



# Propiedades físicas de un suelo sometido a la aplicación de diferentes cantidades de materia orgánica de escarabajo

## Physical properties of soil submitted to the implementation of different amounts of beetle organic matter

Juan Pablo Fernández-Rodríguez<sup>1</sup> ; Javier Giovanni Álvarez-Herrera<sup>2\*</sup> ; Marilcen Jaime-Guerrero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Agrología. Bogotá D.C., Colombia; e-mail: [juan.fernandez@igac.gov.co](mailto:juan.fernandez@igac.gov.co)

<sup>2</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: [javier.alvarez@uptc.edu.co](mailto:javier.alvarez@uptc.edu.co)

<sup>3</sup>Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigaciones Agrícolas (GIA). Tunja - Boyacá, Colombia, e-mail: [marilcenjaime@uptc.edu.co](mailto:marilcenjaime@uptc.edu.co)

\*autor de correspondencia: [javier.alvarez@uptc.edu.co](mailto:javier.alvarez@uptc.edu.co)

**Cómo citar:** Fernández-Rodríguez, J.P.; Álvarez-Herrera, J.G.; Jaime-Guerrero, M. 2024. Propiedades físicas de un suelo sometido a la aplicación de diferentes cantidades de materia orgánica de escarabajo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(2):e2561. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2561>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

**Recibido:** marzo 8 de 2023

**Aceptado:** septiembre 2 de 2024

**Editado por:** Helber Adrián Arévalo Maldonado

### RESUMEN

Las áreas con suelos degradados en el mundo son cada vez mayores y ponen en peligro la seguridad alimentaria, los ecosistemas y la sostenibilidad; no obstante, una herramienta para controlar esta pérdida de suelo es la adición de materia orgánica (MO). Existen diversas fuentes de materia orgánica, una de ellas, proviene del abono orgánico de escarabajo, pero se desconoce su efecto sobre las propiedades físicas del suelo. Este trabajo evaluó el impacto de la aplicación de diferentes cantidades de materia orgánica de escarabajo en las propiedades físicas de un suelo. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cinco tratamientos correspondientes a diferentes dosis de materia orgánica de escarabajo (0, 4, 8, 12 y 16 t ha<sup>-1</sup>), aplicada al suelo. La materia orgánica se aplicó y se dejó actuar durante 70 días; al cabo de este tiempo se midieron las propiedades físicas del suelo. Los resultados indicaron que la materia orgánica de escarabajo afectó significativamente la densidad aparente, el índice de estabilidad de agregados (IEA), la resistencia a la penetración y la humedad volumétrica. Los mayores valores de IEA se obtuvieron con la aplicación de 4 t ha<sup>-1</sup> de MO. La adición de 16 t ha<sup>-1</sup> de MO disminuyó, tanto la densidad aparente como la resistencia a la penetración y mejoró la calidad del suelo en parámetros, como el índice de plasticidad y la humedad volumétrica. La materia orgánica de escarabajo se convierte en una alternativa importante para mejorar las propiedades físicas del suelo.

Palabras clave: Enmienda; Estabilidad de agregados; Índice de plasticidad; Resistencia a la penetración; Retención de humedad.

### ABSTRACT

The degradation of soils worldwide is escalating, posing threats to food security, ecosystems, and sustainability. However, one tool to mitigate this soil degradation is the addition of organic matter (OM). Various sources of organic matter exist, one being beetle organic fertilizer; nevertheless, its impact on soil physical properties remains unknown. This study aimed to assess the effects of different quantities of beetle organic matter application on soil physical properties. A completely randomized experimental design was employed with five treatments corresponding to varying doses of beetle organic matter (0, 4, 8, 12, and 16 t ha<sup>-1</sup>) applied to the soil. The organic matter was applied and allowed to interact with the soil for 70 days. Subsequently, the soil's physical properties were measured. The findings revealed that beetle organic matter significantly influenced bulk density, aggregate stability index (ASI), penetration resistance, and volumetric moisture. The highest ASI values were observed by applying 4 t ha<sup>-1</sup> of OM. Applying 16 t ha<sup>-1</sup> of OM reduced apparent density and penetration resistance while enhancing soil quality in parameters such as plasticity index and volumetric moisture. Beetle organic matter emerges as a promising alternative for improving soil physical properties.

Keywords: Amendment; Moisture retention; Penetration resistance; Soil plasticity index.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en la actividad antropogénica en los suelos se ha incrementado, con el fin de garantizar la seguridad alimentaria y proporcionar servicios ecosistémicos (Wang *et al.* 2024). Actualmente, se estima que cerca del 40 % de la superficie terrestre tiene suelos degradados y presenta una tendencia en alza, que amenaza directamente el bienestar ambiental, de casi la mitad de la población mundial (UNCCD, 2022). Asimismo, el cambio climático se presenta como un factor clave en la pérdida de suelo y se espera que esta tendencia se intensifique en las próximas décadas, debido a la creciente incidencia de precipitaciones extremas, especialmente, en las zonas de clima tropical; además, las zonas con latitudes templadas y climas subtropicales no están exentas de los efectos del aumento de la erosión climática y podrían experimentar picos de incrementos en la pérdida de suelo, de hasta el 50 % (Borrelli *et al.* 2020).

