

# NIVELES DE GLOMALINA Y CARBONO EN FUNCION DE LOS AGREGADOS DEL SUELO EN LA AMAZONÍA PERUANA

Geomar Vallejos-Torres<sup>1</sup>, Karla Mendoza-López<sup>1</sup>, Luis Ordoñez-Sánchez<sup>1</sup>, Yimi Tom Lozano Sulca<sup>1</sup>, Nery Gaona-Jimenez<sup>1</sup> y Juan R. Baselly-Villanueva<sup>2</sup>

## RESUMEN

La selva amazónica de Perú ha experimentado grandes cambios en el uso de suelos, mediante la deforestación del ecosistema forestal para la instalación de silvopasturas y cultivos agrícolas como café y cacao, lo que ha contribuido al aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Este estudio evaluó los niveles de glomalina y carbono en función de los agregados del suelo en estos ambientes. Se estudiaron tres tipos de ecosistemas: i) ecosistema de bosque, ii) agroecosistema de silvopastura y iii) agroecosistema de café. En cada uno se establecieron nueve parcelas de 100 m<sup>2</sup> y se extrajeron muestras de suelos a una profundidad de 0-20 cm. Se evaluó el carbono orgánico del suelo (COS) así como la glomalina extraíble (GE) y total (GT), en cuatro diferentes rangos del tamaño de los agregados (>2 mm, 2-1 mm, 1-0,25 mm y 0,25 mm). El efecto del tipo de ecosistema y agregados sobre el COS y glomalina se analizó mediante un ANOVA, así como con una prueba de regresión. Los ecosistemas estudiados influyeron significativamente en la disponibilidad de COS y glomalina; se obtuvo mayor COS en el agroecosistema de café, seguido del ecosistema de bosque con 101,08 y 80,17 t·ha<sup>-1</sup>. El bosque presentó mayor concentración de GE y GT respecto al cafetal y las silvopasturas. El tamaño de los agregados influyó significativamente en la disponibilidad de COS, GE y GT; cuando fueron de menores dimensiones, los contenidos de COS y glomalina disminuyeron. El tipo del sistema y los agregados del suelo influyeron significativamente en la disponibilidad de COS y glomalina en los tres ambientes estudiados.

**Palabras clave adicionales:** Bosque, café, deforestación, glomalina, silvopastura

## ABSTRACT

### Glomalin and carbon levels as a function of soil aggregates in ecosystems and agroecosystems in the Peruvian Amazon

The Amazon rainforest of Peru has experienced major changes in land use, where the forest ecosystem undergo deforestation for the installation of silvopastures and agricultural crops such as coffee and cocoa, which has contributed to the increase of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. This study evaluated glomalin and carbon levels based on soil aggregates in three types of systems (environments): i) forest ecosystem, ii) silvopasture agroecosystem, and iii) coffee agroecosystem. In each of them, nine plots of 100 m<sup>2</sup> were established and soil samples were extracted at a depth of 0-20 cm. Soil organic carbon (SOC), extractable glomalin (EG) and total glomalin (TG) were evaluated in four different ranges of soil aggregate sizes (>2 mm, 2-1 mm, 1-0.25 mm, and 0.25 mm). The effect of the three environments and soil aggregates on SOC and glomalin was analyzed using ANOVA, and a test of regression. The ecosystem type significantly influenced the availability of SOC and glomalin; the highest SOC was obtained in the coffee plantations, followed by the forest with 101.08 and 80.17 t·ha<sup>-1</sup>. The forest presented a higher concentration of EG and TG compared to the coffee plantation and silvopastures. The aggregate sizes significantly influenced the availability of SOC, EG and TG; as they were smaller the SOC and glomalin content decreased. The ecosystem type and soil aggregates significantly influenced the availability of SOC and glomalin in the three studied environments.

