

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5065

**Evaluación del porcentaje de micorrización en pinus
pseudostrobus lindl establecido en áreas degradadas
adicionando carbón vegetal**

Carlos Cuevas-Suárez

<https://orcid.org/0000-0001-8556-9885>

carlos.cuevas@perote.tecnm.mx

Instituto Tecnológico Superior de Perote,
Ingeniería Forestal, Biología

Anahí Atanasio-Osorio

<https://orcid.org/0009-0005-3443-2746>

Instituto Tecnológico Superior de Perote

Cesar E., Martínez-Maldonado

<https://orcid.org/0009-0009-2027-9110>

Instituto Tecnológico Superior de Perote

Lilia Ortiz-Rodríguez

<https://orcid.org/0000-0002-5548-0078>

Instituto Tecnológico Superior de Perote

Afiliación de los Autores
Veracruz, México.

Correspondencia: carlos.cuevas@perote.tecnm.mx

Artículo recibido 15 enero 2023 Aceptado para publicación: 15 febrero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Cuevas-Suárez, C., Osorio, A. A., Martínez-Maldonado, C. E., & Ortiz-Rodríguez, L. (2023). Evaluación del porcentaje de micorrización en pinus pseudostrobus lindl establecido en áreas degradadas adicionando carbón vegetal. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 9687-9401. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5065

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.

ISN 2707-2207/ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero, 2023, Volumen 7, Número 1 p 9387

RESUMEN

Los hábitats forestales muestran cambios significativos en sus funciones como ecosistema debido a las alteraciones antropogénicas, causando sequías y deterioro de los suelos forestales, lo cual ha obligado a generar alternativas para rehabilitar y restaurar estas zonas, el uso de micorrizas y planta de la especie ideal pueden generar efectos favorables en su adaptabilidad a superficies degradadas proporcionando un mayor flujo de nutrientes y retención de agua, adicionando carbón vegetal se ha mejorado su productividad y vigorosidad de la planta. En el presente trabajo se estableció un ensayo de 2 tratamientos y un testigo, en áreas deforestadas y degradadas con la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl, empleando carbón vegetal como parte del sustrato y adicionando *Suillus granulatus* en un tratamiento y (*Boletus* sp, *Amanita* sp, y *Cantharellus cibarius*) en otro, como agentes formadores de ectomicorriza. Durante el experimento se evaluó la sobrevivencia y el porcentaje de micorrización, caracterizándolas morfológicamente. Los resultados obtenidos en el experimento los dos tratamientos muestran que la adición de carbón vegetal tiende a retener mayor humedad a diferencia de las que no se les adiciono, esto hace suponer que tuvo repercusión importante en la sobrevivencia y en el porcentaje de la asociación simbiótica, el tratamiento variedad de hongos con dosis de carbon vegetal ½ muestra mejor respuesta en porcentajes de micorrización 68%, seguido del tratamiento de *Suillus granulatus* 55.5%, respecto al testigo 26.5%.

Palabras clave: *p. pseudostrobus*; restauración; rehabilitación; caracterización morfológica; ectomicorriza.

Evaluation of the percentage of mycorrhization in *pinus pseudostrobus* lindl established in degraded areas by adding charcoal

ABSTRACT

Forest habitats show significant changes in their functions as an ecosystem due to anthropogenic alterations, causing droughts and deterioration of forest soils, which has forced the generation of alternatives to rehabilitate and restore these areas, the use of mycorrhizae and plant of the ideal species. They can generate favorable effects on their adaptability to degraded surfaces, providing a greater flow of nutrients and water retention, adding charcoal has improved their productivity and vigor of the plant. In the present work, a trial of 2 treatments and a control was established in deforested and degraded areas with the *Pinus pseudostrobus* Lindl species, using charcoal as part of the substrate and adding *Suillus granulatus* in one treatment and (*Boletus* sp, *Amanita* sp, and *Cantharellus cibarius*) in another, as ectomycorrhiza-forming agents. During the experiment, survival and mycorrhization percentage were evaluated, characterizing them morphologically. The results obtained in the experiment of the two treatments show that the addition of charcoal tends to retain more moisture than those that were not added, this suggests that it had an important impact on survival and on the percentage of the symbiotic association, the treatment of a variety of fungi with a dose of charcoal ½ shows a better response in percentages of mycorrhization 68%, followed by the treatment of *Suillus granulatus* 55.5%, compared to the control 26.5%.