En este sentido, la intensificación de la producción agrícola y el incremento del rendimiento por unidad de superficie ha contribuido a la degradación de los suelos, afectando su estructura y disminuyendo su fertilidad (Oliveira *et al.* 2019). Este fenómeno resulta de la pérdida de materia orgánica (MO), la aplicación excesiva e intensiva de fertilizantes, la acidificación, la salinidad, la emisión de gases de efecto invernadero, la erosión, la compactación, la contaminación y la pérdida de biodiversidad (Kopittke *et al.* 2019). Tales factores afectan las propiedades físicas del suelo, limitan el desarrollo de las raíces, reducen la disponibilidad de nutrientes y disminuyen el rendimiento de los cultivos. Además, las áreas degradadas son más susceptibles a enfermedades, sequías e inundaciones y problemas de manejo del suelo (UNCCD, 2022).

La MO determina, en gran medida, la calidad y la fertilidad del suelo (Gerke, 2022) y contribuye a mejorar diferentes propiedades, ya que aumenta la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de humedad, favorece los procesos de infiltración y aumenta la fertilidad potencial del suelo en cuanto a la capacidad de retener nutrientes, principalmente, N, P y S (Kopittke *et al.* 2019), puesto que disminuye la pérdida de suelo, lo cual, es importante para mantener la fertilidad y la productividad (Timsina, 2018). En este sentido, la degradación de las propiedades físicas está estrechamente relacionada con la reducción del contenido de MO, por lo tanto, la adición de enmiendas orgánicas toma gran importancia, ya que mejoran las propiedades físicas del suelo e incrementan la estabilidad estructural, la porosidad, la resistencia a la compactación, disminuyen la densidad aparente y mejoran la diversidad microbiana del suelo (Kuzyakov *et al.* 2020).

Al respecto, Blanco-Canqui (2024) mencionan que la MO tiene el potencial de mejorar algunas propiedades hidráulicas y estructurales del suelo y que la acumulación de C orgánico constituye el principal mecanismo para mejorar estos parámetros. Asimismo, es sabido del efecto de la aplicación de materia orgánica sobre la formación de agregados y la estabilidad del suelo (Li *et al.* 2023). Según Halder *et al.* (2022) mencionan que la dinámica de los agregados del suelo afecta el secuestro de carbono orgánico de los suelos, el ciclo de

los nutrientes, la difusión de aire y agua en el suelo y que está directamente relacionada con la calidad de la materia orgánica y su grado de descomposición.

Una alternativa novedosa es el uso de materia orgánica procesada por escarabajos; sin embargo, se desconocen sus efectos sobre la mejora de las propiedades físicas del suelo. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar el efecto de diferentes cantidades de materia orgánica de escarabajos en las propiedades físicas de un suelo, en la Sabana de Bogotá.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento, se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, ubicada a una altura de 2.556 m s.n.m., con una temperatura promedio de 14,7 °C, humedad relativa del 80 % y brillo solar de 4,5 h d<sup>-1</sup>.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, con cinco tratamientos, que correspondieron a cinco dosis de materia orgánica 0, 4, 8, 12 y 16 t ha<sup>-1</sup>, con seis repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo compuesta por una parcela de 1 m<sup>2</sup>, ubicada en un terreno plano y a campo abierto; además, el ensayo general tuvo un metro alrededor de condición de borde y deshierbado, con el fin de evitar la incidencia de material vegetal y alteración de los tratamientos.

La materia orgánica correspondió al producto abono orgánico de escarabajos con registro ICA 5201 de Tierra viva escarabajos (Colombia). El abono orgánico de escarabajos es obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos durante cuatro meses, generada por la actividad de las larvas de los escarabajos (Tabla 1). La materia orgánica fue adicionada a la superficie del suelo, el cual, había sido previamente preparado mediante labranza tradicional, con un pase de rastra y un pase de rastrillo, con una profundidad de 20 cm. Este suelo se caracteriza por tener textura franca, con altos valores de materia orgánica (6,7 %), contenidos de humedad volumétricos que oscilan entre 42 y 63 % y pH de 5,7, capacidad de intercambio catiónica efectiva de 17,5 cmol kg<sup>-1</sup>, N de 0,45 % y con Ca, K y Mg, de 14,8, 0,79 y 1,26 cmol kg<sup>-1</sup> (Herrera *et al.* 2012).

Se aplicó riego cada seis días, con el fin de mantener el suelo a capacidad de campo, para favorecer los procesos microbiológicos. La materia orgánica se dejó actuar durante 70 días y al cabo de este tiempo, se extrajeron muestras de suelo, a una profundidad entre 10 y 20 cm, secadas al aire y llevadas al laboratorio, en donde se determinaron las siguientes propiedades físicas: densidad aparente, índice de estabilidad de agregados, resistencia a la penetración, índice de plasticidad y humedad volumétrica.