**Additional keywords:** Coffee, deforestation, forest, glomalin, silvopasture

## INTRODUCCIÓN

La expansión rápida e intensiva de las ciudades altera los patrones de uso de la tierra, lo que resulta en la disminución de las coberturas forestales. Esto afecta significativamente las propiedades y funciones del suelo de los espacios

verdes, tal como la contaminación de la tierra, pérdida de materia orgánica, pérdida de biodiversidad y degradación estructural del suelo; así mismo, se restringe el crecimiento de la vegetación, lo que representa una amenaza para la salud humana (Zhang et al., 2020). El cambio de uso de la tierra, en particular la conversión de

Recibido: Abril 23, 2024

Aceptado: Agosto 23, 2024

<sup>1</sup> Universidad César Vallejo. Cacatachi, San Martín, Perú. e-mail: [gvallejost@gmail.com](mailto:gvallejost@gmail.com) (autor de correspondencia); [kmendozal@ucv.edu.pe](mailto:kmendozal@ucv.edu.pe); [lordonezs@ucvvirtual.edu.pe](mailto:lordonezs@ucvvirtual.edu.pe); [ylozano@ucv.edu.pe](mailto:ylozano@ucv.edu.pe); [nerygaoajimenez@gmail.com](mailto:nerygaoajimenez@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. Maynas, Loreto, Perú. e-mail: [jrbasellyv@gmail.com](mailto:jrbasellyv@gmail.com)

vegetación natural en ecosistemas agrícolas, se considera una de las principales fuentes de pérdida de carbono orgánico del suelo (COS) (Van Straaten et al., 2015). En tanto, el cambio de uso de la tierra altera significativamente la distribución de los diferentes agregados del suelo, afectando así la disponibilidad y la asociación con el COS (Yu et al., 2023).

Los agregados del suelo son componentes básicos de su estructura, y su disposición contribuye a los servicios del ecosistema del suelo como la producción de plantas, la capacidad de retención de agua, el ciclo de nutrientes y el secuestro de carbono (Gupta y Germida, 2015). El tamaño del agregado también es una variable que influye en el secuestro y la descomposición de carbono; generalmente, los macroagregados contienen concentraciones más altas de carbono que los microagregados (Yang et al., 2022). Y en ecosistemas naturales presentan mayor concentración de carbono respecto a los agrosistemas (Pang et al., 2020; Sekaran et al., 2021). El proceso de agregación del suelo está regulado por una variedad de factores abióticos y bióticos, así como por sus interacciones. Se considera que uno de los factores bióticos más importantes lo representan los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que desempeñan un papel crucial en la formación y estabilización de los agregados del suelo (Rillig et al., 2002).

La glomalina es la proteína del suelo generada por los HMA, la cual es un componente importante de las reservas de carbono orgánico del suelo (COS), que puede estabilizar y secuestrar carbono, minimizando así el efecto sobre el calentamiento global (Deng et al., 2023). La concentración de carbono de la glomalina es de 2 a 24 veces mayor que la del humus del suelo, por lo que puede generar efectos directos sobre el almacenamiento del carbono (Rillig et al., 2002; Hossain, 2021). Existen diversos tipos de glomalina, como la extraíble (GE) y la total (GT); se considera que la glomalina extraíble (GE) es la que se ha producido recientemente por HMA y es relativamente más lábil (Koide y Peoples, 2013), mientras que la otra representa la proteína total del suelo (Cai et al., 2023).

El 57,3 % del territorio peruano está cubierto por bosques, de las cuales el 94 % se encuentra en la selva de Perú; sin embargo, paulatinamente se

ha venido deforestando para imponer cultivos agrícolas. Los resultados muestran una pérdida acumulada de 918,59 km<sup>2</sup> de cobertura boscosa, siendo las principales causas la actividad ganadera y la expansión agrícola migratoria a pequeña explotación, favorecidas por la accesibilidad a infraestructuras de transporte (Rojas et al., 2019). Cuando la capacidad de uso mayor de una zona con cobertura forestal es agrícola, está permitido el retiro de la cobertura forestal. El problema se da cuando este cambio de uso ocurre de manera no autorizada, retirando la cobertura forestal sin conocer la capacidad de uso mayor del suelo y por lo tanto sin la autorización correspondiente, como ocurre con la mayoría de procesos vinculados a la agricultura migratoria que se desarrolla sobre suelos forestales o incluso de protección (Reátegui y Arce, 2016). Por lo tanto, la deforestación produce la pérdida de carbono y promueve emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, lo que contribuye sustancialmente al cambio climático (Seydewitz et al., 2023).

