



Acta Agronómica

ISSN: 0120-2812

ISSN: 2323-0118

Universidad Nacional de Colombia

Costa, Romário Martins; Parra-Serrano, Luisa Julieth; Silva Torquato, Lohana; Cunha de Meneses, Kamila; Furtado de Farias, Maryzelia
Influencia del abono verde en los atributos físicos de un Latosol Amarillo distrófico
Acta Agronómica, vol. 71, núm. 4, 2022, Octubre-Diciembre, pp. 396-404
Universidad Nacional de Colombia

DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.102578>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169977729008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Influencia del abono verde en los atributos físicos de un Latosol Amarillo distrófico

Influence of green manure on the physical attributes of a dystrophic Yellow Latosol

Romário Martins Costa^{1,3}, Luisa Julieth Parra-Serrano^{2,4}, Lohana Silva Torquato^{2,5}, Kamila Cunha de Meneses^{2,6}, Maryzelia Furtado de Farias^{2,7}.

¹Universidad Federal de Piauí. Piauí, Brasil. ²Universidad Federal de Maranhão. São Luís - MA, Brasil. ³✉ romario.martins90@hotmail.com; ⁴✉ luisa.jps@ufma.br; ⁵✉ lohanatorquato30@gmail.com; ⁶✉ kamila.meneses31@outlook.com; ⁷✉ maryzelia@ufma.br



<https://doi.org/10.15446/acag.v71n4.102578>

2022 | 71-4 p 396-404 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2022-05-11 Acep.: 2023-04-18

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño de leguminosas/gramíneas en rotación, utilizadas como abonos verdes, en un Latosol Amarillo distrófico en el bioma de Cerrado en Maranhão, Brasil. Se utilizó un diseño de bloques al azar en parcelas subdivididas, con parcelas compuestas por las especies *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* y *Mucuna aterrima* el primer año; *Pennisetum americanum*, *Sorghum bicolor* y *Sorghum sudanense* el segundo año, además del testigo (vegetación espontánea). Las subparcelas estuvieron constituidas por dos temporadas de evaluación: temporada 1 (antes de la siembra) y temporada 2 (después del cultivo de las plantas cobertura). Se evaluó la productividad de fitomasa verde y seca; la densidad y la resistencia a la penetración del suelo en profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm. Las especies *C. ensiformis* y *S. bicolor* presentan la mayor productividad de fitomasa, lo que demuestra una mejor adaptación de esas especies a las condiciones edafoclimáticas de la región. Las especies leguminosas del primer año no proporcionaron mejoras a las características físicas del suelo. Mientras que las especies gramíneas del segundo año, cultivadas en rotación con las leguminosas, contribuyeron a la reducción de la densidad y de la resistencia del suelo a la penetración.

Palabras claves: densidad del suelo, cultivos de cobertura, resistencia del suelo.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the performance of leguminous/grasses in rotation, used as green manure, in a dystrophic Yellow Latosol in the Cerrado biome in Maranhão/Brazil. A randomized block design was used in split plots, with plots consisting of the species *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* and *Mucuna aterrima* in the first year; and *Pennisetum americanum*, *Sorghum bicolor* and *Sorghum sudanense* in the second year, in addition to the control (spontaneous vegetation). The subplots were constituted by the evaluation seasons: season 1 (before planting) and season 2 (after the cover crops were grown). Productivity of green and dry phytomass, as well as the density and resistance to soil penetration at depths of 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm were tested. The species *C. ensiformis* and *S. bicolor* presented the highest productivity of phytomass, which demonstrates a better adaptation of these species to the soil and climate conditions of the region. The leguminous species of the first year did not provide improvements to the physical characteristics of the soil. On the other hand, the 2nd year grass species, when grown in rotation with legumes, contributed to the reduction of soil density and resistance to penetration.

Key words: soil density, cover crops, soil strength.

Introducción

El bioma de Cerrado es el segundo bioma brasileño más extenso, está compuesto predominantemente por Latosoles muy meteorizados, ácidos y de baja fertilidad natural (Lopes y Guimarães, 2016). La adopción de técnicas de producción, encalado, uso de insumos externos y cultivos adaptados hicieron posible que este bioma se convirtiera en una frontera agrícola con una de las mayores producciones y exportaciones de *commodities* del mundo (Dionizio *et al.*, 2020). Sin embargo, el uso intensivo y muchas veces incorrecto del suelo a lo largo de los años, especialmente debido a la excesiva perturbación durante su preparación, ha reducido el *stock* de materia orgánica y ha afectado negativamente las propiedades físicas del suelo, lo cual ha intensificado el proceso de degradación (Fontana *et al.*, 2016).

El mantenimiento de la calidad de esos suelos es un factor clave en la producción biológica de los cultivos (Liliane y Charles, 2020; Soares *et al.*, 2021; Tahat *et al.*, 2020). De esta forma, el uso de prácticas conservacionistas, como los abonos verdes, son fundamentales, ya que permiten la protección, mantenimiento y mejora de la calidad física del suelo, además de aumentar considerablemente los niveles de materia orgánica, y nutrientes, así como la riqueza (Chimouriya *et al.*, 2018; Holman *et al.*, 2022; Leite *et al.*, 2010) y la heterogeneidad de la microbiota del suelo (Tao *et al.*, 2017), lo que favorece el funcionamiento de los agroecosistemas.

