

El número de semillas germinadas reflejó diferencias notables entre especies y tratamientos, evidenciando la influencia del tipo de sustrato y la interacción con las micorrizas. En general, *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste negro) presentó un número significativamente mayor de semillas germinadas en comparación con *Quercus robur* (roble), patrón que coincide con los resultados de germinación porcentual descritos anteriormente.

De forma similar a lo reportado por varios autores (Mateo et al., 2011; Romero-Arenas et al., 2013), la adición de lombrihumus a la mezcla de sustrato —ya sea solo o combinado con micorrizas— mostró una relación positiva con la cantidad de semillas germinadas en *E. cyclocarpum*. Este comportamiento se asocia con la mejora de las condiciones físico-químicas del sustrato, como la aireación, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes, promovidas por el contenido de ácidos húmicos y microorganismos benéficos presentes en el lombrihumus (Edwards et al., 2010; Azcón & Barea, 2017).

Por el contrario, la baja germinación registrada en *Q. robur* concuerda con su conocida latencia fisiológica y su sensibilidad a condiciones de exceso de humedad o a sustratos con alta actividad microbiana (Baskin & Baskin, 2014). Es probable que el pH y la composición del compost o del lombrihumus no hayan sido óptimos para favorecer la imbibición o la ruptura de la dormancia en esta especie.

Altura (cm) y diámetro del tallo al cuello (mm)

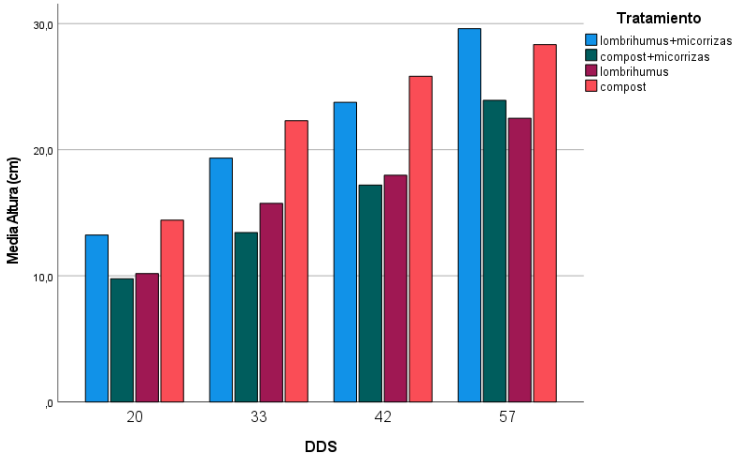



Fig2. Media de la Altura de las Plantas (cm) bajo Cuatro Tratamientos Biológicos, medida en Días Después de la Siembra (DDS)

El análisis de la evolución de la altura de las plántulas de *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste negro) reveló que el tratamiento con **lombribono + micorrizas** fue consistentemente el más efectivo, promoviendo el mayor crecimiento vertical y alcanzando cerca de 30 cm a los 57 días después de la siembra (DDS). Este resultado evidencia un efecto sinérgico entre el lombrihumus —sustrato orgánico rico en fitohormonas, ácidos húmicos y microorganismos beneficiosos— y la simbiosis micorrízica, que amplía la zona de exploración radicular y mejora la absorción de nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno (Smith & Read, 2008; Azcón & Barea, 2017).

En contraste, el tratamiento **compost + micorrizas** mostró el menor crecimiento en altura, manteniendo los valores más bajos durante todo el ensayo. Esta tendencia podría atribuirse a una posible **interacción antagónica** entre los compuestos del compost y la viabilidad del inóculo micorrízico, especialmente si el compost no se encontraba completamente estabilizado. Compost inmaduros o con alta salinidad pueden liberar amonio o ácidos orgánicos fitotóxicos que afectan la colonización fúngica y el desarrollo inicial de las plántulas (Zucconi et al., 1981; Hargreaves et al., 2008).