A pesar de estos problemas, hasta la fecha, no se ha prestado suficiente atención al potencial de la glomalina en la presencia de los agregados y secuestro de carbono en el cambio de uso del suelo en la selva peruana. La glomalina tiene una fuerte resistencia a la descomposición, y puede promover compuestos orgánicos-inorgánicos estables (Ma et al., 2018). Por lo tanto, este estudio consistió en evaluar los niveles de glomalina y carbono en función de los agregados del suelo en ecosistemas y agroecosistemas de la Amazonía Peruana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El estudio se realizó en tres tipos de sistemas: i) ecosistema de bosque, con coordenadas 6°19'52"S y 76°46'01"W, a 1446 msnm, ii) agroecosistema de café, con coordenadas 6°19'47"S y 76°46'04"W, a 1452 msnm, y iii) agroecosistema silvopastoril, con coordenadas 6°19'53" S y 76°45'55" W, a 1406 msnm. Estos sistemas están ubicados en el margen derecho del río Mayo en la localidad de Roque, Distrito de Alonso de Alvarado provincia de Lamas, Perú, que cuenta con clima semicálido que va de ligero a moderadamente húmedo, con una temperatura promedio de 22 °C y precipitación pluvial media anual de 1358 mm.

Los ecosistemas de bosque son áreas pequeñas de 0,5 a 4 ha. Por su parte, los agroecosistemas de café corresponden a parcelas que tienen entre 0,5 y 12 ha en familias que aplican prácticas de intensificación sostenible, con un tamaño medio de 2,54 ha (Elliot, 2020). En tanto, los agroecosistemas de silvopasturas son grandes extensiones de áreas y crianza de vacuno semi-intensivo.

**Muestreo de suelos.** Se seleccionaron tres parcelas con los tipos de sistema ya mencionados (bosque, cafetal y pastos) de 2500 m<sup>2</sup> cada una;

cada parcela contenía 12 subparcelas de 100 m<sup>2</sup>. En cada subparcela se recolectaron tres muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm, haciendo un total de 36 muestras. Se pesaron 150 g de cada muestra secada al aire y se separó según su granulometría en cuatro diferentes rangos de tamaño de partículas: >2 mm, 1-2 mm, 0,25-1 mm, y <0,25 mm, a partir de las cuales se realizaron las mediciones de pH, COS y glomalina extraíble y total. En general, los suelos son ácidos con niveles moderados de materia orgánica, baja densidad aparente y textura franca (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características físicas y químicas del suelo en los diferentes sistemas o ambientes en la Amazonía Peruana

Sistema	Especies representativas	pH	MO (%)	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Arena (%)	Arcilla (%)
EB	<i>Pourouma cecropiifolia</i> "Uvilla", <i>Myrcianthes rhopaloides</i> "Lanche", <i>Nectandra y ocotea</i> "Moena", <i>Croton matourensis</i> "Chupica" y <i>Socratea exorrhiza</i> "Pona"	4,4	6,8	1,1	43	27
AC	<i>Eucalyptus</i> sp "Eucaliptos", <i>Inga</i> sp "guabas" <i>Coffea arabica</i> "café". y <i>Nectandra</i> sp y <i>Ocotea</i> sp "Moenas"	3,9	7,3	1,0	50	28
AS	<i>Croton matourensis</i> "Chupica" y <i>Socratea exorrhiza</i> "Pona"	4,7	6,4	1,1	49	21

EB: ecosistema boscoso, AC: agroecosistema de café, AS: agroecosistema de silvopastura. MO: materia orgánica, Da: densidad aparente

#### Estimación del carbono orgánico del suelo

Las muestras de suelo fueron colectadas según la Guía Técnica de Muestreo, elaborada por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2016) y fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Se utilizó el método del cilindro de 5,1 cm de diámetro y 5 cm de altura propuesto por Blake y Hartge (1986). La densidad aparente fue determinada mediante la relación entre el peso seco al horno del suelo y el volumen del cilindro.

El COS, expresado en porcentaje, se determinó por el método desarrollado por Walkley y Black (1934). Luego, el COS fue convertido a toneladas

por hectárea mediante la siguiente fórmula:

$$\text{COS (t} \cdot \text{ha}^{-1}) = \text{CO} \times \text{Ps} \times \text{Da}$$

donde CO es el carbono orgánico en el suelo (%), Ps es la profundidad de muestreo del suelo (cm) y Da es la densidad aparente (g·cm<sup>-3</sup>).