Keywords: *p. pseudostrobus*; restoration; rehabilitation; morphological characterization; ectomycorrhiza.

INTRODUCCIÓN

La gran variedad de hábitats forestales están sufriendo cambios importantes debido a los cambios de uso de suelo, con fines agrícolas, sobrepastoreos, deforestación, urbanización, ganadería extensiva, cultivos alimentarios y explotación de minerales, han llegado a un punto de la degradación total para poder soportar una restauración natural al momento del abandono, esto ha obligado a generar alternativas para realizar rehabilitación y/o restauración de áreas preferentemente forestales de manera asistida. Las situaciones del déficit hídrico como parte principal de la degradación de suelos en la vida de las plantas son muy frecuentes, la disponibilidad de agua resulta el primer factor limitante del crecimiento vegetal, el estrés hídrico depende de la disponibilidad de agua, temperatura y otros factores físicos de la atmosfera y del suelo. Los suelos degradados son más propensos a presentar condiciones de sequía por la pérdida de materia orgánica y estructura lo que reduce la capacidad de retención de agua. En México este proceso de degradación es común y como consecuencia existen sitios severamente erosionados, habitualmente los espacios utilizados para rehabilitación o restauración forestal se encuentran en zonas expuestas a un severo estrés hídrico, la simbiosis micorrízica es de vital importancia para el establecimiento, supervivencia y crecimiento de plantas, dando efectos positivos en su funcionamiento bajo estas condiciones, disminuyendo los efectos negativos de la sequía en la planta hospedera (Barroetaveña *et al.* 2012; Gómez *et al.* 2015; Kjoller y Bruns 2003).

Los hongos ectomicorrizógenos contribuyen a una mayor absorción del agua, flujo de nutrientes del suelo, ofreciendo soporte para una mayor sobrevivencia y adecuado funcionamiento, al mismo tiempo de protección a las raíces de patógenos, adicionando carbón vegetal siendo este un subproducto rico en carbono derivado de la biomasa producida por descomposición térmica en ausencia parcial o total de oxígeno (pirólisis) y aplicándolo al suelo es una estrategia para mejorar el almacenamiento de carbono en el suelo, mientras que, al mismo tiempo promover la productividad de las plantas a través de la mejora de la acidez del suelo reduciendo la lixiviación de nutrientes (Chen *et al.* 2019; Dai *et al.* 2017; Farrell *et al.* 2013).

Justificando que al realizar la adición de carbón vegetal aumenta en promedio el rendimiento del cultivo en aproximadamente un 10% (Novak *et al.* 2016), aumenta la retención de humedad del suelo, eleva el pH, porosidad y capacidad de intercambio

catiónico (CEC), mejora la infiltración de agua, agrega carbono lábil a suelos altamente degradados (Campbell *et al.* 2018; Jeffery *et al.* 2017; Lehmann 2007; Lehmann y Joseph 2015; Lone *et al.* 2015; Novak *et al.* 2015; Novak *et al.* 2016), así mismo, estudios han sugerido que este material es capaz de mejorar los hábitats microbianos en bosques de bambú y su reproducción (Chen *et al.* 2017; Li *et al.* 2018; Xu *et al.* 2016) y propuesto como medio efectivo para reducir las emisiones de GEI de la agricultura y suelos forestales (Kammann *et al.* 2017; Smith *et al.* 2014) y mitigador del calentamiento global (Lehmann *et al.* 2006; Mandal *et al.* 2016; Smith 2016; Woolf *et al.* 2010).

Basados en lo anterior, se estableció un experimento en áreas deforestadas y degradadas con la especie de *Pinus pseudostrabus* con diferentes especies de hongos ectomicorrizógenos, adicionando carbón vegetal como parte del sustrato, aportando condiciones favorables para la supervivencia en campo.

MÉTODOS

Área de investigación. La investigación se realizó en áreas del Instituto Tecnológico Superior de Perote, situado en el Kilómetro 2.5 de la carretera Federal Perote-México, en la localidad de Perote, Veracruz.

