

Efecto de la incorporación de abonos verdes en la transformación de un Oxisol de sabana de la Altillanura colombiana

Amanda Silva Parra¹  

Carlos Armando Medina Polo² 

Álvaro Álvarez Socha³ 

Recibido: (31 de enero de 2025) – Aceptado: (07 de junio de 2025) – Actualizado: (11 de agosto de 2025)

DOI: 10.17151/luaz.2025.60.4

Resumen

Introducción. Las sabanas nativas de la Altillanura son poco productivas y se vienen utilizando en monocultivos para la producción de caña de alta densidad destinada a la generación de biomasa y biocombustibles, lo cual viene degradando las propiedades físico-químicas del suelo. **Objetivo.** El propósito de esta investigación fue evaluar el impacto de la incorporación de cinco especies de abonos verdes (AV) bajo tres densidades de siembra: alta (80 kg/ha), media (50 kg/ha) y baja (30 kg/ha) a dos profundidades del suelo (0-20 cm y 20-40 cm) en algunas propiedades físico-químicas de un Oxisol de sabana y en la productividad del cultivo de caña, para su transformación a suelos más fértiles. **Materiales y métodos.** La distribución de los tratamientos en el campo se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar de tipo factorial con un arreglo en franjas en tres repeticiones, donde el factor A corresponde a los AV, el factor B a las densidades de siembra y el factor C a las profundidades. Se determinó la densidad aparente del suelo (DA), la resistencia mecánica a la penetración (RMS), la materia orgánica (MO) del suelo y el rendimiento de la caña de azúcar en toneladas de caña por hectárea (TCH). **Resultados.** La especie *Crotalaria júncea* con 30 kg/ha de densidad de siembra, redujo la RMS a los 10 cm de profundidad, así como la DA del suelo de 0-20 cm, mostrando una producción de TCH superior (93.67 t/ha) al testigo sin AV, de 50.01 t/ha. **Conclusión.** Los abonos verdes se presentan como una alternativa viable para la transformación de suelos de sabanas tropicales hacia una mayor fertilidad.

Palabras clave: aireación; impedancias físicas; macroporosidad; materia orgánica; sostenibilidad.

Effect of incorporating green manure species on the transformation of a savanna Oxisol in the Colombian Highlands

Abstract

Introduction. The native savannas of the highlands are little productive and have been used in monocultures for the production of high-density sugarcane for biomass and biofuels, which has degraded the physical and chemical properties of the soil. **Objective.** The purpose of this study was to evaluate the impact of the incorporation of five green manure species (GM) under three planting densities: high (80 kg/ha), medium (50 kg/ha) and low (30 kg/ha) at two soil depths (0-20 cm and

20-40 cm) on some physical and chemical properties of a savanna Oxisol and on sugarcane crops productivity, for its transformation into more fertile soils. **Materials and methods.** Treatment distribution in the field was carried out using a factorial randomized complete block design with a strip arrangement in three replicates, where factor A corresponds to the GM, factor B corresponds to the planting densities and factor C corresponds to the soil depths. Soil bulk density (BD), mechanical resistance to penetration (MRP), soil organic matter (OM), and sugarcane yield in tons of cane per hectare (TCH) were determined. **Results.** *Crotalaria júncea*, planted at a planting density of 30 kg/ha, reduced the MRP at 10 cm depth and soil BD of 0-20 cm, showing a higher TCH production (93.67 t/ha) than the control without BD, which was 50.01 t/ha. **Conclusion.** Green manures are presented as a viable alternative for transforming tropical savanna soils towards greater fertility.

Keywords: aeration; physical impedances; macro-porosity; organic matter; sustainability.

Introducción

En la Altillanura, el monocultivo de la caña para la producción de biocombustible viene ocasionando en los Oxisoles de sabana, la pérdida de la materia orgánica (MO) del suelo y su compactación (Silva-Parra, 2018).

El adecuado uso de los abonos verdes (AV), junto con otros factores de producción como la densidad de siembra, han demostrado su capacidad para aumentar la productividad de los cultivos y su sostenibilidad, ya que restauran la fertilidad del suelo, lo que impacta directamente en el incremento de biomasa de los abonos verdes y los rendimientos agrícolas (Alonso, 2017; Opala, 2020).

La transformación de un Oxisol de sabana destinado al cultivo de caña (*Saccharum officinarum* L.), de baja fertilidad físico-química, mediante la optimización de factores como el tipo de abonos verdes y la densidad de siembra puede propiciar condiciones físicas favorables del suelo, para satisfacer los requerimientos nutricionales y hídricos, además de incrementar la productividad del cultivo, tal como lo reportan Duarte-Júnior y Coelho (2008).

Esta práctica no interfiere con la brotación de la caña, su costo es relativamente bajo y promueve aumentos significativos en las producciones del cultivo, gracias a su capacidad para generar altos niveles de materia orgánica (MO) en el suelo (Pimentel et al., 2023).

En la Altillanura, la introducción de abonos verdes podría incrementar las toneladas de caña por hectárea (TCH) destinadas a la producción de biocombustible; no obstante, se trata de un cultivo que demanda una gran cantidad de nutrientes y que prefiere suelos adecuadamente aireados, con alta porosidad y baja resistencia a la penetración de raíces (Almeida-Santos et al., 2019), por lo que los abonos verdes pueden ayudar a mejorar estas condiciones.

Dentro del grupo de los abonos verdes, se incluyen las leguminosas (Akshith et al., 2024), cuya función principal es la fijación de nitrógeno en el suelo, además de mejorar las condiciones físicas de los suelos para cultivos futuros gracias a la elevada producción de residuos y materia orgánica (MO) incorporados al suelo (Carvalho, 2020).

