

HONGOS Y BIOCHAR: SINÉRGIA PARA LA CALIDAD DE SUELOS EN CULTIVOS DE YERBA MATE

María Cecilia Itatí Fasano ^{1,2*}, Mikel Goicochea ¹, Marcela Paola Barengo ^{1,2}, Natalia Soledad Amerio ^{1,2}, Luis Alejandro Mancini ³, Julio Litniczuk ³, Carlos Konanchuk ³, Guillermo Carlos Reutemann³, Pedro Darío Zapata^{1,2}, Gustavo Ángel Bich ^{1,2} y María Lorena Castrillo ^{1,2}

¹ UNaM, Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Instituto de Biotecnología Misiones. Laboratorio de Biotecnología Molecular.

² CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

³ CAIYaL, Cooperativa Agrícola e Industrial de Yapeyú Limitada.

mcifasano@gmail.com

Resumen

La adición de biochar o biocarbón puede mejorar la fertilidad de los suelos y la composición de las comunidades microbianas en agrosistemas forestales tropicales. Esta propuesta aporta a la exploración de los efectos del biochar en la resiliencia de suelos de plantaciones de yerba mate en la provincia de Misiones debido a que se observa escaso conocimiento al respecto en la región. Cuando se inocula biochar con hongos beneficiosos multifuncionales y se lo aplica en el suelo, la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas puede verse aumentada. En este tipo de sustrato (biochar) los hongos inoculados pueden colonizar las raíces de las plantas más fácilmente, promoviendo un microbioma rizosférico favorable. El uso de biochar inoculado con hongos beneficiosos multifuncionales en cultivos de yerba mate podría presentar ventajas potenciales, como la mejora de la fertilidad del suelo, el control de enfermedades, la sustentabilidad ambiental y la reducción de insumos químicos. Se espera que esta práctica contribuya a la resiliencia del recurso suelo, como una estrategia efectiva hacia una agricultura más sostenible y respetuosa con el bioma natural en el que se desarrolla.

Palabras clave: Hongos Edáficos Multifuncionales, Argentina, Salud del suelo, Resiliencia.

Introducción

La yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) es una planta originaria de la región de clima subtropical de América del Sur, presente en el sur de Brasil, el norte de Argentina, Paraguay y Uruguay. Era colectada de la selva atlántica y consumida por los indígenas sudamericanos cuando los europeos descubrieron el Nuevo Mundo y aislaron las plantas realizando cultivos monotípicos (Mazzafera, 1997). El producto primario de estas plantaciones se denomina hoja verde que, luego de industrializada, los consumidores la preparan en cuatro tipos diferentes de bebidas: el chimarrão y el mate cocido, consumidos en el sur de Brasil, Uruguay, Argentina y Paraguay; el tereré, consumido en el centro-oeste de Brasil y Paraguay; y el mate té, consumido en el sureste de Brasil, Argentina y Uruguay (Bastos *et al.*, 2007; INYM, 2021; Ministerio de Economía, 2023).

La cultura del mate tiene una gran importancia económica y social, ya que es llevada a cabo por un gran número de pequeños productores y cooperativas en Brasil, Argentina y Paraguay. El principal productor sudamericano de yerba mate es Argentina (aproximadamente 1 millón de toneladas). Las mejoras en la producción de este cultivo se han enfocado principalmente en la adaptación de tecnologías a campo para aumentar el producto primario (hoja verde) y la resistencia a plagas y enfermedades (Anino, 2018; Resende *et al.*, 2000; Ministerio de Economía, 2023).

*En los cultivos de yerba mate el tipo de manejo tradicional está conduciendo a una disminución de la fertilidad de los suelos con una consecuente merma en la producción de hojas de yerba mate. Este panorama está conduciendo la producción y las investigaciones a una búsqueda de alternativas de manejo agroforestal más ambientalmente correcto y económicamente viable. Entre estas alternativas, la adición de enmiendas al suelo con la finalidad de mantener su calidad y fertilidad como por ejemplo el biochar surge como una posibilidad factible. Sin embargo, el conocimiento sobre cómo esta adición impacta a las comunidades microbianas del

suelo en agrosistemas forestales yerbateros tropicales (ASFYTs) y su contribución a la sustentabilidad de sistemas yerbateros en Argentina es aún escaso.