La densidad aparente ( $\rho_b$ ) se determinó por el método del terrón parafinado, mientras que la resistencia a la penetración (RP) se midió mediante la utilización de un penetrómetro cónico digital Fieldscout SC 900 (Spectrum Technologies, Aurora, IL), tomando el promedio de las mediciones de RP a 10 y 20 cm. Para la

determinación del diámetro ponderado medio (DPM), se empleó la ecuación 1, mientras que para el cálculo del índice de estabilidad de agregados (IEA), se empleó la ecuación 2. Luego se colocó la muestra de suelo en oscilación en una serie de tamices de 6,35, 4, 2, 1 y 0,5 mm de diámetro, según lo descrito por Kemper & Rosenau (1986); transcurrido 30 minutos, las porciones retenidas en cada tamiz fueron trasladadas a cápsulas de aluminio y se secaron a 105 °C, durante un período de 24 horas, para su posterior pesaje, siguiendo la metodología adaptada de Ćirić *et al.* (2012).

$$DPM = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \times W_i \quad \text{ecuación 1}$$

Donde,  $\bar{X}_i$ : diámetro promedio de los agregados depositados en cada tamiz;  $W_i$ : porcentaje de masa de la respectiva fracción de agregados.

$$IEA = \frac{W_2 + W_3 + W_4 + W_n}{W_1 + W_n} \quad \text{ecuación 2}$$

$W_1$ : porcentaje de masa de agregados mayores a 2 mm

$W_n$ : porcentaje de masa de agregados menores a 0,25 mm

$W_2, W_3, W_4, \dots$ : porcentaje de masa de agregados en cada uno de los tamices, que se encuentran dentro del rango de 2 a 0,25 mm de diámetro.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del abono orgánico de escarabajos con registro ICA 5201.

Propiedades fisicoquímicas	Valor	Unidades
pH	7,74	%
Da	0,55	g cm <sup>-3</sup>
Humedad	25	%
CE	19,05	cmol kg <sup>-1</sup> de suelo
Retención de humedad	140	%
CIC	50	%
Relación C/N	10	
Carbono orgánico oxidable	21	%
N	2	%
P	1,7	%
K	1,6	%
Ca	7,5	%
Mg	0,5	%
S	0,5	%
B	0,19	mg L <sup>-1</sup>
Cu	17	mg L <sup>-1</sup>
Mn	74	mg L <sup>-1</sup>
Fe	2550	mg L <sup>-1</sup>
Zn	92	mg L <sup>-1</sup>
Na	4313	mg L <sup>-1</sup>
Cenizas	33,1	%

Adicionalmente, se establecieron los límites de Atterberg para obtener el índice de plasticidad (IP) (límite líquido menos el límite plástico), para lo cual, se tomaron 120 g de muestra de suelo, que se pasó a través de un tamiz UNE 400 y luego se mezcló con agua destilada, para formar una pasta uniforme, que se depositó en la cazuela casagrande S020604 (Pinzuar S.A.S, Colombia), en donde se tomó el contenido de humedad del suelo a los 25 golpes, para determinar el límite líquido, mientras que el límite plástico, se calculó tomando la humedad del suelo cuando una muestra de 8 g se rodó entre los dedos y una placa de cristal, para formar un hilo de 3 mm de diámetro, hasta que el hilo elaborado se desmoronaba en tres partes. La humedad volumétrica ( $\theta_v$ ), expresada en porcentaje,

se determinó mediante la ecuación 3, en donde se calculó la diferencia entre la masa de suelo húmedo ( $M_{sh}$ ) y la masa de suelo seco ( $M_{ss}$ ) y se dividió por el volumen total de la muestra ( $V_T$ ) y la densidad del agua ( $\rho_w$ ).

$$\theta_v = \frac{(M_{sh} - M_{ss})}{V_T \times \rho_w} \quad \text{ecuación 3}$$

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza convencional, además de una prueba de comparación de promedios de Tukey al 5 %, análisis de contrastes ortogonales y correlaciones de Pearson. Para el análisis de los datos se empleó el software estadístico SAS v. 9.1 (Cary, N.C.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Densidad Aparente (pb).** La densidad aparente disminuyó de forma lineal y significativa con el incremento del contenido de materia orgánica ( $P \leq 0,01$ ), de tal manera, que la menor densidad ( $0,91 \text{ g cm}^{-3}$ ) se obtuvo con la aplicación de  $16 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 1); esto indica, que la aplicación de materia orgánica de escarabajo logró modificar la densidad aparente del suelo, corroborado con el análisis

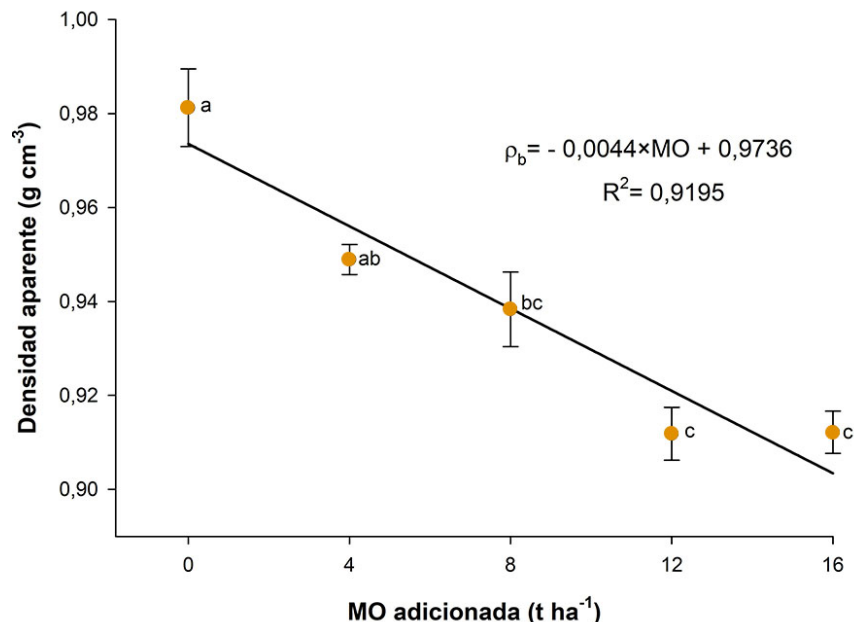


Figura 1. Densidad aparente (pb) de un suelo sometido a la aplicación de diferentes dosis de materia orgánica (MO), a partir de un abono orgánico de escarabajo. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Barras de error indican el error estándar ( $n=6$ ).