La textura del suelo se midió mediante el método del hidrómetro, y el pH usando un potenciómetro en una solución de suelo-agua 1:2.5. La materia orgánica (MO) del suelo fue determinada por la relación MO = 1,72 CO. Las características físicas y químicas del suelo se indican en el Cuadro 1.

**Análisis de la glomalina** La glomalina fue cuantificada utilizando una curva estándar de la

albúmina sérica bovina a partir de una solución de  $1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ , utilizando 6 concentraciones de esta solución entre  $0,05$  y  $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Para las lecturas de la glomalina total y fácilmente extraíble se usó el método de Bradford (1976) para proteínas sugerido por Wright y Upadhyaya (1998) y adaptado por Castillo et al. (2016).

**Análisis estadístico** El análisis estadístico se realizó con el programa R Studio 2020. Comprobados los supuestos de normalidad y homogeneidad, el efecto del tipo de sistema (ambiente) y de la granulometría del suelo sobre el COS y glomalina se analizó mediante un análisis de varianza. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey. Se evaluó la relación entre la glomalina y el COS para cada rango del tamaño de partículas del suelo mediante regresión lineal.

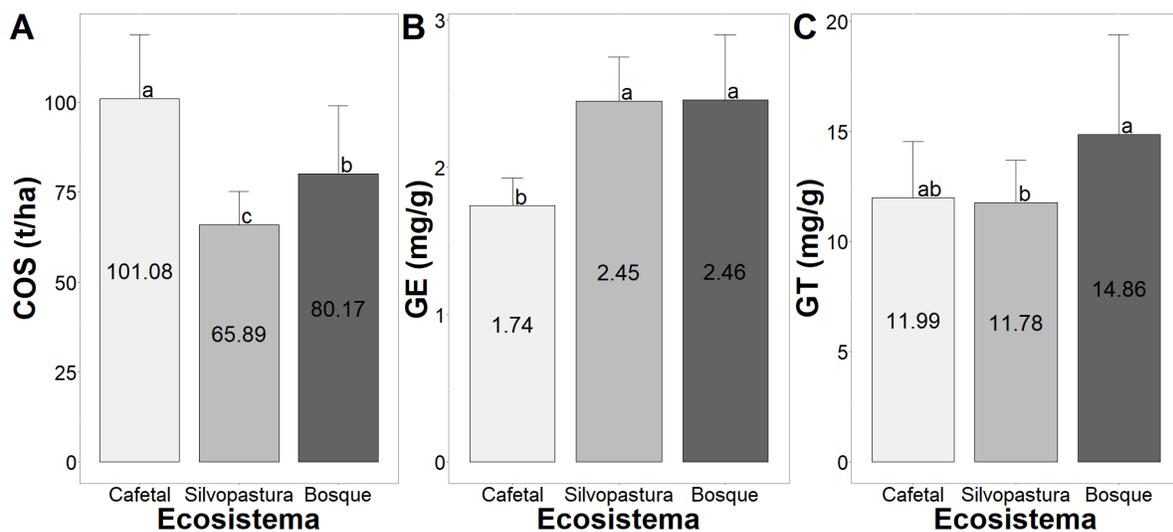
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Distribución del carbono y glomalina en diferentes ecosistemas** Los ecosistemas estudiados influyeron significativamente en la disponibilidad de COS y glomalina ( $P \leq 0,05$ ). Se obtuvo mayor COS en el agroecosistema de café, seguido del ecosistema de bosque con  $101,08$  y  $80,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente (Figura 1A).

Existió mayor contenido de GE en el ecosistema bosque y el agroecosistema de silvopastura, con valores de  $2,46$  y  $2,45 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 1B). Respecto a la GT,

existieron diferencias significativas entre los ecosistemas bosque y silvopastura (Figura 1C).