Los estudios han destacado el potencial significativo de los abonos verdes para mejorar las propiedades físicas del suelo y aumentar la productividad de los cultivos (Lyu et al., 2024). El impacto de los abonos verdes en la caña es incrementar el nitrógeno (N), que es uno de los elementos esenciales para su nutrición, incidiendo así en su productividad (Schumann et al., 2000).

Se ha informado que en terrenos donde se incorporan abonos verdes, la densidad aparente del suelo (DA) y la resistencia mecánica del suelo (RMS) a la penetración son indicadores físicos significativos, los cuales están vinculados al ciclo de nutrientes y a la dinámica de la materia orgánica (MO), ya que favorecen la agregación del suelo (Ansari et al., 2022; Bahadur et al., 2023).

A pesar de las variaciones entre las especies de abonos verdes, una de las características que comparten es su rápido crecimiento, así como la alta producción de biomasa y materia orgánica, siendo crucial el estudio de las densidades de siembra óptimas para el cultivo (Resende et al., 2001), ya que juegan un papel importante como descompactadores y mejoradores de suelos (Huang et al., 2023; Zhang et al., 2024), alterando las propiedades físico-químicas de los suelos.

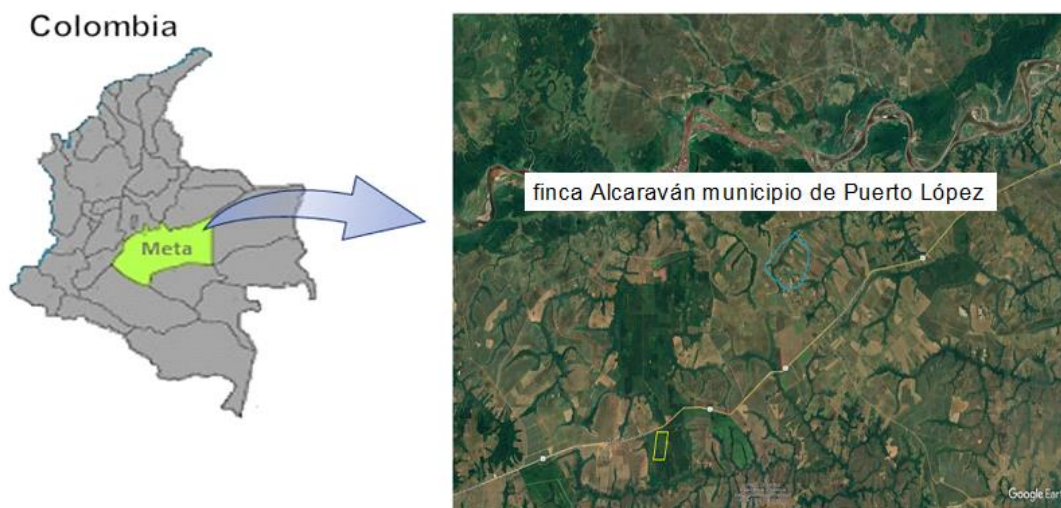
En la Altillanura, se ha llevado a cabo una investigación limitada sobre las alternativas de manejo de suelos de sabana que integren abonos verdes (AV), densidades de siembra y que sean adecuadas para las condiciones climáticas y edáficas (Silva-Parra, 2018), con el objetivo de lograr cambios significativos en su fertilidad.

A partir de lo anterior, el objetivo de este estudio fue examinar el efecto de diferentes especies de abonos verdes con diferentes densidades de siembra en un Oxisol de la Altillanura colombiana, en relación con las propiedades físico-químicas del suelo y la productividad del cultivo de caña, con el propósito de fomentar una transformación más sostenible y sustentable de los suelos de sabanas. La pregunta de investigación es si optimizando los factores de producción de los abonos verdes se puede mejorar la fertilidad físico-química de un Oxisol de sabana de baja fertilidad?

Materiales y método

Área de estudio

El ensayo se llevó a cabo en la finca Alcaraván, corregimiento del Remolino, municipio de Puerto López, Meta, Colombia, con coordenadas 4°16'6.43" N y 72°31'56.12"O ([Figura 1](#)).

Figura 1. Ubicación finca “Alcaraván”

Nota: Finca Alcaraván delimitado por la línea azul, las oficinas y planta productora de Bioenergy, señaladas en amarillo, se encuentran en las coordenadas 4°10'44.14"N y 72°31'56.12"O, situadas a la margen derecha de la vía. Fuente: Google earth

Condiciones edafo-climáticas

Las condiciones climáticas en la zona incluyen una temperatura media de 24,26 °C, una humedad relativa del 90,07 %, una precipitación media de 639,40 mm, una velocidad del viento de 0,37 m/s y una radiación solar de 140,72 W/m².

El análisis inicial del suelo corresponde a un Oxisol típico, ácido, con un pH promedio de 4,67. Presenta alto contenido de Al (3.6 cmolc/kg), y características distróficas, los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) son de 1,40, 0,90 y 0,10 cmolc/kg, con una suma de bases baja, menor a 5 cmolc/kg. Presenta un contenido de fósforo (P), con menos de 20 mg/kg (actualmente 5 mg/kg), y contiene trazas de elementos menores. La capacidad de intercambio catiónico (CICE) es de 6,0 cmolc/kg.

La materia orgánica (MO) es baja, menor al 2 % (1,5 %), y la densidad aparente superaba a los 1,3 g/cm³. Tiene una textura arcillosa, lo que lo hace propenso a problemas de compactación, evidenciando un suelo de baja fertilidad físico-química.

