

Impacto de Plantaciones Lineales de Huizache y Mezquite en la Captura de Carbono en Suelos Agrícolas Erosionados

Impact of Linear Huizache and Mesquite Plantations on Carbon Capture in Eroded Agricultural Soils

Erika Nava-Reyna¹, José Angel Sigala-Rodríguez², Erickson Basave-Villalobos², Vicenta Constante-García¹, Jesús Arcadio Muñoz-Villalobos³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, Km. 6.5 margen derecha Canal de Sacramento, C.P. 35079, Gómez Palacio, Durango, México.

²INIFAP, CIRNOC – C.E. Valle del Guadiana, Km 4.5 Carretera Durango-El Mezquital C.P. 34170, Durango, Dgo., México.

³INIFAP, CIRNOC- C.E. Delicias, Km 2 Carretera Delicias-Rosales, Centro, C.P. 33000, Delicias, Chihuahua.

*Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx.

RESUMEN

Los sistemas agroforestales presentan un gran número de beneficios y servicios ecosistémicos. En este sentido, los cercos vivos, ayudan a mantener la biodiversidad, influyen en el movimiento de animales, contribuyen a la conectividad física en la ladera, sirven como corredores entre parches de bosques aislados y retienen suelo para prevenir su erosión y degradación hídrica y eólica, contribuyendo no sólo a la recuperación de la diversidad biológica, sino también al incremento de la productividad de los sistemas agrícolas y la captura de carbono. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el impacto de plantaciones lineales de huizache y mezquite sobre la fracción de carbono biológicamente activa en suelos de plantaciones de agave. Para evaluar la efectividad de los cercos vivos para conservación del suelo, se tomaron muestras a diferente nivel aguas arriba de una plantación de agave, donde la parte alta y baja están cercanas a las plantaciones lineales de huizache en Guadalupe Victoria, Durango. El grado de labilidad del C orgánico del suelo se determinó por oxidación con permanganato de potasio. Las plantaciones lineales de huizache y mezquite permitieron la retención de suelo en parcelas de agave, favoreciendo además la acumulación de C metabólicamente activo en la zona perimetral con mayor crecimiento y densidad de árboles. Por lo tanto, el sistema agroforestal con una leguminosa como huizache y mezquite en zonas semiáridas del norte de México presenta un potencial para restaurar y conservar suelos degradados.

Palabras clave: *Acacia schaffneri*, Agave, carbono lábil, cercos vivos, *Prosopis laevigata*.

ABSTRACT

Agroforestry systems present a large number of benefits and ecosystem services. In this sense, living fences help maintain biodiversity, influence the movement of animals, contribute to physical connectivity on the slope, serve as corridors between isolated forest patches, and retain soil to prevent erosion, water, and wind degradation, contributing not only to the recovery of biological diversity but also to the increase in the productivity of agricultural systems and carbon capture. Therefore, the objective of this research was to evaluate the impact of linear huizache and mesquite plantations on the biologically active carbon fraction in soils of agave plantations. To evaluate the effectiveness of living fences for soil conservation, samples were taken at different levels upstream of an agave plantation, where the upper and lower parts are close to the linear huizache plantations in Guadalupe Victoria, Durango. The degree of lability of soil organic C was determined by potassium permanganate oxidation. The linear plantations of huizache and mesquite allowed soil retention in agave plots, also favoring the accumulation of metabolically active C in the perimeter zone with greater growth and density of trees. Therefore, the agroforestry system with a legume such as huizache and mesquite in semi-arid areas of northern Mexico presents a potential to restore and conserve degraded soils.