Obtención del material biológico. Las plántulas inoculadas de la especie *Pinus pseudostrabus* Lindl fueron producidas en el vivero del Instituto Tecnológico Superior de Perote. Los hongos ectomicorrizógenos (HECM) presentes en plántulas fueron *Suillus granulatus*, *Boletus sp*, *Amanita sp*, *Cantharellus cibarius*; colectados en la Reserva Ecológica San Juan del Monte, municipio Las Vigas de Ramírez, Veracruz, México.

El biochar o carbón vegetal se obtuvo del predio “Cerro de Gallegos” de la comunidad de Mozomboa, municipio de Actopan, Veracruz, México. Dicho material obtenido como subproducto a partir de las especies *Lysiloma divaricata*, *Senna atomaria*, *Luehena candida* y *Thouinidium decamdrum*, especies forestales de selva baja caducifolia, producido en un horno metálico por medio de un proceso de pirolisis.

Establecimiento del experimento. Las plantas de *P. pseudostrabus* fueron mantenidas en contenedores, manteniéndola en estrés para su traslado a campo. La plantación se efectuó, con un total de 90 plántulas, las cuales se distribuyeron en 2 tratamientos de 2x10m y un testigo, cada tratamiento consto de 30 plántulas inoculadas con diferentes hongos ectomicorrizógenos 2.5 mm de *Suillus granulatus* y 2.5 mm de variedad de hongos y un testigo al cual se le aplico 2.5 mm de inoculo de todas las especies.

Carbón vegetal o biochar como sustrato. Los tratamientos se dividieron en dos a uno se les añadió una dosis $\frac{1}{2}$ (256 gr) y a otro la dosis de $\frac{1}{4}$ (128 gr), a excepción del testigo que fue sin dosis.

Caracterización morfológica. La caracterización macromorfológica se efectuó un mes posterior a la plantación. El cepellón se remojo durante 24 horas, posteriormente se retiró la parte aérea, se limpió la raíz cuidadosamente con agua destilada, la cual fue dividida en tres áreas iguales (superior, media e inferior). Después se prosiguió a extender la raíz de cada área y cortar segmentos de 5 cm, para su posterior conteo en el microscopio estereoscópico.

Se analizaron las características macromorfológica más comunes de las raíces micorrizadas tales como: longitud, diámetro, color, tipo de ramificación, forma de las puntas no ramificadas, textura y anatomía del manto de las micorrizas; el procedimiento se realizó de acuerdo al sistema de información para la caracterización y determinación de ectomicorrizas (Agerer y Rambold 1997).

Análisis de datos. Para la caracterización de las ectomicorrizas presentes en las plantas se efectuó un análisis completamente al azar, para la obtención de plantas en campo, teniendo en cuenta el tratamiento y dosis de biochar o carbón vegetal correspondiente. Se analizaron un total de 30 plantas como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Número de plantas seleccionadas

Tratamiento	Testigo	<i>S. granulatus</i>		Variedad de hongos	
Dosis	Sin Dosis	1/2	1/4	1/2	1/4
No. planta seleccionada	2	11	21	9	27
	25	12	27	7	29
	3	6	28	12	26
	13	10	30	14	30
	5	7	17	13	17
	12	2	19	2	20
Total plantas/Dosis	6	6	6	6	6
Total	30				

Para la obtención de porcentajes de micorrización, se efectuó un conteo en el microscopio estereoscópico, en el cual se separaron en raíces i) micorrizadas, ii) no micorrizadas.

Se registraron y revisaron los datos en una base de datos, para su procesamiento y poder obtener tener datos cuantitativos utilizando el siguiente proceso:

- Número de raíces micorrizadas= Número total de raíces micorrizadas

- Número de raíces no micorrizadas= Aquellas que no muestran ser micorrizadas
- Raíces Totales= Número total de raíces micorrizadas y no micorrizadas
- Porcentajes de micorrización= (Numero de raíces micorrizadas* 100)/ Número de raíces totales.

Esto se efectuó de manera individual a cada planta seleccionada, posteriormente a partir de estos datos se obtuvieron los análisis estadísticos por cada tratamiento y dosificación de biochar.