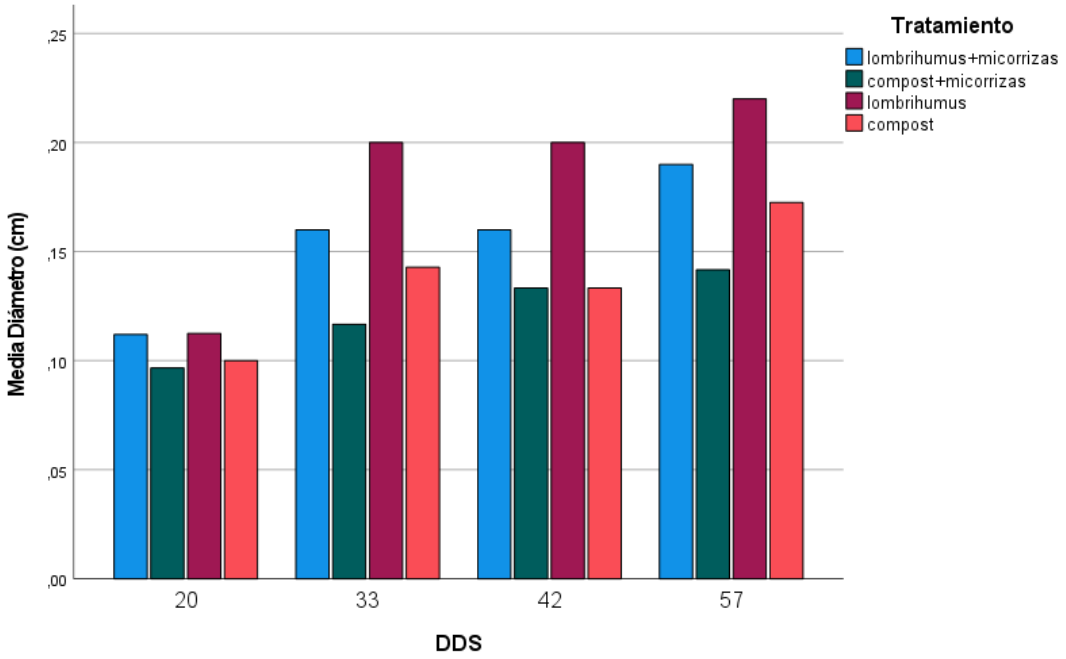



Fig 3. Evolución de la Media del Diámetro (cm) de Plantas bajo Cuatro Tratamientos Biológicos, medida en Días Después de la Siembra (DDS)

Se observó que el tratamiento con **lombrihumus puro** (sin adición de micorrizas) resultó ser el más eficaz para promover el **engrosamiento del tallo**, registrando la media de diámetro más alta en las últimas mediciones (33, 42 y 57 DDS). Este hallazgo sugiere una **redistribución de la biomasa** hacia estructuras de soporte y procesos de lignificación, en contraste con el crecimiento vertical predominante en el tratamiento con lombrihumus + micorrizas.El alto contenido de **nutrientes minerales, fitohormonas y ácidos húmicos** presentes en el lombrihumus probablemente estimuló la diferenciación del xilema y el fortalecimiento de los tejidos de sostén, factores determinantes en la calidad de las plántulas para su posterior establecimiento en campo (Mexal et al., 2002; Edwards et al., 2010).

En contraste, y en coherencia con los resultados obtenidos para la altura, los tratamientos que incluyeron **compost** presentaron los valores más bajos de diámetro. Esto refuerza la hipótesis de que la calidad del compost utilizado fue **subóptima para**

**etapas tempranas**, posiblemente debido a una granulometría poco adecuada o a una baja disponibilidad de macronutrientes esenciales para la expansión celular y la turgencia (Pérez-Moreno et al., 2017).

Si bien la **Prueba de Kruskal–Wallis** no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, la tendencia observada sugiere que las diferencias biológicas sí existieron, pero podrían haber quedado enmascaradas por la **variabilidad intrínseca** de las plántulas o por el reducido tamaño muestral.

En conjunto, la diferencia en el tratamiento más favorable según la variable —**lombribono puro para el diámetro** versus **lombribono + micorrizas para la altura**— sugiere **estrategias contrastantes de asignación de biomasa**. Mientras la inoculación micorrízica canalizó recursos hacia la exploración vertical del dosel, el uso exclusivo de lombrihumus promovió una mayor robustez estructural, atributo prioritario en la producción de plantas forestales de alta calidad para viveros (Landis et al., 2010).