En la región nordeste de Brasil, donde las precipitaciones son irregulares y bastante intensas (Da Silva *et al.*, 2018), el mantenimiento y la mejora de la calidad física del suelo puede considerarse clave para la gestión de este, ya que contribuye a un mayor drenaje del agua en los períodos de mayor intensidad de las precipitaciones y a una mayor retención de la humedad del suelo para el período seco del año, así como a la reducción de las temperaturas extremas del suelo (Blanco-Canqui y Ruis, 2020).

Algunos estudios recientes muestran que el uso de cultivos de cobertura contribuye a mejorar las propiedades físicas del suelo (Gongora *et al.*, 2022; Haruna *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2021). En un metaanálisis realizado por Ma *et al.* (2021) en el que se evaluaron los efectos de los abonos verdes sobre las propiedades del suelo, se observó una reducción de la densidad en las capas superficiales (0-20 cm) y subsuperficiales (20-40 cm) del suelo. Adeli *et al.* (2020), al evaluar el uso de cultivos de cobertura en un suelo de tierras altas, observaron un aumento de la infiltración, reducción de la densidad y resistencia a la penetración. Sin embargo, según Blanco-Canqui y Ruis, (2020) estas respuestas de los cultivos de cobertura sobre las propiedades físicas del suelo pueden variar dependiendo de algunos factores, como el tipo de suelo, las especies utilizadas, la producción de biomasa, el sistema de cultivo y el tipo de clima.

La baja fertilidad de los suelos del Cerrado y su fragilidad ante las prácticas de manejo utilizadas en el sistema convencional son factores que pueden reducir, a mediano y largo plazo, la calidad del suelo e impactar directamente en la productividad de los cultivos. De esa forma, la rotación de especies leguminosas/gramíneas puede ser una estrategia ventajosa, tanto para aumentar el aporte de materia orgánica y la fertilidad del suelo, como para brindar mayor protección física a su superficie. De acuerdo con las anteriores consideraciones, el objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño de leguminosas/gramíneas en rotación, utilizadas como abonos verdes, sobre las propiedades físicas en un Latosol Amarillo distrófico en el bioma de Cerrado en Maranhão, Brasil.

Materiales y métodos

El experimento fue realizado en condiciones de campo en el área experimental del Centro de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad Federal de Maranhão, en el municipio de Chapadinha (3°44'12.62"S y 43°19'03.51"O, 105 m de altitud), Maranhão, Brasil, de enero de 2019 a julio de 2020.

La clasificación climática de la región, según Köppen y Geiger, es Aw, es decir, es considerada como una zona tropical con invierno seco y verano lluvioso (Alvares *et al.*, 2013), con precipitación anual de 2100 mm y dos estaciones bien definidas: una estación lluviosa que se extiende de enero a junio y una estación seca de julio a diciembre (Moura-Silva *et al.*, 2016), con una temperatura media anual del aire de 27 °C (Figura 1) (INMET, 2020).

El suelo del área experimental es un Latosol Amarillo distrófico (LAd) de textura franco-arenosa. Los datos del análisis químico del suelo pueden observarse en la Tabla 1.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar en parcelas subdivididas, con cuatro tratamientos y seis repeticiones. Las parcelas, con una superficie de 12 m², fueron constituidas por las especies de cobertura y las subparcelas constituidas por los

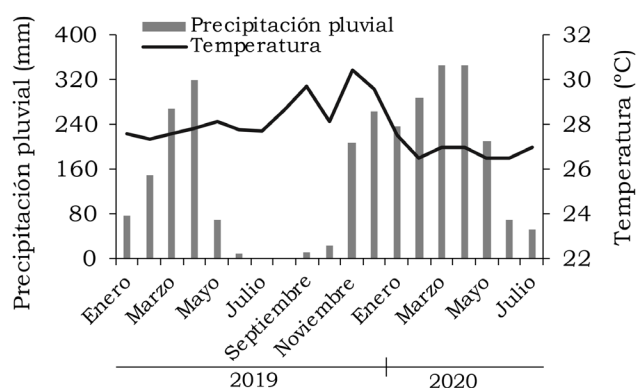


Figura 1. Precipitación y temperatura del aire en el municipio de Chapadinha-MA, Brasil, durante el desarrollo del experimento. Fuente: INMET, 2020. .

periodos de evaluación. En el año 2019 (1° año), los tratamientos correspondieron a tres especies de leguminosas: *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Mucuna aterrima* y el testigo (vegetación espontánea). Mientras que en el año 2020 (2° año) los tratamientos correspondieron a tres especies de gramíneas: *Pennisetum americanum*, *Sorghum bicolor*, *Sorghum sudanense* y el testigo (vegetación espontánea).

La preparación del suelo para la siembra se realizó de forma manual, sin prácticas de corrección o fertilización. La siembra de leguminosas se realizó en febrero de 2019, con distancia de 0.5 m entre hileras, con densidades de 5, 4 y 13 plantas por metro lineal para *C. ensiformis*, *M. aterrima* y *C. cajan*, respectivamente. En cuanto a las gramíneas, la siembra se realizó en febrero de 2020, al voleo, en la cantidad de 15 kg de semillas por hectárea.

Las plantas se cortaron a ras del suelo en plena etapa de floración y se dejaron uniformemente sobre la superficie de sus respectivas parcelas como cobertura. Este manejo se realizó a los 90 días después de la siembra (DDS) para *C. ensiformis*, y a los 120 DDS para *M. aterrima* y *C. cajan*. En las especies gramíneas, el corte se efectuó a los 75 DDS para *P. americanum*, y para *S. bicolor* y *S. sudanense* a los 85 DDS.