El componente de carbono en el biochar es relativamente estable; por lo tanto, se propuso originalmente como una enmienda del suelo para almacenar carbono en él. El biochar tiene valores multifuncionales que incluyen los siguientes usos: enmienda del suelo para mejorar la salud del suelo, portador de nutrientes y microorganismos, agente inmovilizador para la remediación de metales tóxicos y contaminantes orgánicos en el suelo y el agua, catalizador para aplicaciones industriales, material poroso para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y compuestos odoríferos, y suplemento alimenticio para mejorar la salud animal y la eficiencia de la ingesta de nutrientes y, por lo tanto, la productividad en sistemas agropecuarios (Bowen, 1975; Francou, 2004; Masebinu *et al.*, 2019; Hossain, 2020; Lal, 2021; Bolan *et al.*, 2022; Cardoso Júnior *et al.*, 2022).

Los estudios sobre la manera en que el biochar actúa como enmienda del suelo, mejorando su estructura y aumentando la capacidad de retención de agua y nutrientes son numerosos, al igual que aquellos que evalúan su impacto en el aumento de la resistencia de las plantas a enfermedades (Wiedner y Glaser, 2013). Ciertos hongos pueden aumentar la disponibilidad de fósforo y otros nutrientes para las plantas y proporcionar un hábitat adecuado para los microorganismos beneficiosos del suelo (Giri *et al.*, 2005; Dominchin *et al.*, 2019).

Los hongos multifuncionales que podrían ser inoculados en el biochar, se establecerían más fácilmente y colonizarían las raíces de las plantas, mejorando la interacción planta-microorganismo y promoviendo un microbioma rizosférico favorable para la fertilidad de la planta de yerba mate. Los hongos multifuncionales pueden aumentar la resistencia de las plantas al estrés abiótico, como la sequía y la salinidad, mientras mejoran la fertilidad del suelo al disponibilizar nutrientes. El biochar, además de mejorar la estructura del suelo y la retención de agua, trabaja en sinergia con estos hongos para proporcionar un ambiente más favorable para las plantas, aumentando su tolerancia a condiciones adversas (Wiedner y Glaser, 2013).

Trichoderma sp. por ejemplo, tiene propiedades antagonistas contra patógenos del suelo. El biochar inoculado con estos hongos podría ayudar a reducir la incidencia de enfermedades radiculares en los cultivos de yerba mate, actuando como un agente de biocontrol efectivo (Ralebitso *et al.*, 2016; Dvořáčková, 2021).

Experiencias diseñadas en SAFYTs con diferentes aplicaciones de biochar, servirían de método exploratorio para el registro y análisis preliminar de los diversos impactos de la aplicación del biochar en condiciones propias del cultivo de plantaciones de yerba mate.

De acuerdo con lo expuesto, la aplicación de biochar embebido con hongos multifuncionales con potencial bioestimulante y biocontrolador como vehículo de las mismas hacia suelos oxisólicos lateríticos subtropicales degradados, y aplicados a la superficie edáfica donde se desarrollan las plantas de yerba mate ante diferentes manejos agronómicos, promoverá la resiliencia edáfica en ASFYT de plantaciones de yerba mate.

Objetivo

Evaluar la aplicación del biochar como vehículo de hongos multifuncionales en ASFYT para la resiliencia de suelos de yerba mate.

Desarrollo del tema

La propuesta de evaluación de uso del biochar adicionado con hongos multifuncionales como enmienda se relaciona con la mejora de la estructura y capacidad de retención de agua y nutrientes en suelos agrícolas con especial énfasis en cultivos de yerba mate.

El biochar o biocarbón es un material carbonoso que se obtiene a través de la pirólisis de biomasa, un proceso de calentamiento en ausencia de oxígeno. Se utiliza en la agricultura debido a su capacidad para mejorar la calidad del suelo, aumentar la retención de agua y nutrientes, y reducir la lixiviación de compuestos perjudiciales. El biochar de yerba mate, se obtiene como subproducto de la biomasa (pequeñas ramas

descartadas) de esta planta a partir de la pirólisis lenta realizada en los secaderos de yerba mate (Milesi Quan *et al.*, 2016; Masebinu *et al.*, 2019; Delaye and Ullé, 2020; Cardoso Júnior *et al.*, 2022).