En el lote del ensayo, se realizó una preparación del suelo mediante rastra, seguida de la aplicación de 4,5 t/ha de cal dolomita, y un pase final con rastrillo pulidor. La siembra de los materiales de abonos verdes se llevó a cabo con equipo agrícola de tractor y boleadora, en diferentes densidades de siembra.

Tratamientos y diseño de campo

La distribución de los abonos verdes en el campo se hizo bajo un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo en franjas con tres repeticiones (tipo factorial), correspondiendo a cinco (5) especies de abonos verdes (Factor A) ([Tabla 1](#)).

Tabla 1. Tratamientos de abonos verdes

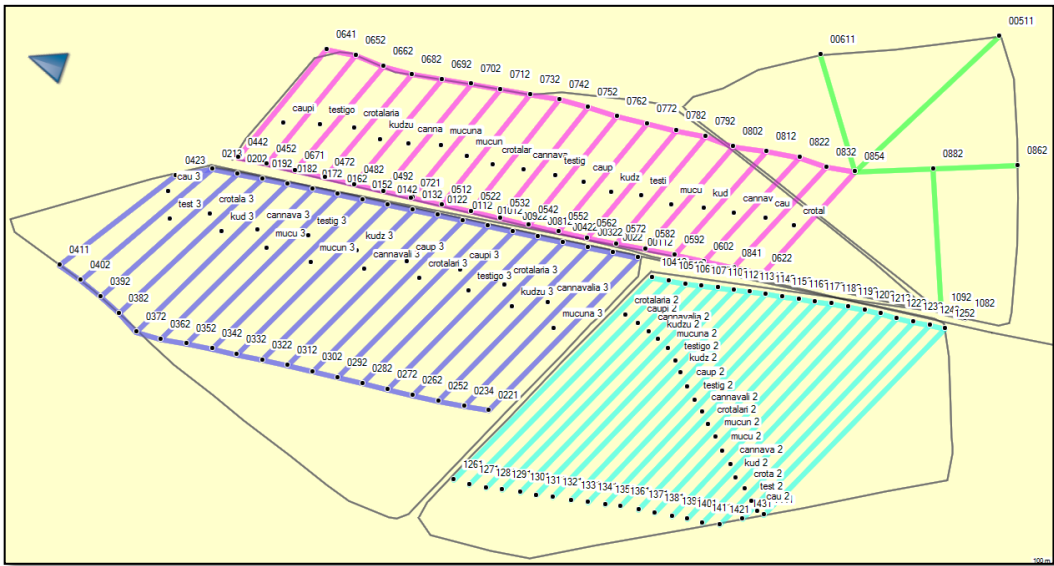
Tratamientos	
Nombre científico	Nombre común
<i>Crotalaria Júncea L</i>	Crotalaria
<i>Vigna unguiculata</i>	Caupí
<i>Cannavalia ensiformis</i>	Cannavalia
<i>Mucuna deerengianum</i>	Vitabosa o Mucuna
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Kudzu
Vegetación en el suelo por desarrollo natural del pasto	Testigo
<i>B. decumbens</i>	

Fuente: elaboración propia.

Se utilizaron tres densidades de siembra: 30, 50 y 80 kg/ha (Factor B), y el Factor C correspondió a dos profundidades de muestreo: 0-20 cm y 20-40 cm en las variables DA y MO del suelo, y tres profundidades para RMS, 10, 20 y 30 cm (Factor C).

El diseño de campo se presenta en la [Figura 2](#).

Figura 2. Distribución de parcelas de abonos verdes en relación a la densidad de siembra de 30, 50 y 80 kg/ha de semilla en los lotes 1, 2 y 3 respectivamente.



Nota. El lote número 1 (representado en color lila), corresponde a 30 kg/ha de semilla de cada material, con parcelas de 36 m de ancho por 200 m de largo, 7200 m². El lote número 2 (indicado

en color verde), corresponde a 50 kg/ha de semilla, con parcelas de 28 m de ancho por 300 m de largo, 8400 m². El lote número 3 (marcado en color azul), con 80 kg/ha de semilla, parcelas de 31 m de ancho por 300 m de largo, abarcando un área de 9300 m². Fuente: elaboración propia.

Todas las parcelas recibieron una cantidad uniforme de fertilizante, equivalente a 100 kilogramos del producto con la fórmula tipo 6-31-18. La incorporación de los abonos verdes se realizó a los 60 días después de la emergencia de los cultivos de cada especie, utilizando equipos agrícolas como el rodillo (rolo) y la rastra aradora. Primero se pasó el rolo para aplanar y descomponer el material, y luego, con una rastra aradora de tipo pesada y a mínima traba, se integraron los materiales en el suelo.

Variables medidas

Propiedades físico-químicas del suelo

Las mediciones físico-químicas se realizaron en dos momentos distintos: tres días antes de la incorporación y 30 días después de su integración. Para medir la resistencia mecánica a la penetración (RMS), se utilizó un penetrómetro Daiki 00842 en las diferentes parcelas en tres profundidades 10, 20 y 30 cm. Para determinar el límite crítico (LC), se empleó un valor de 3 MPa (García-Díaz y Vidal-Díaz, 2020), equivalente a 30.59 kg/cm². La humedad del suelo en las muestras fue de 21,3 %.

Para determinar la densidad aparente (DA) del suelo, se tomaron muestras alteradas en cada parcela a dos profundidades: 0-20 cm y 20-40 cm, utilizando el método de terrón parafinado. La materia orgánica del suelo se analizó mediante el método de Walkley y Black (Jaramillo, 2002).