Análisis estadístico: Para la comprensión, análisis y descripción de los resultados se utilizó el software estadístico R el cual es un entorno informático estadístico que incluye herramientas de análisis de datos y generación de gráficas, apoyado con un diseño factorial con dos factores de dos y tres niveles.

RESULTADOS

Caracterización de ectomicorrizas. *Suillus granulatus*. Micorrizas de sistema monopoidal-pinada a piramidal con tendencias en su mayoría dicotómicas, y en menor abundancia ausente de primer y segundo orden rectas, las ramas crecen con diferente longitud (1-4.5 mm) y diámetro (0.2-1 mm) de tonalidad amarillento pálido a café-marrón en etapas más desarrolladas. Las terminaciones no ramificadas presentan formas rectas, de superficie brillante lisa-reticulada, fondo beige-rosáceo, las puntas presentan formas infladas a cónicas de coloración rojiza. Rizomorfos infrecuentes a frecuentes de tonalidad blanco. Manto visible de color blanquecino. La base de la micorrización permanece café. Sistema micorrízico abundante a solitario. (Figura 1)

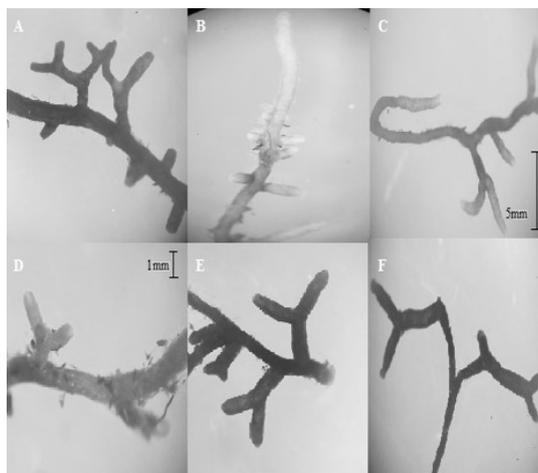


Figura 1. Ectomicorriza de *P. pseudostrobus* con el hongo *Suillus granulatus*.

a) Ramificación dicotómica de *P. pseudostrobus* con *Suillus granulatus*; b) sistema monopoidal-piramidal; c), d), e) y f) puntas rectas con terminaciones infladas de *P. pseudostrobus* con *Suillus granulatus*.

Variedad de Hongos. Sistema monopoidal-pinada a piramidal, dicotómicas en su mayoría con presencia de 2 y 3 niveles, las ramas crecen con diferente longitud (1-5 mm) y diámetro (0.5-1 mm), presenta tonalidades amarillo traslucido, marrón a café negruzco, anaranjado-amarillo brillante. Puntas cilíndricas de superficie lisa a estriada con terminaciones cónicas redondeadas en tonalidad blanco-plateado, beige a café-dorado. Rizomorfos frecuentes a infrecuentes. Manto envolvente de forma algodonosa en tonalidad blanco. Sistema micorrízico abundante. (Figura 2)

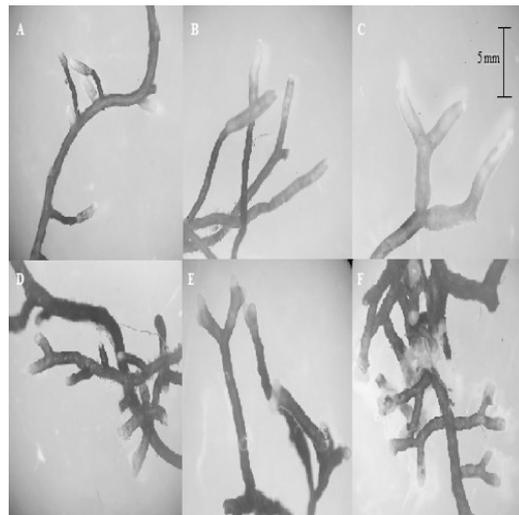


Figura 2. Ectomicorriza de *P. pseudostrobus* con una variedad de hongos (*Boletus* sp, *Amanita* sp, *Cantharellus cibarius*). a) Ramificación simple a no ramificada; b), c) puntas cilíndricas con terminaciones cónicas; d) y e) ramificaciones dicotómicas en estado maduro; f) manto envolvente en puntas.