Este biochar está compuesto por carbono fijo, carbono lábil, compuestos volátiles, humedad y ceniza. La superficie de este sólido es heterogénea debido a las fracciones carbonizadas y no carbonizadas que coexisten, permitiendo varios mecanismos de sorción. Existen tres rutas de sorción (absorción y adsorción) posibles: quimisorción, fisorción e intercambio iónico (Pignatello, 2011). Gracias a estas propiedades, se conoce desde tiempos prehistóricos que el biocarbón produce aumento en las propiedades relacionadas a la fertilidad y, por tanto, al fortalecimiento de la salud del sistema en el que los cultivos se desarrollan (Glaser y Birk, 2012; Schulz y Glaser, 2012; Pachón, 2013; Schaefer, 2023).

Los pocos estudios existentes demostraron que el biochar tiene el potencial de reducir o prevenir el brote de enfermedades fúngicas de las plantas (Duku *et al.*, 2011; Wiedner y Glaser, 2013; Nguyen *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2023).

La reducción de la aplicación de pesticidas dañinos en los agroecosistemas mediante la adición de biochar parece posible, pero se necesita más investigación sobre los factores que dinamizan la adsorción (Rosales *et al.*, 2017).

Por otra parte, la interacción entre la superficie de biochar y los microorganismos presentes en los suelos podría formar pellets como vehículo fertilizante. La formación de estos pellets inoculados con cepas de hongos multifuncionales con potencial bioestimulante y biocontrolador involucra la adhesión física de los hongos a la superficie de biochar por medio de estructuras como micelios y esporas que puede involucrar procesos de adsorción (Sung-inthara *et al.*, 2024).

Al aplicar los pellets mencionados en el párrafo anterior, la superficie del suelo potencia su capacidad enriqueciendo la microbiota de hongos benéficos para los cultivos. Con las sucesivas aplicaciones, se produciría el establecimiento y colonización de hongos beneficiosos multifuncionales en los suelos donde se desarrollan las raíces de la yerba mate mediante biochar. De esta manera se crearía un microbioma rizosférica favorable para la fertilidad de las plantas y reducción de

enfermedades radiculares mediante el biochar inoculado con hongos como agentes de biocontrol.

Asimismo, son necesarios estudios que indaguen cómo el biochar podría mejorar suelos oxisólicos tropicales degradados por plantaciones intensivas, ayudando a restaurar la productividad y biodiversidad en sistemas agrícolas que se aproximan a prácticas ancestrales adaptadas a las condiciones del bioma tropical.

Este estudio permitiría comenzar a explorar las condiciones básicas en que el biochar actúa en suelos oxisólicos lateríticos tropicales históricamente degradados en la región por plantaciones intensivas y que actualmente no poseen agregado de agroquímicos ni manejo de remoción de suelo aproximando las prácticas a aquellas ancestrales adaptadas a las condiciones naturales del bioma (Schulz y Glaser, 2012; Schaefer, 2023).

En este trabajo se realiza la divulgación del inicio de un proyecto de investigación para la aplicación de biochar como vehículo de esporas con cepas fúngicas multifuncionales en un ASFYT yerbatero en las plantaciones de la Cooperativa Agrícola e Industrial de Yapeyú Limitada (CAIYaL), en el municipio de Guaraní (Misiones, Argentina).

El uso alternativo del biochar producido por secaderos de yerba de la Provincia de Misiones promete ser una estrategia innovadora y eficaz para una agricultura más sostenible y respetuosa con el bioma del cultivo de yerba mate en la provincia.

Conclusión

El uso de biochar como vehículo para hongos beneficiosos en cultivos de yerba mate ofrecería numerosas ventajas para los agrosistemas y los productores, desde la mejora de la fertilidad del suelo y el control de enfermedades, hasta el fomento de la sostenibilidad ambiental y la reducción del uso de insumos químicos, lo que disminuiría los costos productivos. Esta práctica innovadora en los ASFYT de la región tendría el potencial de incrementar la productividad y la salud de los suelos y cultivos, promoviendo así una agricultura respetuosa con el ambiente característico del bioma en el que se aplica.