Toneladas de caña por hectárea y calidad de los abonos verdes

La producción del cultivo de caña de azúcar se midió en toneladas por hectárea (TCH) al momento de la cosecha. Además, se evaluaron parámetros de calidad de los abonos verdes antes de su incorporación, como la producción de materia seca (t/ha), y el porcentaje de nitrógeno (% N) mediante el método de Kjeldahl (Jaramillo, 2002).

Para la determinación de la producción de toneladas de caña por hectárea, se siguió el procedimiento de evaluación de precosecha de la empresa Bioenergy, que consiste en delimitar un área de 10 m², cosechar el material, descogollar, deshojar y pesar los tallos molinables en tres sitios del lote, para luego extrapolar los resultados a valores por hectárea. La variedad sembrada fue SP832847, con una producción en finca de 77,01 toneladas de caña por hectárea y un contenido de azúcares totales recuperables (ATR) de 11.73 %.

Análisis estadístico

Para este estudio, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 5 x 3, en franjas divididas. Las subparcelas correspondieron al factor A (tratamientos), mientras que las franjas principales representaron el factor de densidad de semillas (factor B). Se realizaron tres repeticiones, resultando en un total de 15 tratamientos y 45 unidades experimentales por cada profundidad evaluada, siguiendo el modelo matemático de Silva-Parra et al., (2018).

Para el análisis de los datos, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con niveles de significancia del 99 y 95 % (Prueba de Fischer), que permite descomponer la variabilidad de las variables de respuesta entre los diferentes factores. Aquellas variables que mostraron diferencias significativas en el ANOVA se compararon las medias de los tratamientos mediante análisis de medias (Duncan 95 %) utilizando el software SPSS.

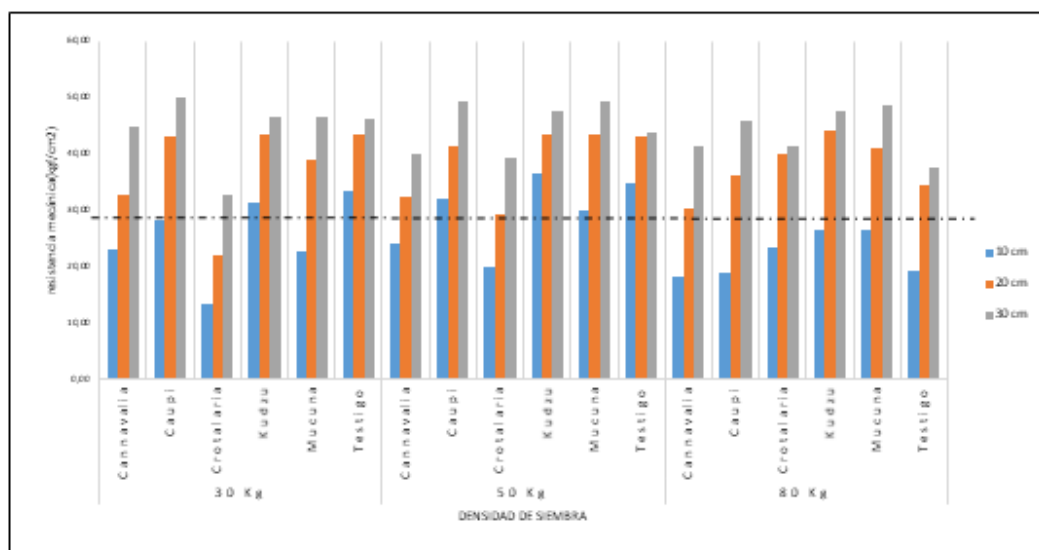
Resultados y discusión

Resistencia mecánica a la penetración del suelo (RMS) y densidad aparente (DA)

La resistencia mecánica a la penetración del suelo (RMS) varía según el uso de abonos verdes, la densidad de siembra y la profundidad ([Figura 3](#)). En general, la resistencia aumenta con la profundidad, siendo menor en los tratamientos con Crotalaria y Cannavalia con todas las densidades en los primeros 10 cm con $RMS < 30 \text{ kg/cm}^2$, presentando el menor valor Crotalaria con 30 kg/ha de densidad de siembra a los 10 cm con respecto a los demás tratamientos ([Figura 3](#)).

La resistencia mecánica del suelo (RMS) a la penetración proporciona información importante sobre los procesos de compactación y pérdida de la macroporosidad del suelo (Jaramillo, 2002). En la [Figura 3](#), la línea punteada muestra cómo el valor del límite crítico de la RMS está asociado a una mayor profundidad del suelo para todos los tratamientos.

Figura 3. Efecto de la siembra e incorporación de los abonos verdes, en tres densidades de siembra, sobre la RMS a tres profundidades 10, 20 y 30 cm.