La menor densidad aparente obtenida es resultado de una mayor macroporosidad, que se genera, debido a que el aporte de materia orgánica mejora la estructura del suelo, ya que la MO actúa como un agente que facilita la formación de agregados lo que aumenta el tamaño de estos; esto, a su vez, permite un mayor espacio entre partículas y reduce los valores de densidad (Athira *et al.* 2019). Del mismo modo, Reichert *et al.* (2018) mencionan que las aplicaciones de MO aumentan el número de puntos de contacto y del tamaño de los agregados del suelo, lo cual, reorganiza las partículas y reduce la densidad aparente, pero aumenta la resistencia a la penetración del suelo. Similarmente, Forero *et al.* (2010) encontraron que con la adición de cachaza (subproducto obtenido del proceso de elaboración de panela) en un inceptisol, a mayores cantidades de materia orgánica adicionadas, mayor fue la porosidad total y menor la densidad aparente.

**Estabilidad de agregados.** El DPM no tuvo diferencias estadísticas significativas con la aplicación de las diferentes dosis de MO. El DPM tuvo un promedio de  $2,38 \text{ mm}$ . Del mismo modo, al comparar el efecto de los tratamientos para estos parámetros mediante los contrastes ortogonales, se encontró que la aplicación versus la no aplicación de materia orgánica no obtuvo diferencias estadísticas (Tabla 3). En contraste, Sonsri & Watanabe (2023) reportan que el DPM se incrementó con la aplicación de diferentes fuentes de materia orgánica, compost de residuos de café, de

de contrastes ortogonales (Tabla 3). Lo anterior concuerda con lo reportado por Malone *et al.* (2023), quienes en un metaanálisis encontraron que, en 21 estudios, la adición de materia orgánica proveniente de diferentes enmiendas logró disminuir la densidad aparente de  $1,5$  a  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ ; asimismo, estos autores mencionan que los materiales compostados son los que tienen un mayor efecto en la reducción de la pb.

lodos y de aceite de canola; asimismo, reportan que el DPM correlacionó positivamente con el contenido de carbono orgánico y con la fracción orgánica de alto peso molecular, atribuido a un alto contenido de polisacáridos presentes en la MO. Estos valores de DPM son similares a los obtenidos por Visconti-Moreno & Valenzuela-Balcázar (2019), que oscilaron entre  $1,85$  y  $2,92$ , para suelos del trópico de clima cálido o frío, respectivamente.

En cuanto al IEA, mostró diferencias estadísticas significativas y se ajustó a un polinomio de segundo grado, donde el mayor IEA se obtuvo con la aplicación de  $4 \text{ t ha}^{-1}$  y el menor con el testigo (Figura 2); asimismo, la comparación por contrastes ortogonales también mostró significancia, lo que resalta los beneficios de la aplicación de materia orgánica de escarabajo sobre el andisol evaluado. Lo anterior es similar a lo mencionado por Iheshiulo *et al.* (2024), quienes obtuvieron que la adición de enmiendas orgánicas mejora los atributos de calidad del suelo, incluida la estabilidad de agregados. Al respecto, se puede decir que la dosis de  $4 \text{ t ha}^{-1}$  estabiliza los agregados de manera más eficiente y favorece la formación de sustancias ligantes, como el humus; no obstante, cuando se aplican cantidades mayores es probable que altas dosis de MO conlleven a un incremento de la actividad microbiana, lo cual puede llevar a una rápida descomposición de la MO en lugar de tener un efecto en la estabilización en el suelo (Cabugao *et al.* 2022).

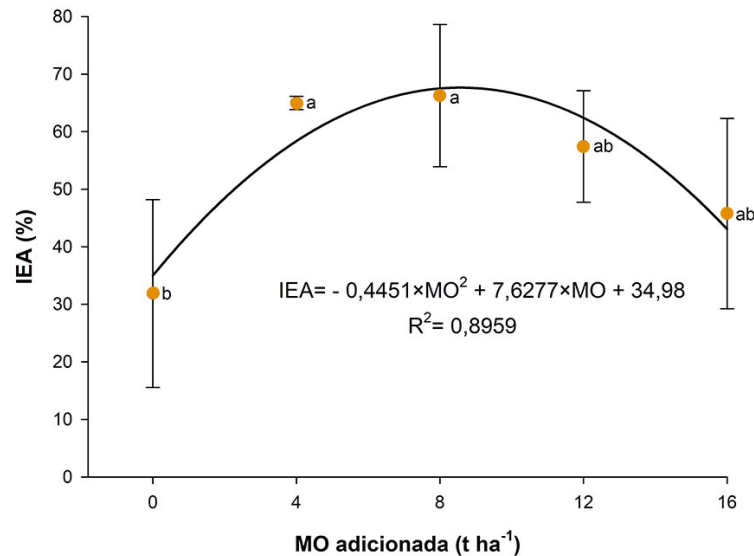


Figura 2. Índice de estabilidad de agregados (IEA) de un suelo sometido a la aplicación de diferentes dosis de materia orgánica (MO), a partir de un abono orgánico de escarabajo. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). Barras de error indican el error estándar ( $n=6$ ).