Keywords: *Acacia schaffneri*, Agave, labile carbon, living fence trees, *Prosopis laevigata*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción alimentaria intensivos han generado una simplificación de las laderas agrícolas, desapareciendo árboles para el mayor aprovechamiento del suelo y generando la erosión del suelo y el deterioro de cuencas y fuentes de agua. La erosión superficial remueve la capa superior del suelo, reduciendo también la profundidad del enraizamiento, lo que daña la estructura del suelo y debilita la capacidad de infiltración. Esto genera a su vez mayor degradación del suelo, con balances negativos de nutrientes y, consecuentemente, bajo rendimiento en los cultivos (Wang et al., 2010; Xia et al., 2013). Por lo anterior, la búsqueda por estrategias que reduzcan la pérdida de suelo y agua y la tasa de emisiones de gases de efecto invernadero e incrementen la captura de carbono, es una prioridad global como estrategia para combatir el cambio climático (Xia et al., 2015). En este sentido, los sistemas agroforestales presentan un gran potencial. Estos sistemas se definen como cualquier práctica que considere crecer árboles junto a cultivos agrícolas y/o animales de pastoreo, lo que conlleva a un gran número de beneficios y servicios ecosistémicos. Así, los cercos vivos, es decir, sistemas lineales de árboles leñosos, son utilizados para dividir parcelas, cuya especie depende del área, elevación y las características ecológicas del ecosistema (Andrade et al., 2008). Estos sistemas ayudan a mantener la biodiversidad, influyen en el movimiento de animales, contribuyen a la conectividad física en la ladera, sirven como corredores entre parches de bosques aislados y retienen suelo para prevenir su erosión y degradación hídrica y eólica (Villanueva-López et al., 2015). Más aún, los sistemas productivos con cercas vivas contribuyen así no sólo a la recuperación de la diversidad biológica, sino también al incremento de la productividad de los sistemas agrícolas y la captura de carbono. El incremento en la captura de C por los sistemas agroforestales está ligado al incremento del C de la biomasa de los árboles, así como a través de la producción de raíces finas, la rizodeposición y la caída del mantillo (Lorenz & Lal, 2014).

Por otro lado, dado que los cambios en el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) pueden ser detectados en el mediano y largo plazo, una medida rápida de la dinámica del C en el suelo es el carbono lábil. Este almacén biológicamente activo de la materia orgánica del suelo (MOS) refleja la fracción más joven y fácilmente

metabolizable del C orgánico total, así como la composición y tamaño de la comunidad microbiana (McDaniel et al., 2014). Así, el C activo es altamente sensible a cambios en las prácticas de manejo a comparación de la MOS y el COS, y puede ser utilizado como una medida que integra la dinámica del C en el suelo.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el impacto de plantaciones lineales de huizache y mezquite sobre la fracción de carbono biológicamente activo en suelos de plantaciones de agave.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio

El presente estudio se realizó en un área agrícola en el Ejido Ignacio Allende, municipio de Guadalupe Victoria, Durango, México. El sitio corresponde a una parcela de 4 ha con historial de cultivo de frijol y convertida a una plantación de agave cenizo (*Agave durangensis*), con pendiente promedio menor del 5%. El área se localiza en las coordenadas 24.47° N y 103.95° E a una altitud de 1,981 m. La vegetación predominante original es matorral y pastizal con arbustos de clima semiseco templado con un promedio de precipitación anual de 522 mm y temperatura media anual de 16.7°C. La actividad productiva predominante en la región es la producción de frijol de temporal. Sin embargo, al ser una región de amplias planicies, las áreas agrícolas están sujetas a procesos de erosión eólica. En tales condiciones, existen elementos lineales que delimitan las parcelas, generalmente vegetación remanente, principalmente del huizache chino (*Acacia schaffneri*) o mezquite (*Prosopis laevigata*), que eventualmente funcionan como cortinas rompevientos. (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las zonas de estudio.

Clave	Tratamiento
PA	Parte alta del terreno, fuera de la parcela agrícola y próximo a la línea de goteo de los árboles
PM	Parte media de la parcela de agave
PB	Parte baja del terreno, cercano a la línea de vegetación, pero dentro de la parcela

Toma y manejo de las muestras

Para evaluar la efectividad de los cercos vivos para conservación del suelo, se tomaron muestras a diferente nivel aguas arriba de la parcela (Figura 1), donde la parte alta y baja están cercanas a las plantaciones lineales.