Nuestros hallazgos indican que la conversión de tierras de bosques nativos a pastizales cultivados o inducidos redujo significativamente las reservas de COS, debido al cambio de uso de la tierra. La conversión de tierras de bosques a pastizales altera las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo como resultado del pastoreo, la quema y los cambios en la composición de las especies de plantas (Covaleda et al., 2011; Navarrete et al., 2016 y Yadav et al., 2017). En tanto, la pérdida de reservas de carbono orgánico del suelo debido a la conversión de ecosistemas de bosques nativos a pastizales fue significativa según lo reportado por Aryal et al. (2018). El carbono en suelos estuvo por debajo a lo encontrado por Solís et al. (2020) quienes encontraron que la reserva total de carbono en cafetales con sistema de sombra fue de  $146 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; por tanto, la riqueza de especies de árboles en las fincas de café tuvo un impacto positivo en las reservas de carbono, lo que influyó en que las reservas totales de carbono en el sistema de café con sombra. Las altas reservas de COS en los sistemas de café con sombra están relacionadas con los usos anteriores de la tierra y con el alto aporte de materia orgánica de los árboles (Bruun et al., 2009; Hairiah et al., 2020), en tanto, Vallejos et al. (2023) encontraron que el mayor stock de COS se presentó en los bosques secundarios, seguido de los cafetales con *Inga* sp.

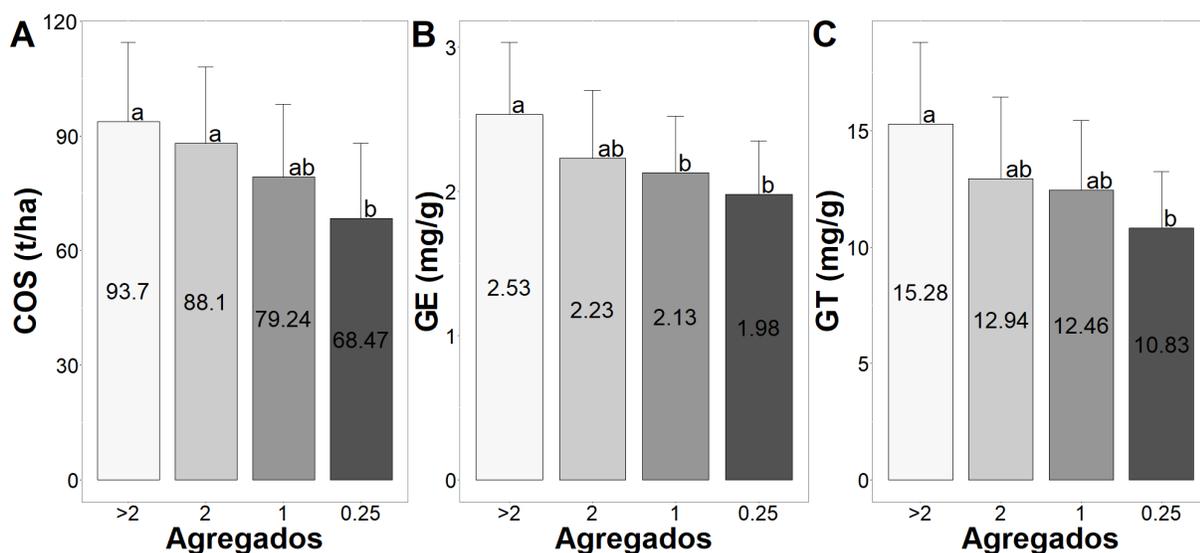


**Figura 1.** Comparación de medias de carbono orgánico del suelo (COS), glomalina total (GT) y glomalina extraíble (GE) en suelos de la Amazonía Peruana

En la Figura 1B se observa que para GE no hubo diferencias significativas entre la silvopastura y bosque; en tanto que existió la menor concentración en el cafetal. Esta fracción se relaciona con la glomalina de más reciente formación, por lo que puede variar según las condiciones climáticas y las prácticas agrícolas de movimiento de suelo, con una mayor degradación asociada a la incidencia directa del sol en suelos con baja cobertura de vegetación leñosa (Holátko et al., 2021).

#### Distribución del carbono y glomalina en diferentes agregados de suelos

Los agregados del suelo influyeron significativamente en la disponibilidad de COS, GE y GT ( $P \leq 0,05$ ). Los agregados mayores de 2 mm presentaron las mayores concentraciones con valores de  $93,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $2,53 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  y  $15,28 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  para COS, GE y GT, respectivamente (Figura 2). Se evidencia que conforme los agregados fueron de menores dimensiones los contenidos de COS y glomalina, por unidad de masa, disminuyeron.