Las variables evaluadas fueron: 1) la productividad de masa fresca y 2) la de masa seca de la parte aérea de las plantas de cobertura. Para la determinación de la productividad se consideraron las plantas presentes en el metro cuadrado central de cada parcela. Después del corte, las plantas se pesaron para determinar la masa fresca y luego se llevaron a una estufa de circulación forzada de aire durante 72 horas para obtener la masa seca.

Las características físicas del suelo evaluadas fueron: densidad, humedad gravimétrica y resistencia del suelo a la penetración (RSP). El muestreo para la caracterización física se dividió en dos temporadas. Temporada 1, antes de sembrar cultivos de cobertura, y temporada 2, después del corte y descomposición parcial de los cultivos de cobertura.

Después del muestreo de la temporada 1 se procedió a la siembra de las especies seleccionadas. Los muestreos en la temporada 2 del 1° año se realizaron 45 días después del corte de *C. ensiformis* y 60 días después del corte de *M. aterrima*, *C. cajan* y de la vegetación espontánea. En el 2° año el muestreo se realizó 30 días después del corte de las plantas.

Para estimar la RSP se utilizó un penetrómetro de impacto (IAA/Planalsucar-Stolf). Las capas se penetraron a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm. En esas cuatro profundidades, se recolectaron muestras inalteradas para determinar la densidad según el método del anillo volumétrico, y muestras de suelo deformado para determinar la humedad gravimétrica, según los procedimientos descritos por Teixeira *et al.* (2017).

Los cálculos de RSP se realizaron con el uso del programa informático Excel-VBA (Stolf, 2014), que efectúa los cálculos según Stolf (1991). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y prueba F para verificar efectos significativos ($p < 0.05$) de parcelas (especies de cobertura), subparcelas (temporada de evaluación) y la interacción parcela x subparcela. Cuando hubo efecto significativo, se compararon los promedios por Tukey al 5 % de probabilidad utilizando el software estadístico AgroEstat.

Resultados

Productividad. Los resultados del análisis mostraron un efecto significativo ($p < 0.005$) de las coberturas para la productividad de masa seca en el primer año (Figura 2A), y de masa fresca y seca en el segundo año (Figura 2B). En el primer año, *M. aterrima* mostró una productividad de masa seca inferior a la de la vegetación espontánea (Figura 2A). En el segundo año, los promedios de productividad de masa fresca obtenidos por las gramíneas no presentaron diferencias (Figura 2B). Sin embargo, *S. bicolor* fue superior a la vegetación espontánea. En relación con la productividad de masa seca, *S. bicolor* y *S. sudanense* fueron superiores al testigo, con valores de 3.17, 2.55 y 0.93 mg ha⁻¹, respectivamente.

Densidad del suelo. En relación con la variable densidad del suelo, en el 1° año, no hubo diferencia estadística para las coberturas y temporadas en las profundidades evaluadas (Figuras 3A y 3B). Sin embargo, en el 2° año se observaron efectos significativos de las temporadas para las profundidades de 20-30 y 30-40 cm (Figura 3D), en las que se presentó una reducción de la densidad del suelo después del cultivo de las gramíneas.

Adicionalmente, en el segundo año hubo interacción entre los factores cobertura y temporada (CxT) en la profundidad de 0 a 10 cm (Tabla 2). A esa profundidad, no hubo un efecto significativo

Tabla 1. Resultados del análisis químico del suelo del área experimental

Profundidad	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V %	M %
(cm)	(g kg ⁻¹)	(CaCl ₂)	(mg dm ⁻³)				cmol dm ⁻³				
020	15.1	4.2	3.3	0.11	0.93	0.43	0.32	3.05	4.25	32.5	17.86

Fuente: elaboración propia.

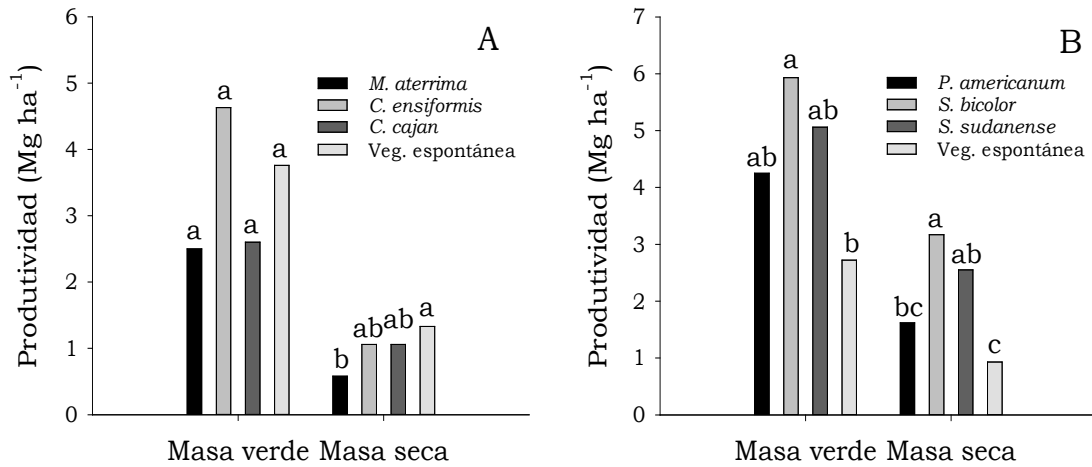


Figura 2. Productividad de fitomasa fresca y seca de especies leguminosas (A) y gramíneas (B) en el bioma de Cerrado de Maranhão, Brasil sin prácticas de corrección y fertilización. Columnas con las mismas letras no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Fuente: elaboración propia.