Porcentajes de micorrización. El tratamiento variedad de hongos muestra un mayor porcentaje de micorrización (68%) sobre los demás tratamientos, seguido del tratamiento *S. granulatus* con un porcentaje del 56% respecto a la dosis ½ de carbón vegetal adicionado como sustrato. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentajes de micorrización por tratamiento

Tratamiento	Testigo	<i>S. granulatus</i>		Variedad de hongos	
		1/2	1/4	1/2	1/4
Dosis	Sin dosis	1/2	1/4	1/2	1/4
% micorrización	26.5	56	55	68	52

Podemos notar que ambos tratamientos tienen una respuesta favorable en porcentajes de micorrización (Figura 3), de la misma manera podemos apreciar que ambas dosis de

carbón vegetal funcionan como sustrato en *P. pseudostrobis*, lo que hace suponer que tiene relevancia en la sobrevivencia de la ectomicorriza.

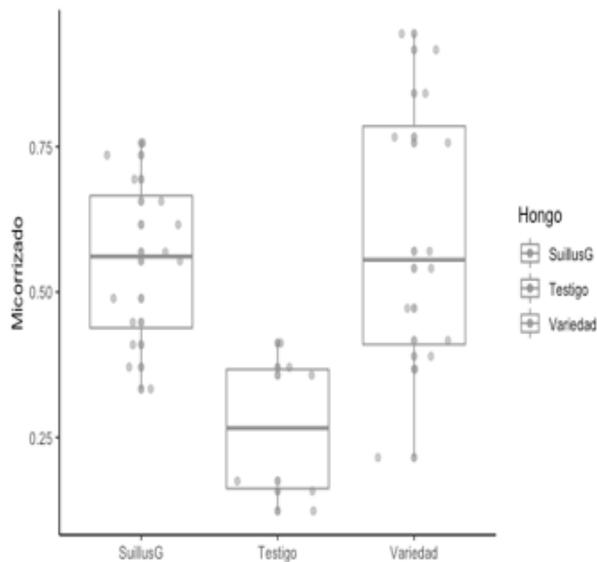


Figura 3. Porcentaje de micorrización por tratamiento

Aplicación de biochar o carbón vegetal: En la dosis $\frac{1}{2}$ proporciona ligeramente mejores resultados respecto a la dosis $\frac{1}{4}$, por lo que en primera instancia podemos decir que hay una ligera interacción entre el tratamiento variedad de hongos y la dosis de biochar de $\frac{1}{2}$, que produce una mayor proporción de micorrización, sin embargo, se puede ver que hay algunas observaciones extremas (de menos de 0.50 y 0.25) en esta combinación (Figura 4).

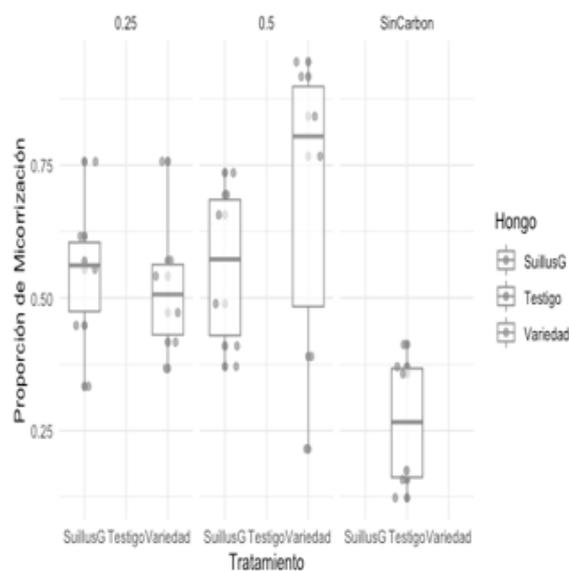


Figura 4. Interacción entre Tratamiento y Dosis de Biochar

Análisis de Varianza con observaciones extremas: En el cuadro 3 se aprecia que solo la dosis de biochar resulto significativa, con estos resultados podemos notar que las observaciones extremas si tienen influencia en los resultados.