**Figura 2.** Comparación de medias de carbono orgánico del suelo (COS), glomalina extraíble (GE) y glomalina total (GT) en suelos bajo diferentes tamices en la Amazonía Peruana

Es conocido que a medida que las partículas son de menor tamaño, su superficie por unidad de masa aumenta, por lo que se esperaría una mayor retención de COS y glomalina en los agregados más pequeños; sin embargo, Pan et al. (2007) demostraron que la tasa de descomposición del COS es más lenta en los agregados más grandes porque éstos pueden proporcionar mejor protección física para el COS, lo que explica el mayor contenido de COS encontrado en las partículas de suelo más grandes. Y en contraste, el carbono orgánico se descompone más rápidamente en los agregados pequeños. Resultados similares los presentaron Cai et al. (2023), quienes encontraron que la contribución de COS, GE y GT fue mayor en los agregados mayores de 2 mm con respecto a los agregados menores, lo que permite señalar que el contenido de glomalina en los agregados de

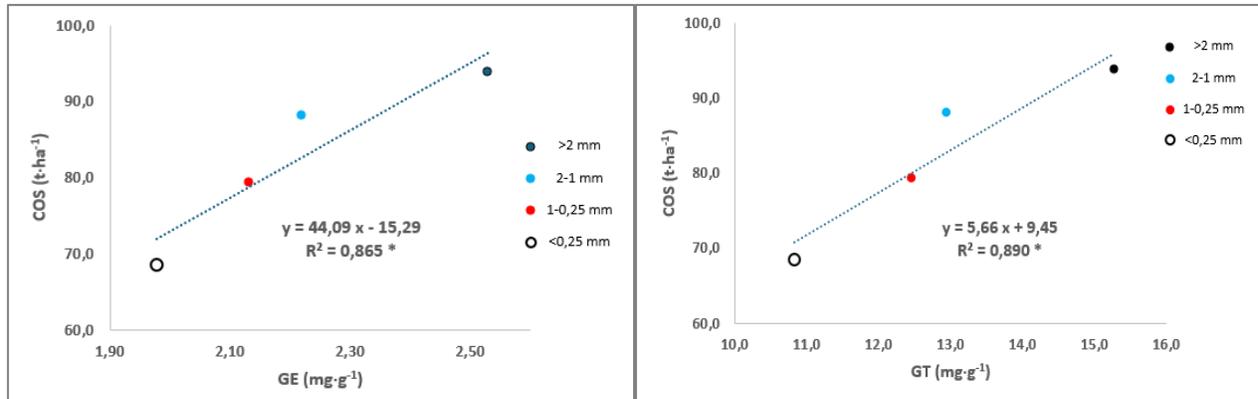
partículas grandes promovió mayor almacenamiento de COS que en los agregados de partículas más pequeñas. La permanencia de los agregados del suelo es un índice vital que está estrechamente asociado con la mitigación del carbono orgánico del suelo y la restitución de nutrientes (Guo et al., 2020; Ma et al., 2022).

#### Relación de la glomalina con el COS y propiedades del suelo

La GE y GT presentaron asociaciones significativas con el COS, en donde la variación en el contenido de éste fue explicada por el 86,5 y 89,0 % de la variación en GE y GT, respectivamente (Figura 3). Las pendientes fueron positivas, lo cual ratifica que los agregados menores a 0,25 mm presentaron los menores contenidos de glomalina y COS, con incrementos paulatinos a medida que se avanzó hacia agregados de mayor

tamaño. Resultados similares fueron hallados por Jing et al. (2017), quienes encontraron una asociación fuerte entre COS y GT, particularmente en agregados mayores a 0,25 mm. En nuestro caso, se encontró que la glomalina fue más favorable para la retención de COS en los agregados superiores a 2 mm. La agregación del suelo y el carbono asociado a los agregados desempeñan una función esencial en la salud del

suelo y el secuestro de carbono. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se consideran agregadores primarios debido al efecto combinado de hifas extrarradicales y proteínas del suelo relacionadas con la glomalina (Yang et al., 2022). Por lo tanto, la glomalina es un componente que influyen en el contenido del COS, tal como lo indican Cai et al. (2023)



**Figura 3.** Relación de glomalina extraíble (GE) y glomalina total (GT) con carbono orgánico del suelo (COS) de acuerdo con la granulometría de los agregados en la Amazonía Peruana. La leyenda muestra los tamaños de partícula evaluados

## CONCLUSIONES

Los sistemas o ambientes estudiados influyeron significativamente en los contenidos de COS y glomalina. Se encontró que la conversión de tierras de bosques nativos a pastizales cultivados o inducidos redujo significativamente las reservas de COS, debido al cambio de uso de la tierra. Al mismo tiempo que los agregados del suelo influyeron significativamente en la disponibilidad de COS y glomalina. Se evidencia que conforme los agregados fueron de menores dimensiones el contenido de COS y glomalina fue menor, existiendo diferencias significativas entre los agregados mayores de 2 mm y menores de 0,25 mm.