Se tomaron 3 muestras de suelo al azar de 0-20 cm de cada tratamiento para hacer una muestra compuesta del suelo por tratamiento. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas por 2.0 mm para la evaluación del contenido de carbono activo.



Figura 1. Plantación de agave rodeada de plantaciones lineales de *Vachellia farnesiana* como manejo para la conservación del suelo.

Cuantificación del carbono oxidable por permanganato

La fracción activa del C orgánico del suelo se determinó utilizando permanganato de potasio 0.333 M, el cual oxida una porción del COS, el carbono lábil, considerando que 0.001 M de KMnO_4 es consumido para oxidar 9,000 g de C. La determinación se hizo espectrofotométricamente a 565 nm. Los resultados fueron expresados como g C kg^{-1} de suelo y la fracción lábil de C es la que fue oxidada por el permanganato (Blair et al., 1995).

$$X = Y \text{ mM MnO}_4 - \times 9000 \text{ mgC}$$

Análisis estadístico

La base de datos fue analizada con una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk al 95% de confianza y el análisis de homogeneidad de varianza utilizando el programa IBM SPSS Statistics. Dado que los datos no cumplieron ambos supuestos, se transformaron con log10 para realizar un análisis de ANOVA de una vía al 95% de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados, existió diferencia significativa en la cantidad de carbono lábil en las distintas zonas dentro de la parcela ($F = 71.066$, $p = 0.000$), siendo mayor en la parte alta (Figura 2).

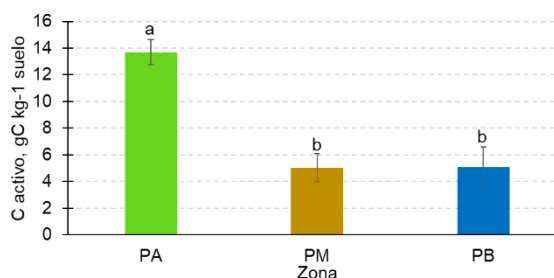


Figura 2. Cantidad de carbono lábil oxidable por permanganato a través del gradiente altitudinal.

Los resultados demostraron la utilidad de los cercos vivos con huizaches y mezquites para conservar el carbono lábil en el suelo, ya que el mayor contenido de esta fracción activa del carbono se encuentra en la parte más alta, debido probablemente al mayor tamaño y densidad de los árboles en la parte alta, lo que incrementa además el mantillo en el suelo y la rizodeposición de las raíces, mejorando la disponibilidad y contenido de nutrientes en el suelo, incluido el carbono orgánico del suelo en todas sus fracciones (Liu et al., 2019). En la investigación de Nimbalkar et al. (2017), el establecimiento de huertas de mango con especies forestales como cercos vivos en suelos degradados de India, permitió no sólo incrementar el almacén de COS, sino también la fertilidad del suelo, especialmente alrededor del borde de las plantaciones lineales, al igual que lo reflejaron los resultados de este estudio. No obstante, es necesario realizar estudios más profundos de diversos nutrientes y el C orgánico total para corroborarlo. Además, de acuerdo con Lal (2015), las leguminosas, como el huizache y el mezquite, tienen la capacidad de almacenar un 30% más de COS en comparación a otras especies también por su capacidad de fijar nitrógeno, estabilizar agregados del suelo y su estructura, entre otros mecanismos, a la vez que mejora la fertilidad del suelo, dependiendo del cultivo con el que se combine (Conceição et al., 2013; Tiemann et al., 2015). Así, la especie de leguminosa utilizada, las condiciones climáticas, el sistema de cultivo predominante y su manejo determina el potencial de secuestro de C. Por ejemplo, *Calliandra calothyrsus*, un árbol pequeño perteneciente a las leguminosas, cuando se empleó como cerco vivo, permitió un secuestro de 2 Mg C m^{-2} de cerco a una edad de 10 meses (Kumar et al., 2018).