Cuadro 3. Análisis de varianza para el experimento factorial 3x2

Fuentes de Variabilidad.	gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-p
Dosis Biochar	2	0.5062	0.25311	7.339	0.00311 **
Hongo	1	0.0134	0.01337	0.388	0.53911
Dosis Biochar: Hongo	1	0.0316	0.03163	0.917	0.34741
Error	25	0.8622	0.03449		

Análisis de Varianza sin observaciones extremas: Como se comprobó que los tratamientos son significativos se analizaron los datos sin el testigo y sin observaciones extremas.

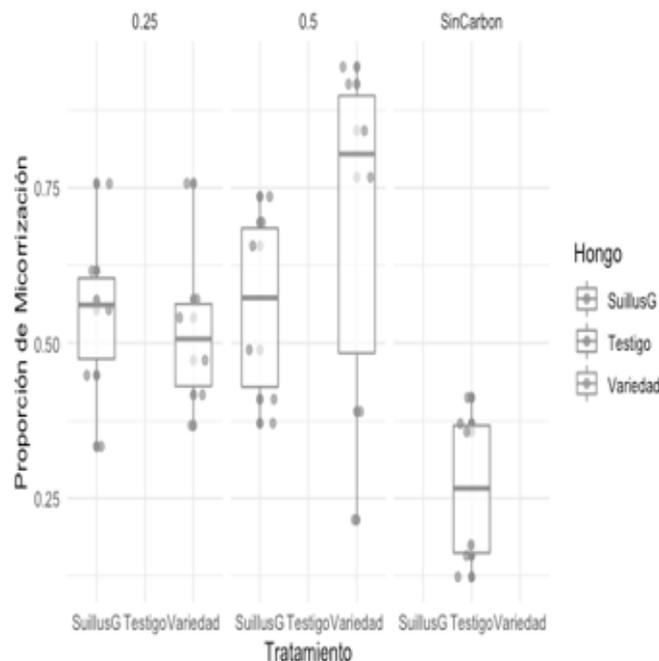


Figura 5. Interacción entre Tratamiento y Dosis de Biochar

El resultado apreciado en la figura 5 y el cuadro 4, se puede deducir que la interacción entre la dosis de biochar de 1/2 y la Variedad de hongos, es decir que la combinación de estos dos niveles produce una proporción mayor de micorrización, sin embargo, es importante señalar que se eliminaron las observaciones extremas, y esto no siempre es recomendable.

Cuadro 4. Análisis de varianza para el experimento factorial 2x2

Fuentes de Variabilidad.	gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Valor-p
Dosis Biochar	1	0.1026	0.10263	7.142	0.0174 **
Hongo	1	0.0546	0.05460	3.800	0.0702 .
Dosis Biochar: Hongo	1	0.1114	0.11139	7.752	0.0139 *
Error	15	0.2155	0.03449		

Cabe mencionar que son significativos tanto los efectos principales (dosis y tratamiento), así como la interacción, en otras palabras la combinación 1/2 de carbón vegetal (biochar) y variedad de hongos produce una mayor micorrización.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

En esta investigación se evaluaron los porcentajes de micorrización de la planta *P. pseudostrobus* Lindl inoculada con *Suillus granulatus* y una variedad de hongos, así como la adición de carbón vegetal como parte de sustrato; en cuanto a los tratamientos se encontró que las dos combinaciones funcionan, sin embargo, la combinación de ½ de carbón vegetal y variedad de hongos en conjunto producen un mayor porcentaje de micorrización.

Estudios relacionados en el establecimiento de planta forestal con fines de restauración con presencia de inóculos de hongos ectomicorrizógenos como es el caso del estudio de Gómez *et al.* (2013); Pera y Parladé (2005), donde las plantas inoculadas con varias especies formadoras de micorriza responden mejor a las que no tienen presencia de inóculo, proporcionando una mayor supervivencia (86%), sin embargo, en ninguno de los casos presentan evidencia de la presencia de micorriza lo que hace suponer que posiblemente existen algunos otros factores para la sobrevivencia de la planta, por lo que en este trabajo se consideró de importancia la presencia en porcentaje y caracterización de la micorriza.