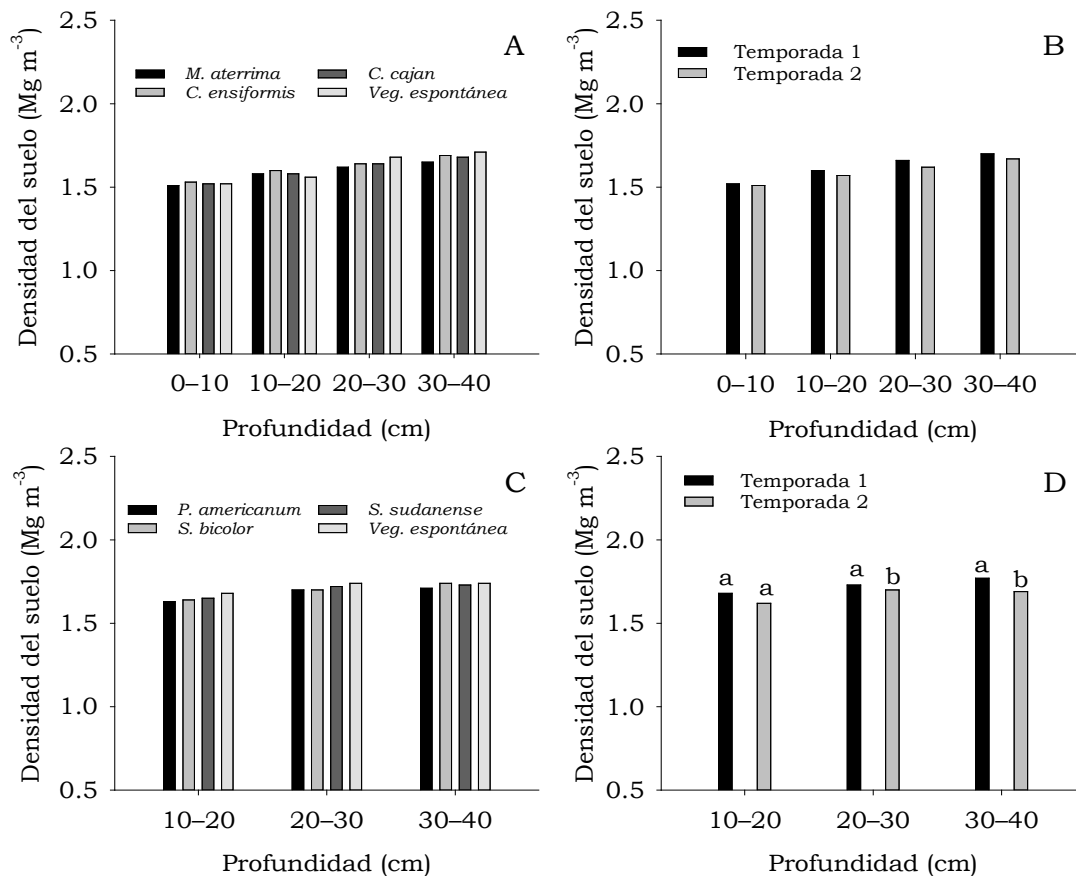


Figura 3. Densidad del suelo a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm antes y después del cultivo de leguminosas (A y B) y gramíneas (C y D). Medias seguidas de letras minúsculas iguales en la columna no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Fuente: elaboración propia.

de las gramíneas de cobertura dentro de la misma temporada, sin embargo, hubo diferencias entre temporadas. Se observó una reducción en la densidad del suelo después del cultivo de las gramíneas evaluadas (temporada 2).

Humedad gravimétrica. Con relación a la humedad gravimétrica, no hubo diferencias significativas entre las coberturas en el 1° y 2° año (Figuras 4A y 4C). Sin embargo, hubo una diferencia en los valores de humedad gravimétrica del suelo entre las temporadas

a profundidades de 20-30 y 30-40 cm para las leguminosas (Figura 4B). En este sentido, se observó reducción en la humedad del suelo para la temporada 2 en las dos profundidades antes mencionadas. Por otra parte, en el 2° año se observó aumento significativo de humedad en la superficie del suelo, posterior al cultivo de las gramíneas (Figura 4D).

Resistencia del suelo a la penetración (RSP). No hubo diferencia en la RSP entre las leguminosas (1° año) (Figura 5A) ni entre las gramíneas (2° año)

(Figura 5C). Sin embargo, los valores de RSP para las temporadas difirieron, excepto en las profundidades de 10-20 cm en el 1° año (Figura 5B), de 20-30 y 30-40 cm en el 2° año (Figura 5D). En el 1° año se observó un aumento de la RSP tras el cultivo de las leguminosas, principalmente en las capas más profundas (20-30 y 30-40 cm); mientras que en el 2° año hubo una reducción de la RSP en las capas superficiales (0-10 y 10-20 cm) después del cultivo de las gramíneas (2° temporada). Adicionalmente,

Tabla 2. Densidad del suelo (mg m^{-3}) a profundidades de 0-10 cm antes y después del cultivo de especies gramíneas

Variable	Cobertura	Temporada		p-valor		
		1	2	Cobertura	Temporada	CxT
Densidad (0-10 cm)	<i>P. americanum</i>	1.55 aA	1.44 aB	0.1277	0.0001	0.0171
	<i>S. bicolor</i>	1.60 aA	1.53 aB			
	<i>S. sudanense</i>	1.62 aA	1.49 aB			
	Vegetación espontánea	1.52 aA	1.54 aA			

Fuente: elaboración propia.