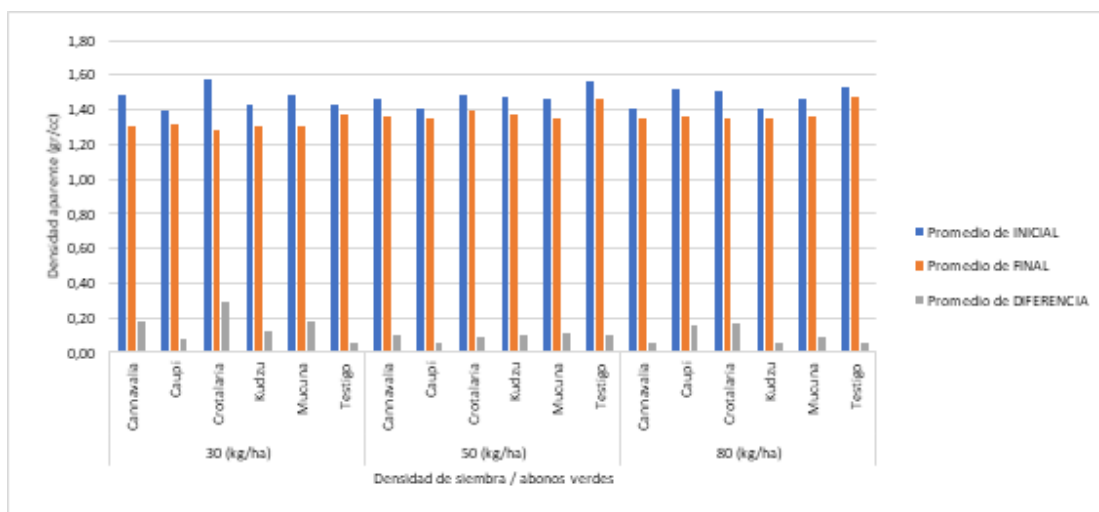
Fuente: elaboración propia.

Los abonos verdes ejercen una labor biomecánica importante gracias al desarrollo de su sistema radicular, el cual ayuda a romper las capas compactas del suelo (Carvalho et al., 2020). En otros estudios, se ha comprobado el efecto de distintas especies de abonos verdes. Por ejemplo, Zancan et al. (2017) observaron un mejor efecto descompactador del consorcio de Nabo forrajero y Vicia

en comparación con el de Avena blanca en un suelo compactado, bajo diferentes niveles de mecanización. Se requiere encontrar especies de abonos verdes de tipo multipropósito que tengan un efecto descompactante a mayor profundidad como el caso de la Crotalaria.

La [Figura 4](#) muestra los efectos dobles debido al uso de los abonos verdes y las densidades de siembra en la DA del suelo.

Figura 4. Efecto de la siembra e incorporación de los abonos verdes, en tres densidades de siembra en los cambios en la densidad aparente del suelo.



Fuente: elaboración propia.

En particular, la especie Crotalaria con 30 kg/ha ocasiono la mayor disminución en la densidad aparente del suelo pasando de 1,59 a 1,29 g/cm³, se destaca en menor grado como Cannavalia y 50 kg/ha; Caupí y Crotalaria con 80 kg/ha, lograron disminuir también la DA del suelo ([Figura 4](#)).

Los resultados iniciales de la densidad aparente (DA) del Oxisol de sabana son elevados, lo cual es típico de los suelos de la altillanura (Silva-Parra, 2018). Esto permite inferir y valorar los cambios ocasionados por la acción de los abonos verdes. La variación en la DA con las distintas especies de abonos verdes en diferentes densidades de siembra es positiva porque su valor disminuye.

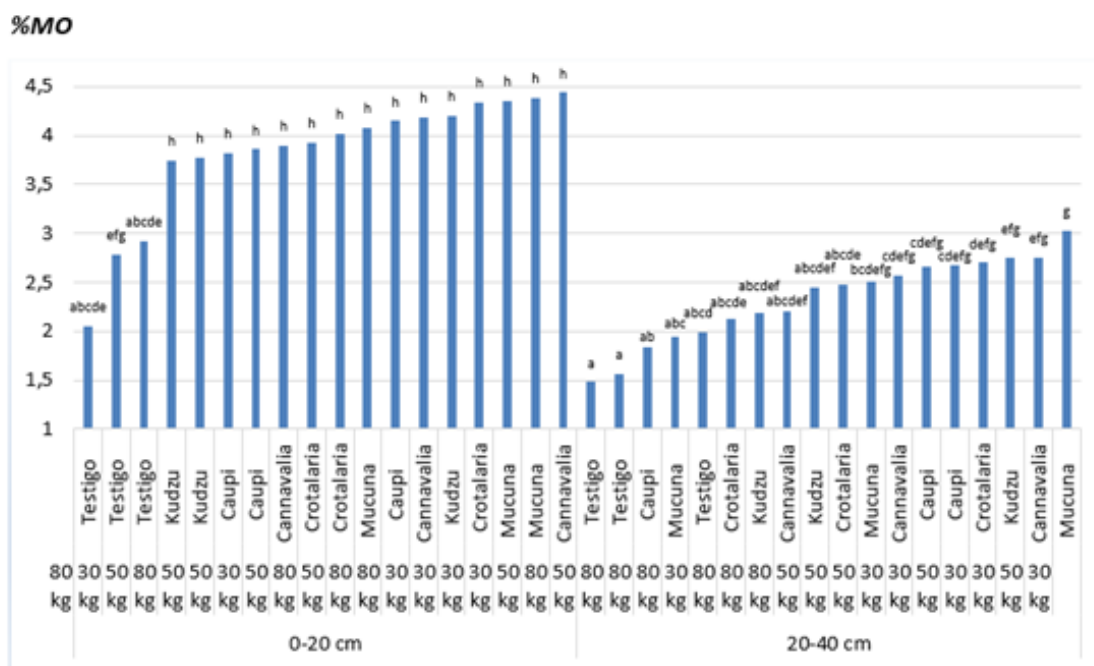
A diferencia de lo que reportaron Carvalho et al. (2020), no encontraron ninguna influencia inmediata en el suelo al evaluar el efecto de once especies de abonos verdes durante un período de 90 días después de la siembra, en relación con la densidad aparente y porosidad del suelo.

De acuerdo con Zhang et al. (2024), los abonos verdes se han utilizado en iniciativas para la restauración de terrenos degradados debido a su capacidad de enraizamiento, los cuales ayudan a descompactar suelos duros, así como a mejorar la aireación y la porosidad del suelo.