Agradecimientos

Luis Alejandro Mancini, es Presidente de la Cooperativa Agrícola e Industrial de Yapeyú Limitada (CAIYaL) y junto a Julio Litniczuk y Carlos Konanchuk son productores yerbateros que contribuyen con su producción a dicha cooperativa.

María Cecilia Itatí Fasano, Marcela Paola Barengo, Natalia Soledad Amerio tienen beca de CONICET (República Argentina) para desarrollar el presente estudio como parte de su entrenamiento en la Universidad Nacional de Misiones (República Argentina).

María Lorena Castrillo, Gustavo Angel Bich y Pedro Darío Zapata son investigadores de CONICET (República Argentina).

Referencias

Anino, P. (2018). *Informes de cadenas de valor*. Yerba mate. 1–28. En: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_fruta_de_carozo.pdf

Bolan, N., Hoang, S.A., Beiyuan, J., Gupta, S., Hou, D., Karakoti, A., Joseph, S., Jung, S., Kim, K.H., Kirkham, M.B., Kua, H.W., Kumar, M., Kwon, E.E., Ok, Y.S., Perera, V., Rinklebe, J., Shaheen, S.M., Sarkar, B., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L. (2022). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 67(2), 150–200. <https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1922047>

Bowen, H.J.M. (1975). Soil pollution. In *Educ.Chem.* 12(3). <https://doi.org/10.5124/jkma.1998.41.10.1032>

Cardoso, J.C.D., Pimenta, A.S., Souza, E.C., de Pereira, A.K.S., Dias, J.A.F. (2022). Uso agrícola e florestal do biochar: estado da arte e futuras pesquisas. *Research, Society and Development*, 11(2), e55711225999. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25999>

Dominchin, M.F., Verdenelli, R.A., Vargas, G.S., Aoki, A.M., Marin, R.H., Meriles, J.M. (2019). Efecto de la aplicación de biochar avícola sobre las propiedades químicas y microbiológicas de un suelo Haplustol típico con diferentes intensidades de uso. *Ciencia Del Suelo*, 37(2): 315–327.

Duku, M.H., Gu, S., Hagan, E.B. (2011). Biochar production potential in Ghana - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8): 3539–3551.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.010>

Dvořáčková, H. (2021). Potencial de biocarbón después de su activación biológica por microflora nativa del suelo. *Revista MVZ Cordoba*, 26(3).

<https://doi.org/10.21897/rmvz.2219>

Francou, C. (2004). *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage* - Recherche d'indicateurs pertinents [Institut National Agronomique Paris-Grignon]. In Ecole Doctorale ABIES: Vol. Doctorat.

https://pastel.hal.science/file/index/docid/503349/filename/These-Cedric_Francou.pdf

Giri, B., Giang, P.H., Kumari, R., Prasad, R., Varma, A. (2005). *Microbial Diversity in Soils*. In: Buscot, F. and A. Varma. 2005. *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*. In *Soil Biology* (Vol. 3). Springer.

Glaser, B., Birk, J.J. (2012). State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82: 39-51.

Hossain, M.B. (2020). Agricultural Land Use and Management Practice Influence on Efflux and Influx of Carbon between Soil and the Atmosphere: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 32(6), 31–48.

<https://doi.org/10.9734/IJPSS/2020/v32i630290>

INYM. (2021). *Bien nuestro*. In Desarrollo Yerbatero.

Lal, R. (2021). Soil management for carbon sequestration. *South African Journal of Plant and Soil*, 38(3): 231-237. <https://doi.org/10.1080/02571862.2021.1891474>

Maia, C.M.B.F., Madari, B.E., Novotny, E.H. (2011). Advances in Biochar Research in Brazil BT - Dynamic Soil, Dynamic Plant. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 4: 53-58.

Masebinu, S.O., Akinlabi, E.T., Muzenda, E., Aboyade, A.O. (2019). A review of biochar properties and their roles in mitigating challenges with anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103(January): 291-307.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.048>

Mazzafera, P. (1997). *Maté drinking: caffeine and phenolic acid intake*. *Food Chemistry*.