Número y longitud de hojas (cm)

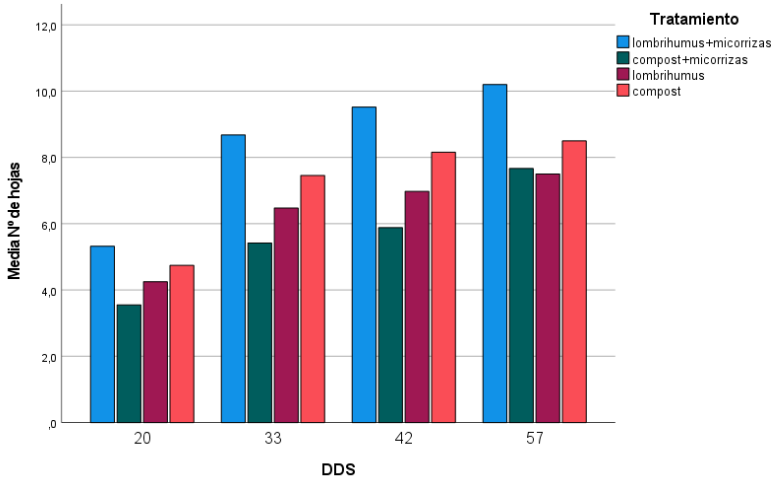



Fig 4. Comparación del Promedio del Número de Hojas en Plantas según el Tipo de Tratamiento (20 a 57 DDS)

El tratamiento con **lombribono + micorrizas** (barra azul claro) fue consistentemente el más eficaz para la **producción foliar**, manteniendo el promedio más alto de hojas en todos los puntos de medición y superando las 10 hojas a los 57 días después de la siembra (DDS). Este resultado refuerza la tendencia observada en la variable de altura, indicando que la combinación de un sustrato de alta calidad como el lombrihumus con un bioinoculante micorrízico optimiza el **crecimiento vegetativo aéreo**.

La **sinergia biológica** entre ambos factores parece derivar de la alta disponibilidad de nutrientes del lombrihumus y la mayor capacidad de absorción de agua y minerales facilitada por la red hifal de las micorrizas arbusculares (Smith & Read, 2008). Esta interacción favorece la **expansión foliar** y la **eficiencia fotosintética**, ya que una mayor área foliar incrementa la captación de energía solar y, por tanto, la producción de fotoasimilados destinados tanto a la elongación del tallo como al desarrollo de nuevas hojas (Pérez-Moreno et al., 2017; Taiz et al., 2015).

En contraste, el tratamiento **compost + micorrizas** (barra verde oscuro) registró los valores más bajos de producción foliar. Esta tendencia, coherente con los resultados de altura y diámetro, sugiere una **posible inhibición o interacción negativa** entre la

composición del compost y la actividad micorrízica. La baja producción de hojas podría reflejar una respuesta de la planta ante **condiciones de estrés edáfico**, asociadas con compost inmaduro o con la presencia de compuestos fitotóxicos que limitan la expansión celular y la diferenciación de meristemos apicales (Zucconi et al., 1981; Hargreaves et al., 2008).