CONCLUSIONES

Las plantaciones lineales de huizache (*Acacia schaffneri*) y mezquite (*Prosopis laevigata*)

permitieron la retención de suelo en parcelas de agave, favoreciendo además la acumulación de C lábil en la zona perimetral con mayor crecimiento y densidad de árboles. Por lo tanto, el sistema agroforestal en zonas semiáridas del norte de México presenta un potencial para restaurar y conservar suelos degradados.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el fondo de Proyectos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2023-1 titulado "Integración de tecnologías para la restauración agroecológica de tierras marginales en ecosistemas semiáridos del Norte-Centro de México".

LITERATURA CITADA

- Andrade, H. J., Brook, R., & Ibrahim, M. (2008). Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil*, 308(1–2), 11–22. <https://doi.org/10.1007/S11104-008-9600-X/FIGURES/4>
- Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46(7), 1459–1466. <https://doi.org/10.1071/AR9951459>
- Conceição, P. C., Dieckow, J., & Bayer, C. (2013). Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. *Soil and Tillage Research*, 129, 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2013.01.006>
- Kumar, S., Meena, R. S., Lal, R., Singh Yadav, G., Mitran, T., Meena, B. L., Dotaniya, M. L., & EL-Sabagh, A. (2018). Role of Legumes in Soil Carbon Sequestration. In *Legumes for Soil Health and Sustainable Management* (pp. 109–138). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_4
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability* 2015, Vol. 7, Pages 5875–5895, 7(5), 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/SU7055875>
- Liu, J., Bian, Z., Zhang, K., Ahmad, B., & Khan, A. (2019). Effects of different fencing regimes on community structure of degraded desert grasslands on Mu Us desert, China. *Ecology and Evolution*, 9(6), 3367–3377. <https://doi.org/10.1002/ECE3.4958>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2014). Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 443–454. <https://doi.org/10.1007/S13593-014-0212-Y/TABLES/1>
- McDaniel, M. D., Tiemann, L. K., & Grandy, A. S. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, 24(3), 560–570. <https://doi.org/10.1890/13-0616.1>
- Nimbalkar, S. D., Patil, D. S., Sharma, J. P., & Daniel, J. N. (2017). Quantitative estimation of carbon stock and carbon sequestration in smallholder agroforestry farms of mango and Indian gooseberry in Rajasthan, India. *Environment Conservation Journal*, 18(1 & 2), 103–107. <https://doi.org/10.36953/ECJ.2017.181214>
- Tiemann, L. K., Grandy, A. S., Atkinson, E. E., Marin-Spiotta, E., & McDaniel, M. D. (2015). Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology Letters*, 18(8), 761–771. <https://doi.org/10.1111/ELE.12453>
- Villanueva-López, G., Martínez-Zurimendi, P., Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., & Montañez-Escalante, P. I. (2015). Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico. *Agroforestry Systems*, 89(6), 1083–1096. <https://doi.org/10.1007/S10457-015-9836-4/TABLES/4>
- Wang, L., Tang, L., Wang, X., & Chen, F. (2010). Effects of alley crop planting on soil and nutrient losses in the citrus orchards of the Three Gorges Region. *Soil and Tillage Research*, 110(2), 243–250. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2010.08.012>
- Xia, L., Hoermann, G., Ma, L., & Yang, L. (2013). Reducing nitrogen and phosphorus losses from arable slope land with contour hedgerows and perennial alfalfa mulching in Three Gorges Area, China. *CATENA*, 110, 86–94.

<https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2013.05.009>

Xia, L. Z., Liu, G. H., Wu, Y. H., Ma, L., & Li, Y. D. (2015). Protection Methods to Reduce Nitrogen and Phosphorus Losses from Sloping Citrus Land in the Three Gorges Area of China. *Pedosphere*, 25(3), 478–488. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30015-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30015-1)