Nota: Medias seguidas de letras minúsculas iguales en la columna y mayúsculas iguales en la fila no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

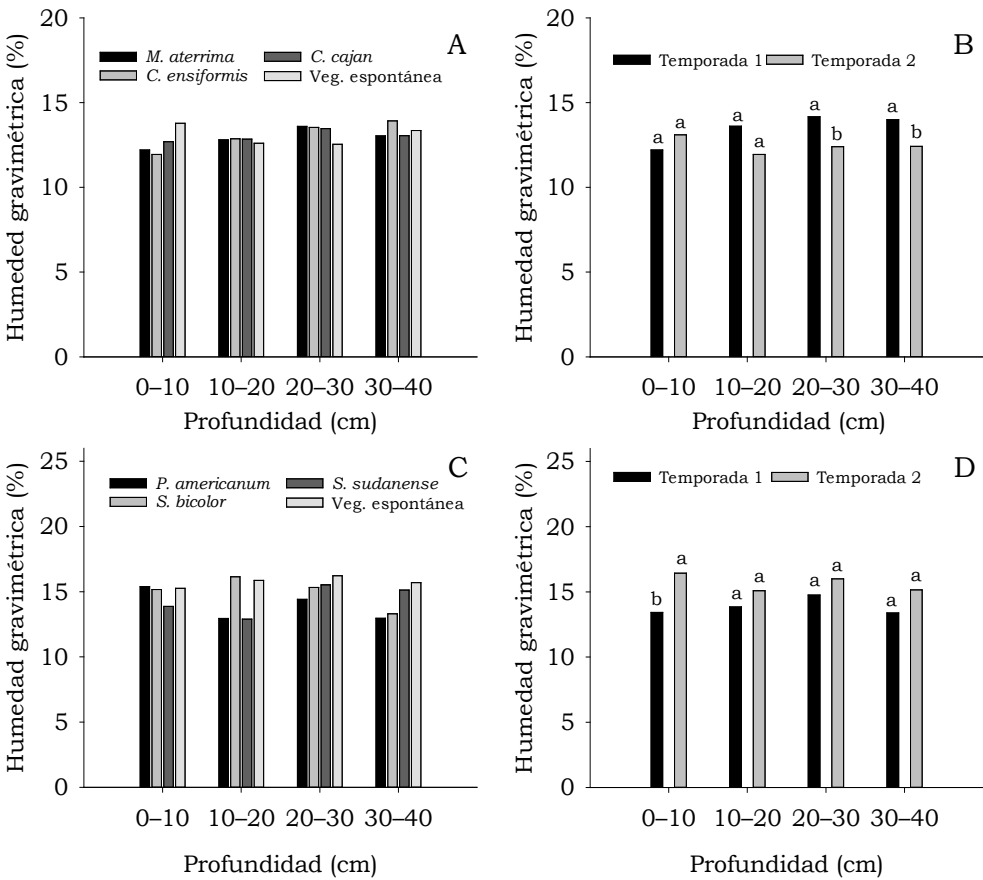


Figura 4. Humedad gravimétrica a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm antes y después del cultivo de leguminosas (A y B) y gramíneas (C y D). Medias seguidas de letras minúsculas iguales en la columna no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

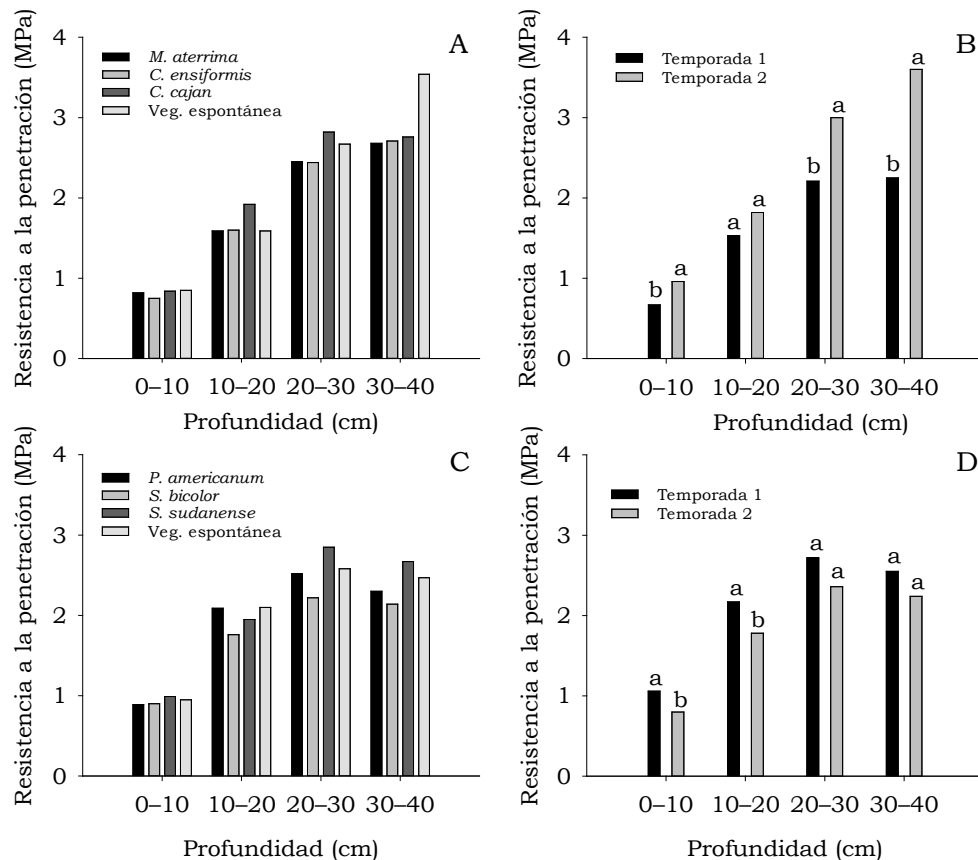


Figura 5. Resistencia a la penetración a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm antes y después del cultivo de leguminosas (A y B) y gramíneas (C y D). Medias seguidas de letras minúsculas iguales en la columna no difieren entre sí por la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Fuente: elaboración propia.