La adición de carbón vegetal al suelo provee múltiples aspectos benéficos desde una remediación de suelo, mayor retención en la disponibilidad de agua, estudios referentes a su aplicación Fiallos (2015); Major *et al.* (2010); Zhao *et al.* (2003); demuestran que la adición de carbón vegetal o biochar en cultivos agrícolas aumenta su rentabilidad y productividad vegetal, lo cual se pudo comprobar con este estudio donde se ve reflejado en la presencia y sobrevivencia de las micorrizas seleccionadas (*Suillus granulatus*,

Boletus sp, *Amanita* sp, *Cantharellus cibarius*) presentes en las plantas, así como su incremento en abundancia en porcentajes de micorrización de las plantas que no se les adicionó este material.

Experimentos en especies forestales como *P. engelmannii* Carr, *P. greggii* Engelm, *P. cembroides* Zucc, *P. pseudostrobus* Lindl, *P. ponderosa*, *P. patula* Schiede ex Schldl. & Cham, *P. montezumae* Lamb, por mencionar algunos, la inoculación se realizó con diferentes hongos ectomicorrizógenos (*Laccaria laccata*, *Suillus pseudobrevipes*, *Boletus pinophilis*, *Pisolithus tinctorius*, *Hebeloma*, *Russula delica* Fr.) en fase vivero en cuanto a porcentajes de micorrización y sobrevivencia muestran resultados óptimos en crecimientos en áreas controladas; lamentablemente relacionado a esto, según Escobar y Rodríguez (2019) solo un 29.5% de estos estudios, de las investigaciones efectuadas en laboratorio y en pruebas controladas se llevó a cabo su comprobación y supervivencia en campo. Por lo que este estudio toma mayor relevancia, mostrándose como una opción viable para considerar en el incremento de las propiedades del suelo en zonas despobladas o degradadas, el adicionar carbón vegetal como factor importante para la sobrevivencia en campo de la micorriza y así incrementar la tasa de recuperación de zonas forestales degradadas.

En este contexto es recomendable seguir seleccionando especies de hongos formadores de ectomicorriza y su capacidad de soportar sitios para restauración y adicionar carbón vegetal en ellas, y evaluar su comportamiento.

REFERENCIAS

- Agerer R, Rambold G. 1997. DEEMY-An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. Institute of Systematic Botany, University of Munich, Menzinger Strasse 67, D-80638 München, GermanyDE.
- Barroetaveña C, Bassani VN, Rajchenberg M. 2012. Inoculación micorrícica de Pinus ponderosa en la Patagonia Argentina: colonización de las raíces, descripción de morfotipos y crecimiento de las plantas en vivero. Bosque 33(2): 163-169 DOI: 10.4067/S0717-92002012000200006.
- Campbell JL, Sessions J, Smith D, Trippe M. 2018. Potential carbon storage in biochar made from logging residue: Basic principles and Southern Oregon case studies. Plos One 13(9):1-18 DOI: 10.1371/journal.pone.0203475

- Chen J, Li S, Liang C, Xu Q, Li Y, Qin H, Fuhrmann JJ. 2017. Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate. *Science of The Total Environment*. 574: 24–33 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.190
- Chen G, Wang X, Zhang R. 2019. Decomposition temperature sensitivity of biochar with different stabilities affected by organic carbon fractions and soil microbes. *Soil and Tillage Research* 186: 322–332. DOI: 10.1016/j.still.2018.11.007
- Dai Z, Zhang X, Tang C, Muhammad N, Wu J, Brookes PC, Xu J. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification – a critical review. *Science of The Total Environment*. 581. 601–611. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.169
- Escobar S, Rodríguez D. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Ciencias Forestales* 10(55): 4-38 DOI: 10.29298/rmcf.v10i55.558
- Farrell M, Kuhn T, Macdonald L, Maddern T, Murphy D, Hall P, Singh B, Baumann K, Krull E, Baldock J. 2013. Microbial utilisation of biochar-derived carbon. *Science of The Total Environment*. 465. 288–297. DOI: 10.1016 / j.scitotenv.2013.03.090
- Fiallos L, Flores L, Duchi N, Flores C, Baño D, Estrada L. 2015. Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Ciencia y Agricultura* 12(2): 13-20.
- Gómez M, Lindig R, Del Val Ek. 2015. Efecto de la sequía en la relación simbiótica entre *Pinus pseudostrobus* y *Pisolithus tinctorius*. *Botanical Sciences* 93(4): 731-740 DOI: 10.17129/botsci.193.
- Gómez M, Villegas J, Sáenz C, Lindig R. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y Bosques* 19(3): 51-63.
- Jeffery S, Abalos D, Prodana M, Bastos A, Van Croenigen JW, Hungate B, Verheijen F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters* 12(5): 12 DOI: 10.1088/1748-9326/aa67bd
- Kammann C, Ippolito J, Hagemann N, Borchard N, Cayuela ML, Estavillo JM, Wrage-Mönnig N. 2017. Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden—knowns, unknowns and future research needs. *Journal of*