Del mismo modo, Sonsri & Watanabe (2023) encontraron que la adición de materia orgánica incrementó la cantidad de agregados con un tamaño mayor a 2 mm. Al respecto, Halder *et al.* (2021) afirman que el estado de descomposición de los materiales orgánicos adicionados afecta, en gran medida, el resultado que logre la aplicación de MO sobre los agregados del suelo; de igual manera, si los residuos son de fácil descomposición (con azúcares solubles abundantes), los agregados del suelos tendrán una mejora considerable en tamaño, a corto plazo y su efecto se atenuará con el tiempo, mientras que la adición de materiales de lenta descomposición (con O-alquilo y di-O-Alquilo C abundantes), tendrán un efecto a largo plazo, en la estabilidad de los agregados; asimismo, Liu *et al.* (2021) mencionan que la estabilidad de los agregados está relacionada con la dinámica de formación de agregados de gran tamaño.

Al respecto, Iheshiulo *et al.* (2024) afirman que la estabilidad de agregados del suelo es fundamental para mejorar la función del suelo y el rendimiento de los cultivos y que este parámetro depende de agentes bióticos que aumentan el grado de agregación de las partículas del suelo, como la macrofauna (lombrices), la mesofauna (colémbolos, quilópodos, diplópodos), la microfauna (nematodos) y la microflora (bacterias y hongos) y las raíces y de agentes abióticos, como la fracción de arcilla, los óxidos de hierro, los carbonatos de calcio y la materia orgánica (Even & Cotrufo, 2024). Igualmente, Halder *et al.* (2022) encontraron que la MO desempeña una función importante en la formación y en la agregación de las partículas del suelo, así como en la disminución de la pérdida de suelo, ya que contribuye a formar puentes entre polímeros orgánicos con las superficies inorgánicas. Estos polímeros, incluyen sustancias, como polisacáridos y proteínas, que actúan como agentes aglutinantes, que ayudan a unir las partículas del suelo en agregados más grandes y estables. Lo anterior, explicaría la respuesta obtenida en la estabilidad estructural del suelo con la adición de abono de escarabajo; sin embargo, la baja respuesta en los diámetros de los

agregados se debe, posiblemente, al poco tiempo, en el que se dejó actuar este material orgánico sobre las partículas de suelo, por lo que se recomienda evaluar tiempos mayores, para poder establecer el verdadero efecto del abono de escarabajo sobre la formación de agregados en el suelo.

**Índice de plasticidad (IP).** Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el IP; sin embargo, no hubo una tendencia clara del efecto de la materia orgánica, por lo que la prueba de contrastes ortogonales no mostró diferencias estadísticas (Tabla 3); a pesar de esto, con las dosis de 4 t ha<sup>-1</sup> y 8 t ha<sup>-1</sup>, se obtuvo el mayor y el menor índice de plasticidad, respectivamente (Figura 3a). Se esperaba encontrar una mayor respuesta con dosis mayores; no obstante, la concentración de bases encontrada en la materia orgánica de escarabajo (Tabla 1) podría haber afectado negativamente su efecto. Al respecto, Yong *et al.* (2019) afirman que bases, como el Calcio y el Magnesio, tienden a promover la floculación de las partículas de suelo, que contribuyen a la formación de agregados estables, reduciendo la plasticidad del suelo, ya que un suelo con buenos agregados es menos susceptible a deformarse cuando está húmedo.

En este sentido, es sabido que el IP está más relacionado con la textura y es así como éste suelo, por ser de textura Franca, tiene un IP que no fluctúa con facilidad al agregar materia orgánica. Este índice determina el rango de humedad en el que el suelo es plástico y tiene los mayores riesgos para manipular con equipos de labranza o cultivos, por los posibles efectos de compactación y de sellado de la superficie. Aun así, Gui *et al.* (2021) mencionan que, conforme se incrementa el contenido de MO en el suelo aumenta el IP y mencionan que si el contenido de carbón orgánico en el suelo es mayor al 7,5 %, el IP puede aumentar hasta en un 5,2 %, atribuido a que, si se incrementa la MO aumentan los contenidos de humus, que es una sustancia coloidal hidrófila, por lo que aumentará el contenido de humedad en el suelo, que afecta positivamente los valores de los límites de Atterberg.