## AGRADECIMIENTO

Este estudio fue financiado por la Universidad César Vallejo, Tarapoto, a través del proyecto "Potencial de factores climáticos y glomalina en las reservas de carbono orgánico e inorgánico en suelos con café en San Martín"

## LITERATURA CITADA

1. Aryal, D.R., D.E. Morales, C.N. Tondopó, R. Pinto, F. Guevara, J.A. Venegas et al. 2018. Soil Organic Carbon Depletion from Forests to Grasslands Conversion in Mexico: A Review: Agriculture 8(11): 181.
2. Blake, G.R. y K. Hartge. 1986, Bulk density. In Klute, A. (ed.) Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. pp. 363-375.
3. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical. Biochemistry 72(1-2): 248-254.
4. Bruun, T.B., A. de Neergaard, D. Lawrence y A.D. Ziegler. 2009. Environmental consequences of the demise in swidden cultivation in Southeast Asia: Carbon storage and soil quality. Human Ecology 37: 375-388.

5. Cai, C., F. Huang, Y. Yang, S. Yu, S. Wang, Y. Fan et al. 2023. Effects of glomalin-related soil protein driven by root on forest soil aggregate stability and carbon sequestration during urbanization in Nanchang, China. *Plants* 12: 1847.
6. Castillo, C.G., F. Borie, F. Oehl y E. Sieverding. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity: prospecting in Southern-Central zone of Chile. A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 16(2): 400-422.
7. Covalada, S., J.F. Gallardo, F. García-Oliva, H. Kirchmann, C. Prat, M. Bravo et al. 2011. Efectos del uso de la tierra en la distribución del carbono orgánico del suelo dentro de fracciones de tamaño de partículas de suelos volcánicos en la Faja Volcánica Transmexicana (México). *Gestión de Uso del Suelo* 27: 186-194.
8. Deng, C., Y.N. Zou, A. Hashem et al. 2023. The visualized knowledge map and hot topic analysis of glomalin-related soil proteins in the carbon field based on Citespace. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 10: 48.
9. Elliot, J.E. 2020. Intensificación productiva del café y conservación de bosques. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 85 p. <https://n9.cl/gzxbyd>
10. Guo, Y.F., R.Q. Fan, X.P. Zhang, Y. Zhang y A.Z. Liang. 2020. Tillage-induced effects on SOC through changes in aggregate stability and soil pore structure. *Science of the Total Environment* 703: 134617.
11. Gupta, V.V. y J.J. Germida. 2015. Soil aggregation: Influence on microbial biomass and implications for biological processes. *Soil Biology and Biochemistry* 80: A3-A9.
12. Hairiah, K., M. van Noordwijk, R.R. Sari, D.D. Saputra, D. Suprayogo, S. Kurniawan et al. 2020. Soil carbon stocks in Indonesian (agro) forest transitions: Compaction conceals lower carbon concentrations in standard accounting. *Agriculture Ecosystems & Environm* 294: 106879.
13. Holátko, J., M. Brtnický, J. Kučerík, M. Kotianová, J. Elbl, A. Kintl et al. 2021. Glomalin- Truths, myths, and the future of this elusive soil glycoprotein. *Soil Biology and Biochemistry* 153.
14. Hossain, M.B. 2021. Glomalin and Contribution of Glomalin to Carbon Sequestration in Soil: A Review. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 9(1): 191-196.
15. Jing, H., J.Y. Shi y G.L. Wang. 2017. Distribution of the glomalin-related soil protein and aggregate fractions in different restoration communities after clear-cutting *Pinus tabulaeformis* plantation. *China Environ. Sci* 37: 3056-3063.
16. Koide, R.T. y M.S. Peoples. 2013. Behavior of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. *Agric. Ecosyst. Environ. Appl. Soil Ecol.* 63: 8-14.
17. Ma, Y., X.Q. Cheng, F.F. Kang y H.R. Han. 2022. Effects of thinning on soil aggregation, organic carbon and labile carbon component distribution in *Larix principis-rupprechtii* plantations in North China. *Ecological Indicators* 139: 108873.
18. Ma, J.H., X.H. Ye y C.D. Han. 2018. Effects of different irrigation control limits of drip irrigation under mulch on soil aggregate nutrients, enzyme activities and coccomycin content in greenhouse. *Chin. J. Appl. Ecol.* 29: 2713-2720.
19. MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Estrategia nacional sobre bosques y cambio climático. Lima, Perú. Decreto supremo N° 007-2016.
20. Navarrete, D., S. Sitch, L.E. Aragón, y L. Pedroni. 2016. Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices. *Glob Chang Biol. Biol.* 22: 3503-3517.
21. Pan, G.X., P. Zhou y L.Q. Li. 2007. Core issues and research progress of soil science of C sequestration. *Acta Pedol. Sin.* 44: 327-337.
22. Pang, D., J. Chen, M. Jin, H. Li, Y. Luo, W. Li, et al. 2020. Changes in soil micro- and macro-aggregate associated carbon storage following straw incorporation. *Catena* 190: 104555.