Materia orgánica (MO) del suelo

La materia orgánica (MO) del suelo mostró efectos relacionados con el uso de abonos verdes, así como con la densidad y la profundidad ([Figura 5](#)).

Figura 5. Efecto de la interacción de la densidad de siembra, la profundidad de muestreo y las especies de los abonos verdes sobre la materia orgánica (MO) del suelo en un Oxisol en la Altillanura Colombiana.



Fuente: elaboración propia.

Todos los abonos verdes comparados con el tratamiento testigo, independientemente de las densidades de siembra, se destacan por su gran capacidad para producir materia orgánica en el Oxisol de sabana de los 0-20 cm de profundidad comparada con la profundidad de 20-40 cm (Figura 5). Sin embargo, de los 20-40 cm, se resalta especialmente la acción de la Mucuna con una dosis de 30 kg/ha en la producción de materia orgánica del suelo (Figura 5).

La producción de la materia orgánica (MO) por los abonos verdes depende de la calidad de los restos orgánicos que está directamente relacionada con su capacidad de producción de biomasa para aportar nutrientes y sustancias recalcitrantes, sino también de proporcionar, con el tiempo, características que mejoran la fertilidad física del suelo (Sousa, 2023).

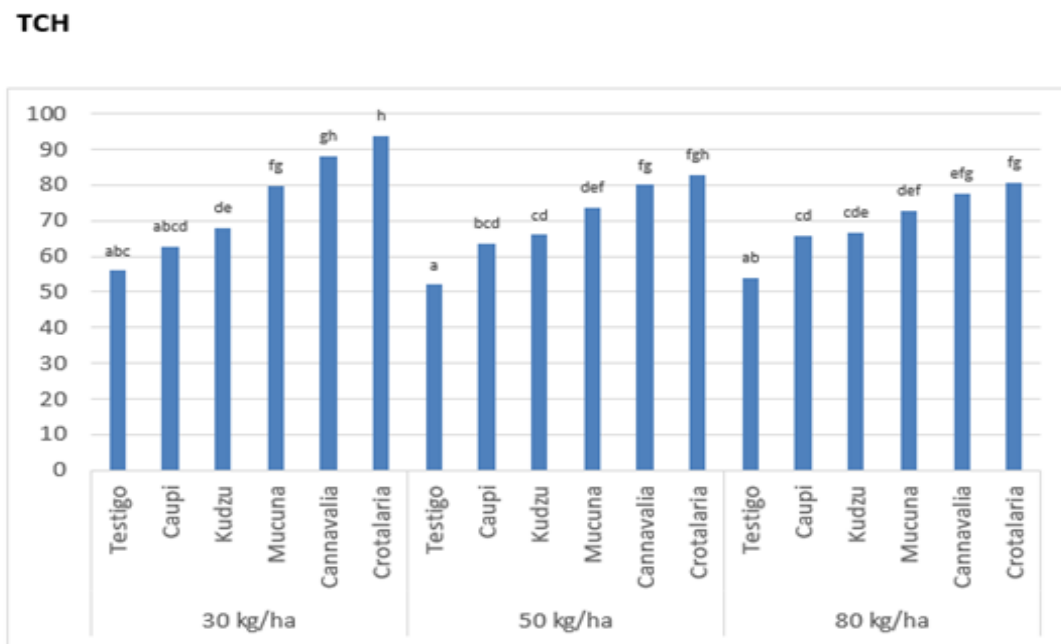
Además, los abonos verdes pueden contribuir al mayor secuestro de carbono en el suelo, ayudando a mitigar los efectos negativos del clima (Silva-Parra, 2018) y a mejorar la fertilidad potencial del suelo.

Producción de caña de azúcar, materia seca y calidad nutricional de los abonos verdes

Se observó un impacto positivo en la producción de toneladas de caña por hectárea (TCH) debido a la utilización de abonos verdes y a las densidades de siembra, en comparación con el testigo (Figura 6).

El rendimiento más alto en la producción de toneladas de caña por hectárea fue alcanzado por Crotalaria con una densidad de siembra menor (30 kg/ha), alcanzando 93,67 (TCH), siendo similar estadísticamente a Crotalaria con 50 kg/ha, la cual presentó 83 (TCH) y Cannavalia con 30 kg /ha, con 88 kg/ha, Cannavalia y Mucuna en sus diferentes densidades de siembra, fueron las que presentaron los valores intermedios, y el Caupi con el Kudzu los valores más bajos de TCH ([Figura 6](#)).

Figura 6. Efecto de la interacción de los abonos verdes y la densidad de siembra en la producción de toneladas de caña (TCH) de la caña de azúcar. Var SP832847



Fuente: elaboración propia.

La respuesta óptima de toneladas de caña por hectárea a la baja densidad de siembra de los abonos verdes es crucial, debido a las limitaciones en el mercado por los altos costos de las semillas de los abonos verdes y también por la complejidad de lograr una sincronización entre la liberación de los nutrientes presentes dependiendo de la cantidad de plantas y la demanda del cultivo principal (Resende et al., 2001).

Tenelli et al. (2021), en un estudio de cuatro cosechas, indica que el uso de abono verdes incrementa el rendimiento de la caña de azúcar en un 9 % (5 t/ha) en suelo arenoso y en un 15 % (16 t/ha) en suelo arcilloso en comparación con el barbecho desnudo. Adicionalmente, el abono verde proporcionó un reemplazo anual de fertilizante de N de 9 y 15 kg/ha en suelo arenoso y arcilloso respectivamente.

Por otra parte, la calidad de los abonos presenta efecto en función de las densidades de siembra, reflejada en la producción de la MS y el %N ([Tabla 2](#)).