Milesi, D.A.L., Ullé, J.Á. (2020). Biochar application in a degraded soil under sweet-potato production. Effect on edaphic properties. *Argentina*, 38(1): 162-173.

Ministerio de Economía. (2023). *Informe productivo provincial*. Misiones. En: <https://www.argentina.gob.ar/economia/politicaeconomica/informes-productivos-0/informes-provinciales/caracterizacion-productiva>

Nguyen, D.H., Scheer, C., Rowlings, D.W., Grace, P.R. (2016). Rice husk biochar and crop residue amendment in subtropical cropping soils: effect on biomass production, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions. *Biology and Fertility of Soils*, 52(2): 261-270. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1074-4>

Pachón, L. (2013). *Análisis Económico en el Uso del Conocimiento Tradicional en los Suelos Antropogénicos Amazónicos*: Biochar. 75.

Pignatello, J.J. (2011). *Interactions of anthropogenic organicchemicals with natural organic matter and black carbon in environmental particles*. In P. M. H. Baoshan Xing, Nicola Senesi (Ed.), *Biophysico-Chemical Processes in Environmental Systems* (pp. 1–50). Copyright © 2011 John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470944479>

Quan, C., Gao, N., Song, Q. (2016). Pyrolysis of biomass components in a TGA and a fixed-bed reactor: Thermochemical behaviors, kinetics, and product characterization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 121: 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.07.005>

Ralebitso, S.K.T., Orr, C.H. (2016). *Microbial Ecology Analysis of Biochar-Augmented Soils: Setting the Scene*. *Essential Soil Microbial Ecology*, Biochar Ap, 1-40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803433-0.00001-1>

Resende, M., Sturion, J., Carvalh, A. (2000). *Programa de melhoramento da erva-mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones*.

Rosales, E., Meijide, J., Pazos, M., Sanromán, M.A. (2017). Challenges and recent advances in biochar as low-cost biosorbent: From batch assays to continuous-flow systems. *Bioresource Technology*, 246: 176-192. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.084>

Schaefer, C. (2023). *The Soils of Brazil*. In *World Soils Book Series*. Springer Nature Switzerland (1st ed.). Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3>

Schulz, H., Glaser, B. (2012). Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(3): 410-422. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100143>

Sung-inthara, T., Juntahum, S., Senawong, K., Katekaew, S., Laloon, K. (2024). Pelletization of soil amendment: Optimizing the production and quality of soil amendment pellets from compost with water and biochar mixtures and their impact on soil properties. *Environmental Technology and Innovation*, 33(December 2023). 103505. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103505>

Wiedner, K., Glaser, B. (2013). Biochar Impact on Plant Resistance to Disease. *Biochar and Soil Biota*, 49-76. <https://doi.org/10.1201/b14585-4>

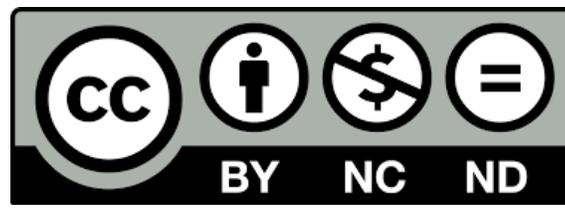
Zhang, S., Fang, Y., Kawasaki, A., Tavakkoli, E., Cai, Y., Wang, H., Ge, T., Zhou, J., Yu, B., Li, Y. (2023). Biochar significantly reduced nutrient-induced positive priming in a subtropical forest soil. *Biology and Fertility of Soils*, 59(6): 589-607. <https://doi.org/10.1007/s00374-023-01723-7>



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Fecha de asignación de la licencia 2024-10-28, para un uso diferente consultar al responsable jurídico del repositorio por medio del correo electrónico unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Fasano, M. C. I., Goicochea, M., Barengo, M. P., Amerio, N. S., Mancini, L. A., Litniczuk, J., Konanchuk, C., Reutemann, G. C., Zapata, P. D., Bich, G. A., y Castrillo, M. L., (2024).

HONGOS Y BIOCHAR: SINÉRGIA PARA LA CALIDAD DE SUELOS EN CULTIVOS DE YERBA MATE. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/Mem2024_Paper17.html