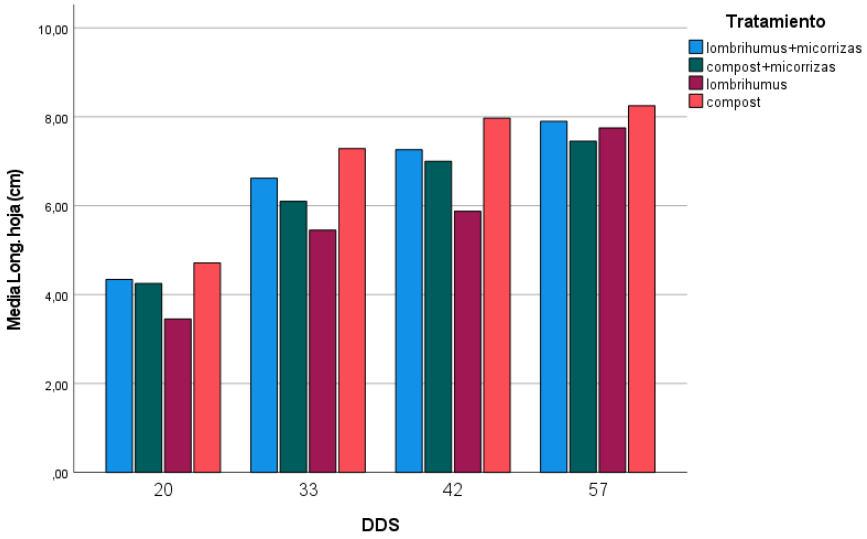



Fig 5. Comparación de la Media de la Longitud Final de la Hoja (cm) entre los Diferentes Tratamientos Biológicos

El tratamiento con lombribono + micorrizas (barra azul claro) fue consistentemente el más eficaz para la producción foliar, manteniendo el promedio más alto de hojas en todos los puntos de medición y superando las 10 hojas a los 57 días después de la siembra (DDS). Este resultado refuerza la tendencia observada en la variable de altura, indicando que la combinación de un sustrato de alta calidad como el lombrihumus con un bioinoculante micorrízico optimiza el crecimiento vegetativo aéreo.

La sinergia biológica entre ambos factores parece derivar de la alta disponibilidad de nutrientes del lombrihumus y la mayor capacidad de absorción de agua y minerales facilitada por la red hifal de las micorrizas arbusculares (Smith & Read, 2008). Esta interacción favorece la expansión foliar y la eficiencia fotosintética, ya que una mayor área foliar incrementa la captación de energía solar y, por tanto, la producción de fotoasimilados destinados tanto a la elongación del tallo como al desarrollo de nuevas hojas (Pérez-Moreno et al., 2017; Taiz et al., 2015).

En contraste, el tratamiento compost + micorrizas (barra verde oscuro) registró los valores más bajos de producción foliar. Esta tendencia, coherente con los resultados de altura y diámetro, sugiere una posible inhibición o interacción negativa entre la

composición del compost y la actividad micorrízica. La baja producción de hojas podría reflejar una respuesta de la planta ante condiciones de estrés edáfico, asociadas con compost inmaduro o con la presencia de compuestos fitotóxicos que limitan la expansión celular y la diferenciación de meristemos apicales (Zucconi et al., 1981; Hargreaves et al., 2008).



Figura 6. Comparación del Desarrollo Aéreo y Radical de. *Enterolobium C.* y Figura 7. *Quercus* sp. en Distintos Tratamientos

La inspección del sistema radicular mediante **safranina** (Figuras 7 y 6) proporcionó evidencia cualitativa que complementa los datos de longitud de raíces. Esta tinción resalta tejidos lignificados y biomasa fúngica, facilitando la identificación de hifas micorrízicas (Phillips & Hayman, 1970; Kormanik et al., 1980).

En *Enterolobium cyclocarpum* (Figura 6), las raíces de plántulas inoculadas (hilera superior) mostraron mayor densidad y ramificación que las no inoculadas (hilera central e inferior), indicando que la simbiosis micorrízica favoreció la exploración del suelo y la absorción de nutrientes.

De manera similar, en *Quercus sp.* (Figura 7), los tratamientos inoculados exhibieron raíces más robustas y teñidas, aunque la germinación y crecimiento fueron limitados. La

presencia de raíces densas en plántulas no inoculadas sugiere que se requerirían métodos más precisos para diferenciar colonización fúngica de lignificación natural.

Estos hallazgos apoyan que los hongos micorrízicos modifican la arquitectura radicular, aumentando la ramificación y longitud, esenciales para la supervivencia y establecimiento de las plántulas (Smith & Read, 2008).

**Conclusiones**

1. **Germinación de semillas:**
   *Enterolobium cyclocarpum* presentó un porcentaje de germinación notablemente mayor que *Quercus sp.* (33,3 % vs. 16,7 %), confirmando la influencia de la fisiología y latencia seminal de cada especie. Los tratamientos con **lombribono**, ya sea solo o combinado con micorrizas, fueron los más efectivos para guanacaste negro, mientras que el compost mostró un desempeño significativamente inferior, particularmente para roble, evidenciando que la calidad y madurez del sustrato impactan directamente la germinación.