Tabla 2. Efecto de la interacción entre las especies de abonos verdes y las densidades de siembra en la materia seca (t/ha) y el %N, durante la siembra e incorporación de abonos verdes en un Oxisol de la Altillanura Colombiana.

Densidad de siembra (kg/ha)	Especie	Medias	Densidad de siembra (kg/ha)	Especie	Medias
%MS			%N		
80	Testigo	0,24a	80	Testigo	2,44a
30	Testigo	0,56a	30	Testigo	2,46a
80	Kudzu	0,58a	50	Testigo	2,5a
50	Testigo	0,72a	50	Caupí	3,19b
50	Kudzu	0,93a	80	Caupí	3,19bc
80	Crotalaria	1,03a	30	Caupí	3,22bcd
30	Kudzu	1,57a	50	Kudzu	3,23bcd
50	Crotalaria	1,59a	30	Kudzu	3,25bcd
80	Cannavalia	1,65a	50	Mucuna	3,31bcd
30	Mucuna	1,78a	80	Mucuna	3,36bcde
50	Mucuna	1,80a	30	Mucuna	3,36bcde
80	Caupí	1,85a	30	Cannavalia	3,37bcde
80	Mucuna	2,00a	80	Kudzu	3,38bcde
50	Cannavalia	2,32a	80	Cannavalia	3,4cde
30	Crotalaria	2,81a	50	Cannavalia	3,4de
30	Caupí	2,82a	50	Crotalaria	3,53ef
30	Cannavalia	3,91a	30	Crotalaria	3,64fg
50	Caupí	5,02b	80	Crotalaria	3,72g

Nota. Test: Duncan. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Fuente: Los autores

El Caupí con 50 kg/ha logró un valor más elevado de materia seca (MS) en t/ha con respecto a los otros tratamientos. Sin embargo, Crotalaria con 30 y 80 kg/ha contiene mayor %N con respecto a los demás tratamientos ([Tabla 2](#)).

Este hallazgo coincide con lo que mencionan Ojeda-Quintana et al. (2019), donde se señala que la *Crotalaria* (*Crotalaria juncea* L.) es una especie que produce entre 5 600 y 14 000 kg/ha de MS, contribuyendo con hasta 204 kg/ha de N.

En Oxisoles de sabana con escasa materia orgánica (MO) en el suelo, los abonos verdes de tipo leguminosas pueden promover la fijación biológica del N, gracias a la interacción microbiana con el *Rhizobium*, lo que reduciría en alto grado la dependencia de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de la caña. Sin embargo, se deben encontrar especies de abonos verdes como gramíneas que exhiban una mayor R C/N, ya que en Oxisoles de baja fertilidad (Silva-Parra, 2018), pueden promover los procesos de humificación de los suelos, debido a un mayor contenido de fibra compuesta por hemicelulosa, celulosa y lignina, entre otros compuestos orgánicos.

Conclusiones

Las especies de abonos verdes evaluadas a diferentes densidades de siembra y profundidades mejoraron positivamente las condiciones físicas y de fertilidad de un Oxisol de sabana en la Altillanura colombiana, incrementando las toneladas de caña por hectárea.

La *Crotalaria* en dosis de 30 kg/ha disminuyeron la resistencia mecánica a la penetración y la densidad aparente del suelo de los 0-20 cm de profundidad.

La materia orgánica del suelo aumentó con los abonos verdes en comparación con el testigo indistintamente de la densidad de siembra en los primeros 20 cm.

Crotalaria con 30 y 80 kg/ha exhibe los mayores porcentajes de N, y Caupí de MS, lo que contribuye a mejorar la fertilidad química del Oxisol de sabana.

La productividad de la caña en toneladas de caña por hectárea se vio favorecida principalmente por *Crotalaria* en la menor densidad de siembra (30 kg/ha).

La incorporación de *Crotalaria* con densidad de 30 kg/ha representa una práctica adecuada, de fácil manejo y adopción, para enfrentar problemas de compactación de suelos en la Altillanura Colombiana, debido a la alta producción de materia orgánica del suelo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Bioenergy, a la Maestría en Producción Tropical Sostenible, al Grupo de Investigación Innovación en Sistemas Agrícolas y Forestales de la Universidad de los Llanos por todo el acompañamiento y apoyo en esta investigación.

Potencial conflicto de intereses

Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses en la realización de la investigación.

Fuentes de financiación

Este estudio fue financiado por la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos, a través del Proyecto de Investigación “Transformación de sabanas nativas en sistemas de pasturas y su Impacto en el recurso suelo, económico y social en zona de Piedemonte y Altillanura (Meta)” código C01-01-2025-001.