las medias de RSP en el 1° y 2° año muestran que las mayores resistencias se dieron en la profundidad de 20 a 40 cm, donde la presión promedio ejercida superó los 2.5 MPa.

Discusión

Productividad. La vegetación espontánea mostró una productividad media de masa seca 56.4 % superior al de *M. aterrima* (Figura 2A). Esta mayor acumulación de fitomasa puede estar asociada a la gran emergencia de plantas espontáneas en las parcelas del tratamiento testigo debido al banco de semillas en el suelo, lo que se traduce en una mayor densidad de plantas en el área de la parcela y, por tanto, en una mayor productividad. Además, cabe señalar que luego del inicio de las lluvias, las semillas de las plantas espontáneas germinan rápidamente y tienen un gran crecimiento inicial.

S. bicolor mostró una mayor productividad de masa seca en comparación con *P. americanum* (Figura 2). Estos resultados corroboran los encontrados por Torres *et al.* (2008) en el Cerrado de Minas Gerais,

al evaluar la producción de masa de plantas de cobertura y la mineralización de sus residuos; aunque en el presente estudio los valores de productividad de masa seca de *S. bicolor* fueron inferiores a los valores encontrados por los autores antes mencionados. La diferencia observada en la productividad de los cultivos de cobertura es una respuesta esperada, ya que la productividad de una misma especie vegetal puede variar según la ubicación, las condiciones climáticas, la temperatura, la precipitación, la fertilidad del suelo o el ciclo del cultivo (Sousa *et al.*, 2019). Adicionalmente, esa respuesta puede estar asociada al ciclo de los cultivos de cobertura, ya que según Lima *et al.* (2014) los cultivos de cobertura con un desarrollo inicial rápido pueden reducir significativamente la incidencia y la competencia de malezas en comparación con otros con un desarrollo inicial más lento.

En general, en este estudio se observó una producción de materia seca relativamente baja (menos de 2 mg ha⁻¹ para leguminosas y menos de 4 mg ha⁻¹ para gramíneas), especialmente para leguminosas en el 1° año, en comparación con otros estudios (por ejemplo, Rodrigues *et al.*, 2012; Pissinatti

et al., 2018). Estos resultados se atribuyen a la acidez y baja fertilidad del suelo, ya que se implantaron leguminosas adaptadas a las condiciones climáticas de la región y el cultivo se realizó en la época de mayor disponibilidad hídrica, aunque se haya observado una mayor precipitación durante el cultivo de las gramíneas (2° año). La baja productividad de fitomasa está relacionada con las condiciones físicas del suelo, como la alta RSP en las capas más subsuperficiales y la densidad del suelo, mayor de 1.5 mg m^{-3} . A esto se suma el hecho de que no se efectuó ninguna preparación del suelo antes de la implantación de los cultivos de cobertura.

Densidad del suelo. La reducción en la densidad del suelo en la segunda temporada del 2° año en las profundidades de 20-30 y 30-40 cm indica un efecto positivo de las gramíneas. Ese resultado también muestra que hubo una mejora en el estado físico del suelo a mayor profundidad en un periodo corto con el uso de gramíneas.

La reducción en la densidad del suelo se atribuye a la distribución y alta densidad de raíces de las gramíneas, lo cual promueve una mayor agregación de las partículas del suelo, tanto por la renovación de raíces como por la liberación de exudados que aumentan la actividad microbiana, lo cual resulta en una mejor estabilidad de los agregados (Nascente y Stone, 2018; Kondo et al., 2012). Sin embargo, en el presente estudio, los valores de densidad encontrados fueron superiores a otros estudios realizados en Cerrado de Oxisoles (por ejemplo, Feitosa et al. 2020; Nunes et al., 2020).

Valores superiores a 1.5 mg m^{-3} son considerados altos e indican el adensamiento del suelo. El adensamiento en las capas más profundas fue reportado por Fontana et al. (2016) en Latosoles en la región occidental de Bahía, en áreas de bioma de Cerrado sin tráfico de maquinaria (condición similar al manejo del área de estudio), donde el aumento de la densidad del suelo ocurrió por debajo de los 30 cm de profundidad. Sin embargo, para áreas bajo cultivo continuo, la capa densificada comenzó más cerca de la superficie; como consecuencia, esto trajo una reducción en la conductividad hidráulica del suelo.

La reducción de la densidad en la capa más superficial del suelo (0-10 cm) en el 2° año es consecuencia del mayor aporte de residuos orgánicos al suelo tanto durante el cultivo, donde se dio aporte de hojarasca, como resultado del manejo de residuos en la superficie del suelo después del corte de las plantas de cobertura en dos años consecutivos.