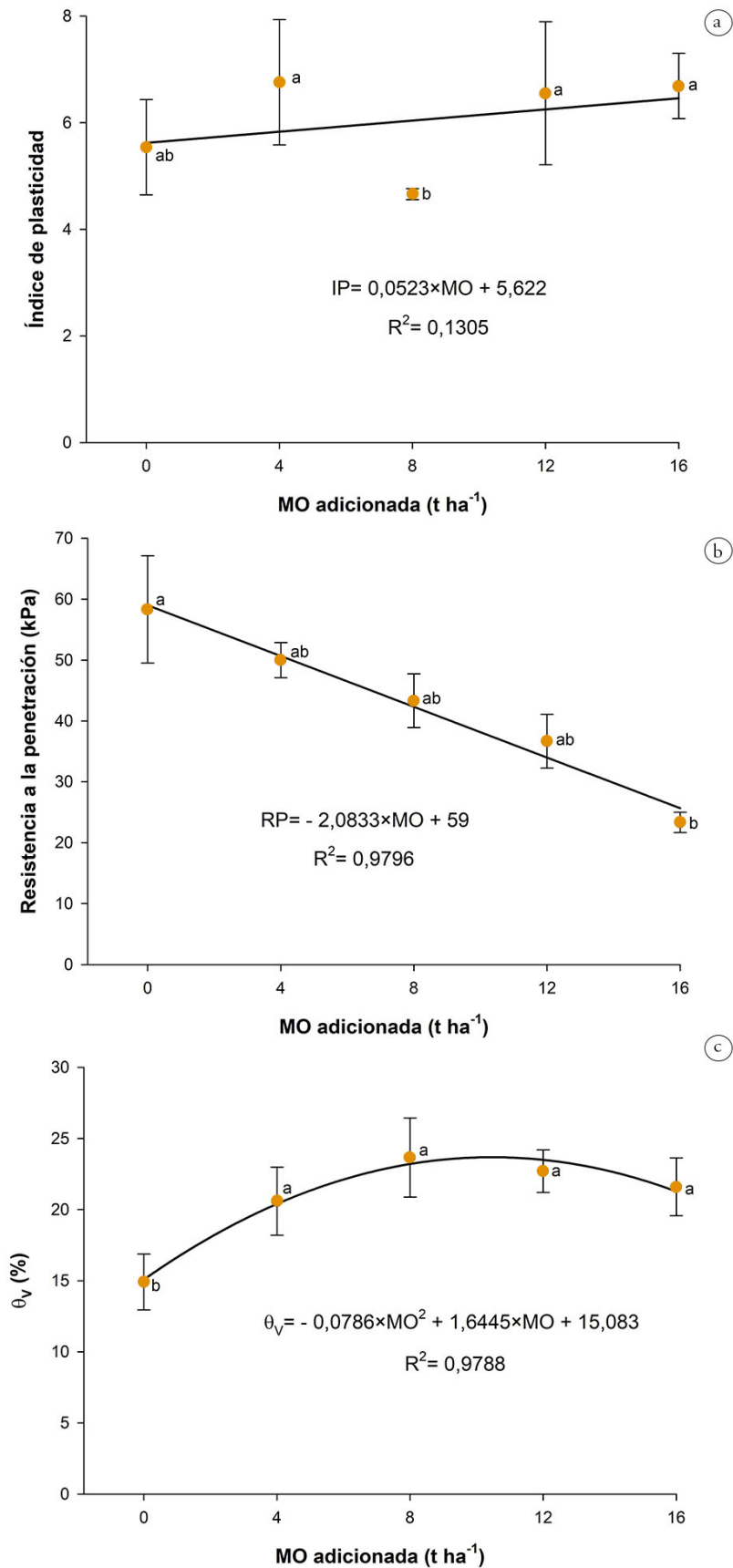


Figura 3. a) Índice de plasticidad, b) Resistencia a la penetración y c) Humedad volumétrica ( $\theta_v$ ) de un suelo sometido a la aplicación de diferentes dosis de materia orgánica (MO), a partir de un abono orgánico de escarabajo. Letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Barras de error indican el error estándar ( $n=6$ ).

**Resistencia a la penetración (RP).** Se presentaron diferencias significativas entre las distintas cantidades de MO aplicadas al suelo. Del mismo modo, la resistencia a la penetración se hizo menor, conforme el contenido de materia orgánica aumentó, de tal modo, que la aplicación de 16 t ha<sup>-1</sup> generó la menor resistencia con 0,23 kg cm<sup>-2</sup> (Figura 3b). Asimismo, los contrastes ortogonales indicaron que la aplicación de materia orgánica de escarabajo afectó significativamente la resistencia a la penetración con relación a la no aplicación (Tabla 3). Además, la RP tuvo una correlación positiva y significativa con la densidad aparente (Tabla 2), de tal forma

que, con la adición de materia orgánica de escarabajo, disminuye la RP, debido a que también disminuye la densidad aparente del suelo, lo cual, está estrechamente relacionado con la compactación (Sanches Suzuki *et al.* 2022) y la porosidad del suelo. Al respecto, la compactación del suelo tiene fuertes implicaciones en el manejo del suelo, ya que reduce la velocidad de infiltración y drenaje del agua, disminuye la disponibilidad de agua y oxígeno para las raíces (Shaheb *et al.* 2021), por lo anterior, se considera una práctica favorable la adición de abono de escarabajo al suelo.

Tabla 2. Prueba de correlaciones de Pearson entre propiedades físicas de un suelo bajo la aplicación de diferentes dosis de materia orgánica, a partir de un abono orgánico de escarabajo.