- Environmental. Engineering and Landscape Management. 25(2): 114-139. DOI: 10.3846/16486897.2017.1319375
- Kjoller R, Bruns T. 2003. Rhizopogon spore bank communities within and among California pine forests. Mycologia 95(4): 603-613 DOI: 10.2307/3761936
- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environmental 5(7): 381-387. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2
- Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems-a review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11(2): 403—427 DOI: 10.1007/s11027-005-9006-5
- Lehmann J, Joseph S. 2015. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2 ed. London: Routledge
- Li YC, Li YF, Chang SX, Yang YF, Fu SL, Jiang PK, Luo Y, Yang M, Chen ZH, Hu SD, Zhao MX, Liang X, Xu QF, Zhou GM, Zhou JZ. 2018. Biochar reduces soil heterotrophic respiration in a subtropical plantation through increasing soil organic carbon recalcitrancy and decreasing carbon-degrading microbial activity. Soil Biology and Biochemistry 122:173–185. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.04.019
- Lone A, Najar G, Ganie M, Sofi J, Ali T. 2015. Biochar for sustainable soil health: A review of prospects and concerns. Pedosphere 25(5): 639-653. DOI: 10.1016/S1002-0160(15)30045-X
- Major J, Rondon M, Molina D, Riha S, Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333(1-2): 117-128 DOI: 10.1007/s11104-010-0327-0
- Mandal S, Sarkar B, Bolan N, Novak J, Ok YS, Van Zwieten L, Kirksnam MB, Choppala G, Spokas K, Naidu R. 2016. Designing advanced biochar products for maximizing greenhouse gas mitigation potential. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 46(17)1367–1401. DOI: 10.1080/10643389.2016.1239975
- Novak J, Ippolito J, Lentz R, Spokas K, Bolster C, Sistani K, Trippe K, Phillips C, Jhonson M. 2016. Soil health, crop productivity. Microbial transport, and mine spoil response to biochars. Bioenergy Research 9(2): 454-464 DOI: 10.1007 / s12155-016-9720-8

- Novak J, Sigua G, Spokas K, Busscher W, Cantrell K, Watts D, Glaz B, Hunt P. 2015. Plant macro and micronutrient dynamics in a biochar-Amended wetland muck. *Water Air and Soil Pollution* 226(1): 2228-2237. DOI: 10.1007/s11270-014-2228-y
- Pera J, Parladé J. 2005. Inoculación controlada con hongos ectomicorrícicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales* 14(3): 419-433.
- Smith P. 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global Change Biology* 22(3): 1315–1324. DOI: 10.1111 / gcb.13178
- Smith P, Bustamante M, Ahammad H, Clark H, Dong H, Elsiddig EA, et al. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., et al. (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Woolf D, Amonette J, Streetperrott F, Lehmann J, Joseph S, 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 1(5): 1--9 DOI 10.1038/ncomms1053
- Xu N, Tan G, Wang H, Gai X. 2016. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure. *European Journal of Soil Biology* 74: 1–8. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2016.02.004
- Zhao L, Cao X, Masek O, Zimmerman A. 2013. Heterogeneity of biochars properties as a function of feedstock Sources and production temperatures. *Journal of Hazardous Material* 256: 1-7.