Referencias bibliográficas

- Almeida-Santos, L.E., Obrador-Olán, J.J., García-López, E., Castelán-Estrada, M. y Carrillo-Ávila, E. (2019). Cultivo e incorporación de *Crotalaria juncea* L. en un suelo cañero de la Chontalpa. *Agroproductividad*, 12, 87-93. <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1475>
- Alonso, N.J.M. (2017). Mejoramiento de las propiedades de un suelo Ferralítico rojo con el uso de la *Canavalia ensiformis* (L). *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(1), 42–7.
- Ansari, M.A., Choudhury, B.U., Layek, J., Das, A., Lal, R., y Mishra, V.K. (2022). Green manuring and crop residue management: effect on soil organic carbon stock, aggregation, and system productivity in the foothills of Eastern Himalaya (India). *Soil Tillage Research*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105318>
- Akshith, S.K, Sheoran, N., Devi, P., Sharma, K., Kamboj, E. y Kumar, P. (2024). Legumes in cropping systems: a way toward agricultural sustainability and diversification. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(4), 596-608. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2274035>
- Bahadur, S., Maurya, S.P., Singh, R.P. y Shankar, S. (2022). Green manuring for sustainable crop production. *Recent Advances in Agricultural Science and Technology for Sustainable India*, 14(5), 83-88. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i54177>
- Carvalho, C. A., Ferreira, R. L. F, Andrade, R. A., Brito, R. S., Pereira, T. C. R. y Lima, T. J. L. (2020). Atributos físicos em solos cultivados com plantas de obertura. *Scientia Naturalis*, 2(1), 38-41.
- Duarte-Júnior, J.B., y Coelho, F.C. (2008). Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. *Bragantia*, 67(3), 723-732. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000300022>
- García-Díaz, I y Vidal-Díaz, M. (2020). Impactos críticos del penetrómetro como criterio para estimar la compactación del suelo y decidir labores en caña de azúcar. *Agroecosistemas*, 8(1), 29-38.
- Huang, D., Liu, X., Huan, H., Liu, G. y Hu, A. (2023). Intercropping of stylosanthes green manure could improve the organic nitrogen fractions in a coconut plantation with acid soil. *PLoS ONE*, 18(3), e0277944. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277944>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín (Colombia).

- Lyu, H., Li, Y., Wang, Y., Wang, P., Shang, Y., Yang, X., Wang, F., y Yu, A. (2024). Drive soil nitrogen transformation and improve crop nitrogen absorption and utilization-a review of green manure applications. *Front. Plant Sci.*, 14.
- Ojeda-Quintana, L.J., Hernández-Rodríguez, C., Sánchez-Cordero, L. y Sainz-Lombó R. (2019). Respuesta de *Crotalaria juncea* (L.) a la inoculación con especies de hongos micorrízico arbusculares en un suelo pardo grisáceo. *Agroecosistemas*, 7, 23-30. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-13212021000100215
- Opala, P.A. (2020) Recent Advances in the Use of *Tithonia diversifolia* Green Manure for Soil Fertility Management in Africa. *Agricultural Reviews*, 41, 256-263.
- Pimentel, M. L., Reis, I. M. S., Romano, M. L. P. C., Castro, J. S., Vildoso, C. I. A., Gasparin, E., Sai, E. F. y Sousa, L. S. (2023). Green manure, a sustainable strategy to improve soil quality: A case study in an Oxisol from Northern Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 17, 6, 488-497.
- Resende, A. S., Quesada, D. M., Xavier, R. P., Guerra, J. G. M., Boddey, R. M., Alves, B. J. A. y Urquiaga, S. E. (2001). Uso de leguminosas para adubação verde: importância da relação talo/folha. *Agronomía*, 35(1-2), 77-82.
- Schumann, R.A., Meyer, J.H. y Antwerpen, V.R. (2000). A review of green manuring practices in sugarcane production. *Proc. S Afr Sugar Technol. Assess*, 74, 93–100. <https://es.scribd.com/document/813573888/Praticas-de-Manejo-en-Cana-Schumann-2000>
- Silva-Parra, A (2018). Modelación de los stocks de carbono del suelo y las emisiones de dióxido de carbono (GEI) en sistemas productivos de la Altillanura Plana. *Revista Orinoquia*, 22(2), 158-171.
- Silva-Parra, A., Garay-Rodríguez, S. y Gómez-Insuasti, A. (2018). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47-57. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v21n1/0120-0739-cofo-21-01-00047.pdf>
- Sousa, L. S. (2023). Green manure, a sustainable strategy to improve soil quality: A case study in an Oxisol from Northern Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 17(6), 488-497.
- Tenelli, S., Otto, R., Oliveira Bordonal, R., y Nunes Carvalho, J. L. (2021). How do nitrogen fertilization and cover crop influence soil C-N stocks and subsequent yields of sugarcane?. *Soil and Tillage Research*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104999>.
- Zancan, A., Longeratti, M., Verardi, J., Conte, P. y Da Rosa, D. (2017). Desenvolvimento de plantas descompactadoras submetidas a diferentes níveis de compactação. En B., Maceio, *Resúmenes del XLVI Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola –CONBEA*.
- Zhang, W., Surigaogae, S., Yang, H., Yu, R., Wu, J., Xing, Y., Chen, Y. y Li, L. (2024). Diversified cropping systems with complementary root growth strategies improve crop adaptation to and remediation of hostile soils. *Plant Soil*, 502, 7-30. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06464-y>.

1 Ph.D. en Agronomía Ciencia del Suelo. Profesora de tiempo completo, Grupo de Investigación Innovación en Sistemas Agrícolas y Forestales ISAF, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. Correo electrónico: asilvap@unillanos.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-790X> - Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=qT4vTCMAAAJ&hl=es>

2 M.Sc. en Producción Tropical Sostenible. Asesor independiente, Grupo de Investigación Innovación en Sistemas Agrícolas y Forestales ISAF. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. Correo electrónico: carlosmedinapolo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0522-4563>.

3 Esp. en Agricultura Tropical Sostenible. Profesor de tiempo completo, Grupo de Investigación en Innovación en Sistemas Agrícolas y Forestales ISAF, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. aalvarez@unillanos.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2312-8756>.

Para citar este artículo:

Silva Parra, A., Medina Polo, C. A. y Álvarez Socha, Á. (2025). Efecto de la incorporación de abonos verdes en la transformación de un Oxisol de sabana de la Altillanura colombiana. Revista *Luna Azul*, (60), 51-65. <https://doi.org/10.17151/luaz.2025.60.4>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Código QR del artículo