23. Rillig, M.C., S.F. Wright y V. Eviner. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*. 238: 325-333.
24. Reátegui, S y J. Arce. 2016. Cambio de uso actual de la tierra en la Amazonía peruana Avances e implementación en el marco de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre 29763. Lima, Perú.
25. Rojas, N.B., E. Barboza, J.L. Maicelo, S.M. Oliva y R. Salas. 2019. Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles. 81 p.
26. Sekaran, U., K.L. Sagar y S. Kumar. 2021. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. *Soil and Tillage Research* 208: 104885.
27. Seydewitz, T., P. Pradhan, D.M. Landholm, et al. 2023. Deforestation Drivers Across the Tropics and Their Impacts on Carbon Stocks and Ecosystem Services. *Anthropocene Science* 2: 81-92.
28. Solís, R., G. Vallejos-Torres, L. Arévalo, et al. 2020. Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. *The Journal of Agricultural Science*. 158(6): 450-460.
29. Vallejos-Torres, G., N. Gaona-Jimenez, A. Lozano, C.I. Paredes, C.M. Lozano, A. Alva-Arévalo et al. 2023. Soil organic carbon balance across contrasting plant cover ecosystems in the Peruvian Amazon. *Chilean Journal of Agricultural Research* 83(5): 553-564.
30. van Straaten, O., M.D. Corre, K. Wolf, M. Tchienkoua, E. Cuellar, R.B. Matthews, E. Veldkamp. 2015. Conversion of lowland tropical forests to tree cash crop plantations loses up to one-half of stored soil organic carbon. *Proc Natl Acad Sci U.S.A* 111(32): 9956-9960.
31. Walkley, A. y I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
32. Wright, S.F. y A.A. Upadhyaya. 1998. survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198: 97-107.
33. Yadav, R.P., J.K. Bisht y J.C. Bhatt. 2017. Biomass, carbon stock under different production systems in the mid hills of Indian Himalaya. *Tropical Ecology* 58(1): 15-21.
34. Yang, Y., W. Luo, J. Xu, P. Guan, L. Chang, X. Wu et al. 2022. Fallow Land Enhances Carbon Sequestration in Glomalin and Soil Aggregates Through Regulating Diversity and Network Complexity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Under Climate Change in Relatively High-Latitude Regions. *Front. Microbiol* 13: 930622.
35. Yu, P.J., J.L. Liu, H.Y. Tang, E. Ci, X.G. Tang, S.W. Liu, et al. 2023. The increased soil aggregate stability and aggregate-associated carbon by farmland use change in a karst region of Southwest China. *Cadena* 231: 107284.
36. Zhang, R., Y. Mu, X. Li, S. Li, P. Sang, X. Wang, et al. 2020. Response of the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and community in maize and soybean rhizosphere soil and roots to intercropping systems with different nitrogen application rates. *Science Total Environ*. 740: 139810