Humedad gravimétrica. La reducción de la humedad del suelo a profundidades de 20-30 y 30-40 cm después del cultivo de leguminosas (Figura 4B) se debe a la menor incidencia de lluvia durante el período de muestreo de campo. En el 2° año, después del cultivo de gramíneas (temporada 2), se observó mayor humedad en la capa superficial del suelo (0-

10 cm) (Figura 4D), lo que indica que las gramíneas brindaron mayor cobertura, pues normalmente tienen mayor producción de fitomasa (Pires et al. 2020) y alta relación C:N, y permanecen en la superficie del suelo por más tiempo (Pissinati et al., 2018), lo que contribuye a mantenimiento de la humedad.

Resistencia del suelo a la penetración. Los resultados revelaron una RSP mayor en las profundidades de 20 a 40 cm, lo que puede limitar el crecimiento de las raíces. En las demás profundidades los resultados fueron inferiores a 2.5 MPa. Según Catania et al. (2018), una resistencia a la penetración de hasta 2.5 MPa no es perjudicial para el desarrollo radicular. El aumento de la RSP en la temporada 2 del 1° año, especialmente en las capas del subsuperficiales, se puede atribuir a la menor humedad del suelo (Figura 4B), producto de la baja precipitación en el período (Figura 1).

En la temporada 2 del primer año, el aumento de RSP se atribuye a una reducción de la humedad gravimétrica. Según Silveira et al. (2010), debido a la correlación inversa entre humedad y RSP, a menor humedad del suelo, mayor RSP. Así pues, se observó una tendencia opuesta para RSP en el 2° año para la profundidad de 0-10 cm, donde hubo una reducción significativa de este atributo para la temporada 2. Por otro lado, en la profundidad de 10-20 cm, que también mostró una reducción en RSP después del cultivo de las gramíneas, no hubo diferencia en la humedad, lo que indica que es una respuesta al estado real de compactación del suelo.

El cultivo de gramíneas contribuyó a la reducción de RSP en las capas superficiales del suelo (0-10, 10-20 cm) (Figura 5D). Esta reducción de RSP en el segundo año de cultivo demuestra la ventaja de las gramíneas para mejorar la condición física del suelo. Esa respuesta puede estar relacionada con las características morfológicas de las raíces de las gramíneas, las cuales, de acuerdo con Soares et al. (2021) presentan un diámetro reducido y una apariencia fasciculada, con gran exploración de la capa superficial del suelo, lo que contribuye al aumento de la porosidad y, en consecuencia, reducen la resistencia a la penetración.

A pesar de que en este estudio no se observaron diferencias marcadas para las propiedades físicas del suelo (densidad y RSP) en un corto período (2 años de cultivo), ya se obtuvieron pequeños cambios, tanto en la densidad del suelo como en RSP.

Conclusiones

Las especies *C. ensiformis* y *S. bicolor* presentan las mayores productividades de masa fresca y seca, lo que demuestra una mejor adaptación de esas especies a las condiciones edafoclimáticas de la región. Las especies leguminosas del primer año no proporcionaron mejoras a las características físicas

del suelo. Las especies de gramíneas del segundo año, cultivadas en rotación con las leguminosas, contribuyeron a reducir la densidad y la resistencia del suelo a la penetración.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa Institucional de Becas de Iniciación Científica de la Universidad Federal de Maranhão PIBIC-UFMA, por la concesión de la beca a la tercera autora durante el periodo de desarrollo del estudio.