Variable	$\rho_b$	DPM	IEA	IP	RP	$\theta_v$
$\rho_b$	1	-0,09 ns	-0,09 ns	-0,3 ns	0,62 *	-0,6 *
DPM		1	-0,6 *	-0,1 ns	0,2 ns	-0,7 *
IEA			1	0,1 ns	-0,3 ns	0,7 *
IP				1	-0,3 ns	-0,03 ns
RP					1	-0,4 ns
$\theta_v$						1

\* Diferencias estadísticas al 5 %, ns: no hay diferencias estadísticas.  $\rho_b$ : Densidad aparente; DPM: diámetro medio ponderado; IEA: índice de estabilidad de agregados; IP: índice de plasticidad; RP: resistencia a la penetración;  $\theta_v$ : humedad volumétrica.

Tabla 3. Contrastes ortogonales para propiedades físicas del suelo entre la no aplicación y aplicación de materia orgánica, a partir de un abono orgánico de escarabajo.

Variable	Significancia
Densidad aparente	**
Diámetro medio ponderado (DPM)	ns
Índice de estabilidad	*
Índice de plasticidad	ns
Resistencia a la penetración	*
Humedad Volumétrica	**

\*\* Diferencias estadísticas al 1 %, \*\* diferencias estadísticas al 5 %, ns: no hay diferencias estadísticas.

**Humedad volumétrica ( $\theta_v$ ).** Las diferentes dosis de materia orgánica aplicadas afectaron de manera significativa el comportamiento de la humedad volumétrica en el suelo, ajustado a un polinomio de segundo grado, que indica que la mayor humedad volumétrica se encontró con el tratamiento de 8 t ha<sup>-1</sup> (Figura 3c); no obstante, independientemente de la dosis, la aplicación de materia orgánica de escarabajo generó mayor contenido de humedad volumétrica (Tabla 3). En este sentido, la adición de materia orgánica al suelo es importante, ya que aumenta la estabilidad estructural, debido al aumento del tamaño de los agregados (Sonsri & Watanabe, 2023), de la misma forma, mejora la disponibilidad de agua en el suelo, las tasas de infiltración de agua y la conductividad hidráulica (Jia *et al.* 2024). En este orden de ideas, posiblemente, la materia orgánica de escarabajo estaría favoreciendo no solo la retención, sino, también, la forma como se mueve el agua en el suelo.

estudiado, con excepción del diámetro medio ponderado de los agregados. La aplicación de 12 y 16 t ha<sup>-1</sup> lograron disminuir la densidad aparente y resistencia a la penetración e incrementaron el índice de plasticidad, la humedad volumétrica y el índice de estabilidad de agregados, por lo tanto, la materia orgánica de escarabajo se puede considerar potencialmente como una enmienda para mejorar las propiedades físicas y la calidad de los suelos.

**Conflicto de interés:** El artículo se redactó y se revisó por parte de todos los autores, quienes manifiestan no tener conflicto de interés que ponga en duda la veracidad y validez de los resultados. **Contribución de los autores:** Juan Pablo Fernández: conceptualización, metodología, investigación, escritura borrador original. Javier G. Álvarez-Herrera: escritura, análisis formal, escritura-revisión, edición y supervisión. Marilcen Jaime-Guerrero: escritura, depuración de datos, escritura-revisión y edición.

Como conclusión se puede indicar que la aplicación de materia orgánica de escarabajo mejoró las propiedades físicas del suelo