2. **Crecimiento en altura y número de hojas:**
   La combinación **lombribono + micorrizas** promovió el mayor crecimiento vertical y la producción foliar de guanacaste negro, alcanzando alturas cercanas a 30 cm y más de 10 hojas por planta a los 57 DDS. Esto indica un efecto sinérgico entre un sustrato orgánico de alta calidad y la simbiosis micorrízica, que mejora la absorción de nutrientes y agua, favoreciendo la fotosíntesis y el desarrollo de la parte aérea. Por el contrario, los tratamientos con compost mostraron un crecimiento reducido, evidenciando posibles efectos inhibitorios sobre el desarrollo inicial de la planta.

3. **Diámetro del tallo:**
   El **lombribono puro** fue más eficiente en estimular el engrosamiento del tallo, promoviendo estructuras más robustas y lignificadas. Esto sugiere una **asignación diferencial de biomasa**: la inoculación micorrízica prioriza la elongación vertical, mientras que el lombrihumus sin inocular favorece la fortaleza estructural, un atributo crítico para la resistencia al estrés mecánico y la sequía en plántulas destinadas a trasplante.

4. **Longitud y densidad radicular:**
   Las raíces de plántulas inoculadas mostraron mayor longitud y ramificación, especialmente con lombrihumus + micorrizas. La evidencia visual mediante tinción con safranina confirmó un desarrollo radicular más denso y coloración intensa, indicativa de lignificación y posible colonización micorrízica. Esto sugiere que la simbiosis micorrízica mejora la exploración del suelo y la absorción de nutrientes, incluso en especies con baja germinación como el roble.

5. **Implicaciones prácticas para vivero:**
   Para obtener plántulas de alta calidad, se recomienda utilizar **lombribono en combinación con inoculación micorrízica**, ya que potencia simultáneamente el crecimiento aéreo y radicular. El **compost**, particularmente si está inmaduro o con alta actividad microbiana, debe aplicarse con precaución, ya que puede limitar la germinación y el desarrollo inicial.

Bibliografia.


- Azcón-Aguilar, C., & Barea, J. M. (1997). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens—a review. *Crop Protection, 16*, 539–545. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00050-0
- Ballaoui, M., El Gabardi, S., Adnani, M., Selmaoui, K., Saidi, N., Msairi, S., Mouden, N., El Alaoui, M. A., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (n.d.). *Enhanced fig tree production through endomycorrhizal fungi inoculation: A nursery study on tree cuttings derived from the Ifrane Region, Morocco.* Université Ibn Tofail.
- Barea, J. M., Azcón, R., & Hayman, D. S. (1975). Possible synergistic interactions between Endomycorrhiza and Rhizobium and their effects on yield of *Medicago sativa*. *Nature, 256*(5517), 53–55. https://doi.org/10.1038/256053a0
- Chaiyasen, A., et al. (2017). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in *Tectona grandis* plantations and their effects on growth of micropropagated plantlets. *New Forests, 48*, 547–562.
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Sherman, R. (2010). *Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes, and environmental management.* CRC Press.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., & Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils, 37*, 1–16.
- Kapoor, R., Sharma, D., & Bhatnagar, A. (2008). Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae, 116*, 227–239.
- Mexal, J. G., Landis, T. D., & South, D. B. (2002). *Reforestation practices in southwestern forests.* New Mexico State University.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society, 55*(1), 158–161. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3

- Ramírez Gómez, M. M., Peñaranda Rolon, A. M., Pérez Moncada, U. A., & Serralde, D. P. (2018). Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 16*(2), 86–95. https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n2.96
- Schultz, R. C., Kormanik, P. P., & Bryan, W. C. (1981). Effects of fertilization and vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation on growth of hardwood seedlings. *Soil Science Society of America Journal, 45*(5), 933–937. https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050029x
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., & de Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle, 22*(2), 54–57.