Referencias

- Adeli, A.; Brooks, J. P.; Read, J. J.; Feng, G.; Miles, D.; Shankle, M. W.; Barksdale, N. y Jenkins, J. N. (2020). Management strategies on an upland soil for improving. *Soil Properties, Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(3), 413-429. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1709490>
- Alvares, C. A.; Staple, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. D. M. y Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-948/2013/0507>
- Blanco-Canqui, H. y Ruis, S. J. (2020). Cover crop impacts on soil physical properties: A review. *Soil Science Society of America Journal*, 84, 1527-1576. <https://doi.org/10.1002/saj2.20129>
- Catania, P.; Badalucco, L.; Laudicina, V. A. y Vallone, M. (2018). Effects of tilling methods on soil penetration resistance, organic carbon and water stable aggregates in a vineyard of semiarid Mediterranean environment. *Environmental Earth Sciences*, 77(9), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7520-5>
- Chimouriya, S.; Lamichhane, J. y Prasad, D. (2018). Green manure for restoring and improving the soil nutrients quality. *International Journal of Research*, 5(20), 1064-1074. <https://journals.pen2print.org/index.php/ijr/article/view/16289>
- Da Silva, P. E.; Santos e Silva, C. M.; Spyrides, M. H. C. y Andrade, L. M. B. (2018). Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. *International Journal of Climatology*, 39, 579-595. <https://doi.org/10.1002/joc.5829>
- Dionizio, E. A.; Pimenta, F. M.; Lima, L. B. y Costa, M. H. (2020). Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. *PLoS ONE*, 15(11), 1-22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241637>
- Feitosa, C. E. L.; Costa, P. H. S.; Meneses, K. C.; Oliveira, U. C. y Farias, M. F. (2020). Changes in physical quality of Oxisols under different management systems in the Brazilian Cerrado. *Engenharia Agrícola*, 40(5), 609-616. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n5p609-616/2020>
- Fontana, A.; Teixeira, W. G.; Balieiro, F. C.; Moura, T. P. A.; Menezes, A. R. y Santana, C. I. (2016). Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1457-1465. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900044>
- Gongora, V. R. M.; Secco, D.; Bassegio, D.; de Marins, A. C.; Chang, P. y Savioli, M. R. (2022). Impact of cover crops on soil physical properties, soil loss and runoff in compacted Oxisol of southern Brazil. *Geoderma Regional*, 31, e00577. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00577>
- Haruna, S. I.; Anderson, S. H.; Udawatta, R. P.; Gantzer, C. J.; Phillips, N. C.; Cui, C. y Gao, Y. (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(e20105), 1-18. <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>
- Holman, J. D.; Obour, A. K. y Assefa, Y. (2021). Fallow replacement cover crops in a semi-arid High Plains cropping system. *Crop Science*, 61(5), 3799-3814. <https://doi.org/10.1002/csc2.20543>
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. (2020). Boletins agroclimáticos. <https://portal.inmet.gov.br/boletinsagro>
- Kondo, M. K.; Albuquerque, C. J. B.; Wendling, B.; Silva, P. B. y Cardoso, M. M. (2012). Effect of cover crops on soil physical attributes and agronomic characteristics of grain sorghum. *Bioscience Journal*, 28(1), 33-40.
- Leite, L. F. C.; Freitas, R. D. C. A.; Sagrilo, E. y Galvão, S. R. S. (2010). Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado maranhense. *Revista Ciência Agronômica*, 41(1), 29-35.
- Lima, S. F.; Timossi, P. C.; Almeida, D. P. y Silva, U. R. (2014). Fitossociologia de plantas daninhas em convivência com plantas de cobertura. *Revista Caatinga*, 27(2), 37-47. https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3353/pdf_112
- Liliane, T. N. y Charles, M. S. (2020). Factors affecting yield of crops. *Agronomy-climate Change & Food Security*, 9.
- Lopes, A. S. y Guimarães, G. L. R. (2016). A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. *Advances in Agronomy*, 137, 1-72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211315300043>
- Ma, D.; Yin, L.; Ju, W.; Li, X.; Liu, X.; Deng, X. y Wang, S. (2021). Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*, 266 (108146), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146>
- Moura-Silva, A. G.; Aguiar, A. C. F.; Moura, E. G. y Jorge, N. (2016). Influence of soil cover and N and K fertilization on the quality of biofortified QPM in the humid tropics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11), 3807-3812. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7574>
- Nascente, A. S. y Stone, L. F. (2018). Cover crops as affecting soil chemical and physical properties and development of upland rice and soybean cultivated in rotation. *Rice Science*, 25(6), 340-349. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.10.004>
- Nunes, L. A. P. L.; Soares, B. K. F.; Sousa, R. S.; Ibiapina, T. V. B. y Barbosa, L. R. (2020). Physical indicators after mechanical scarification in a Yellow Oxisol under no-tillage. *Científica*, 48(4), 396-402. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n4p396-402>
- Pires, M. F. M.; Medeiros, J. C.; Souza, H. A.; Rosa, J. D.; Boechat, C. L.; Mafra, Á. L.; Nolêto, K. C. y Rocha, A. G. (2020). Conservation system improves soil microbial quality and increases soybean yield in the Northeastern Cerrado. *Bragantia*, 79(4), 599-611. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200117>
- Pissinatti, A.; Moreira, A. y Santoro, P. H. (2018). Yield components and nutrients content in summer cover plants used in crop rotation in no-tillage system. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(13), 1604-1616. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474899>
- Rodrigues, G. B.; Sá, M. E. D.; Valério Filho, W. V.; Buzetti, S.; Bertolin, D. C. y Pina, T. P. (2012). Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado. *Revista Ceres*, 59(3), 380-385. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226841013>

- Silveira, D. C.; Melo Filho, J. F.; Sacramento, J. A. A. S. y Silveira, E. C. P. (2010). Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(3), 659-667. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300007>
- Soares, M. B.; Tavanti, R. F. R.; Rigotti, A. R.; Lima, J. P.; Freddi, O. S. y Petter, F. A. (2021). Use of cover crops in the southern Amazon region: What is the impact on soil physical quality? *Geoderma*, 384, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114796>
- Sousa, D. C.; Medeiros, J. C.; Lacerda, J. J. J.; Rosa, J. D.; Boechat, C. L.; Sousa, M. N. G.; Rodrigues, P. C. F.; Oliveira Filho, E. G. y Mafra, Á. L. (2019). Dry mass accumulation, nutrients and decomposition of cover plants. *Journal of Agricultural Science*, 11(5), 152-156. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p152>
- Stolf, R. (1991). Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15(2), 229-235. https://www.researchgate.net/publication/288962136_Teoria_e_teste_experimental_de_formulas_de_transformacao_dos_dados_de_penetrometro_de_impacto_em_resistencia_do_solo
- Stolf, R.; Murakami, J. H.; Brugnaro, C.; Silva, L. G.; Silva, L. C. F. y Margarido, L. A. C. (2014). Penetrômetro de impacto Stolf - programa de manipulação de dados em Excel-VBA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(3), 774-782. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>
- Tahat, M., Alananbeh, K.; Othman, Y. y Leskovar, D. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>
- Tao, J.; Liu, X.; Liang, Y.; Niu, J.; Xiao, Y.; Gu, Y.; ... Yin, H. (2017). Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(3), 1289-1299. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7938-1>
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A. y Teixeira, W. G. (Org.) (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (3. ed.) Brasília: Embrapa.
- Torres, J. L. R.; Pereira, M. G. y Fabian, A. J. (2008). Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(3), 421-428. <https://www.scielo.br/j/pab/a/7GTdBhpsr6WRHfNySkC9tkk/?format=pdf&lang=pt>