## REFERENCIAS

- ATHIRA, M.; JAGADEESWARAN, R.; KUMARAPERUMAL, R. 2019. Influence of soil organic matter on bulk density in Coimbatore soils. *International Journal of Chemical Studies*. 7(3):3520-3523.
- BLANCO-CANQUI, H. 2024. Do cover crop mixtures improve soil physical health more than monocultures? *Plant and Soil*. 495(1):99-112. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06086-4>
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D.A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J.E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 117(36):21994-22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- CABUGAO, K.G.M.; GUSHGARI-DOYLE, S.; CHACON, S.S.; WU, X.; BHATTACHARYYA, A.; BOUSKILL, N.; CHAKRABORTY, R. 2022. Characterizing natural organic matter transformations by microbial communities in terrestrial subsurface ecosystems: a critical review of analytical techniques and challenges. *Frontiers in Microbiology*. 13:864895. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.864895>
- ĆIRIĆ, V.; MANOJLOVIC, M.; NESIC, L.; BELIC, M. 2012. Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12(4):689-703. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000025>
- EVEN, R.J.; COTRUFO, M.F. 2024. The ability of soils to aggregate, more than the state of aggregation, promotes protected soil organic matter formation. *Geoderma*. 442:116760. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116760>
- FORERO, F.E.; FERNÁNDEZ, J.P.; ALVAREZ-HERRERA, J.G. 2010. Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 13(1):77-86. <https://doi.org/10.31910/rudca.v13.n1.2010.711>
- GERKE, J. 2022. The central role of soil organic matter in soil fertility and carbon storage. *Soil Systems*. 6(2):33. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>
- GUI, Y.; ZHANG, Q.; QIN, X.; WANG, J. 2021. Influence of organic matter content on engineering properties of clays. *Advances in Civil Engineering*. 2021:6654121. <https://doi.org/10.1155/2021/6654121>
- HALDER, M.; LIU, S.; ZHANG, Z.B.; GUO, Z.C.; PENG, X.H. 2021. Effects of residue stoichiometric, biochemical and C functional features on soil aggregation during decomposition of eleven organic residues. *Catena*. 202:105288. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105288>
- HALDER, M.; LIU, S.; ZHANG, Z.B.; GUO, Z.C.; PENG, X.H. 2022. Effects of organic matter characteristics on soil aggregate turnover using rare earth oxides as tracers in a red clay soil. *Geoderma*. 421:115908. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115908>
- HERRERA, A.M.; FISCHER, G.; CHACÓN, M.I. 2012. Agronomical evaluation of cape gooseberries (*Physalis peruviana* L.) from central and north-eastern Colombia. *Agronomía Colombiana*. 30(1):15-24.
- IHESHIULO, E.M.A.; LARNEY, F.J.; HERNÁNDEZ-RAMIREZ, G.; LUCE, M.S.; CHAU, H.W.; LIU, K. 2024. Soil organic matter and aggregate stability dynamics under major no-till crop rotations on the Canadian prairies. *Geoderma*. 442:116777. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116777>
- JIA, Z.; WENG, B.; YAN, D.; PENG, H.; DONG, Z. 2024. The effects of different factors on soil water infiltration properties in High Mountain Asia: A meta-analysis. *Catena*. 234:107583. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107583>
- KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. En: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No.9. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI. p.425-442. <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/732/3/585.pdf>
- KOPITTKE, P.M.; MENZIES, N.W.; WANG, P.; MCKENNA, B.A.; LOMBI, E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*. 132:105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- KUZYAKOV, Y.; GUNINA, A.; ZAMANIAN, K.; TIAN, J.; LUO, Y.; XU, X.; YUDINA, A.; APONTE, H.; ALHARBI, H.; OVSEPYAN, L.; KURGANOVA, I.; GE, T.; GUILLAUME, T. 2020. New approaches for evaluation of soil health, sensitivity and resistance to degradation. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 7(3):282-288. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020338>
- LI, S.; WANG, B.; ZHANG, X.; WANG, H.; Yi, Y.; HUANG, X.; GAO, X.; ZHU, P.; HAN, W. 2023. Soil particle aggregation and aggregate stability associated with ion specificity and organic matter content. *Geoderma*. 429:116285. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116285>
- LIU, S.; GUO, Z.C.; HALDER, M.; ZHANG, H.X.; SIX, J.; PENG, X.H. 2021. Impacts of residue quality and soil texture on soil aggregation pathways by using



- rare earth oxides as tracers. *Geoderma*. 399:115114. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115114>
- MALONE, Z.; BERHE, A.A.; RYALS, R. 2023. Impacts of organic matter amendments on urban soil carbon and soil quality: A meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*. 419:138148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138148>
- OLIVEIRA, F.C.C.; FERREIRA, G.W.D.; SOUZA, J.L.S.; VIEIRA, M.E.O.; PEDROTTI, A. 2019. Soil physical properties and soil organic carbon content in northeast Brazil: long-term tillage systems effects. *Scientia Agricola*. 77(4):e20180166. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0166>
- REICHERT, J.M.; MENTGES, M.I.; RODRIGUES, M.F.; CAVALLI, J.P.; AWE, G.O.; MENTGES, L.R. 2018. Compressibility and elasticity of subtropical no-till soils varying in granulometry organic matter, bulk density and moisture. *Catena*. 165:345-357. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.014>
- SANCHES SUZUKI, L.E.A.; REINERT, D.J.; TORRES FENNER, P.; SECCO, D.; REICHERT, J.M. 2022. Prevention of additional compaction in eucalyptus and pasture land uses, considering soil moisture and bulk density. *Journal of South American Earth Sciences*. 120:104113. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104113>
- SHAHEB, M.R.; VENKATESH, R.; SHEARER, S.A. 2021. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. *Journal of Biosystems Engineering*. 46:417-439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7>
- SONSRI, K.; WATANABE, A. 2023. Insights into the formation and stability of soil aggregates in relation to the structural properties of dissolved organic matter from various organic amendments. *Soil and Tillage Research*. 232:105774. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105774>
- TIMSINA, J. 2018. Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? *Agronomy*. 8(10):214. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100214>
- UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION, UNCCD. 2022. Global land outlook. Second edition. Land Restoration for Recovery and Resilience. United Nations Convention to Combat Desertification. 176p. Disponible desde Internet en: [https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/UNCCD\\_GLO2\\_low-res\\_2.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/UNCCD_GLO2_low-res_2.pdf)
- VISCONTI-MORENO, E.F.; VALENZUELA-BALCÁZAR, I.G. 2019. Impact of soil use on aggregate stability and its relationship with soil organic carbon at two different altitudes in the Colombian Andes. *Agronomía Colombiana*. 37(3):263-273. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n3.77601>
- WANG, L.; LU, P.; FENG, S.; HAMEL, C.; SUN, D.; SIDDIQUE, K.H.; GAN, G.Y. 2024. Strategies to improve soil health by optimizing the plant-soil-microbe-anthropogenic activity nexus. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 359:108750. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108750>
- YONG, L.L.; NAMAL JAYASANKA PERERA, S.V.A. D.; SYAMSIR, A.; EMMANUEL, E.; PAUL, S.C.; ANGGRAINI, V. 2019. Stabilization of a residual soil using calcium and magnesium hydroxide nanoparticles: A quick precipitation method. *Applied Sciences*. 9(20):4325. <https://doi.org/10.3390/app9204325>