

Atributos físicos y materia orgánica de oxisols en sistemas de producción de caña de azúcar

Physical attributes and organic matter of oxisols in sugar cane production systems

Miriam Navarro Vasquez¹, Nelino Florida Rofner^{1*}  & Llerme Navarro Vasquez² 

¹ Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco Perú

² Escuela Profesional de Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco Perú

*Autor para correspondencia, e-mail: nelinof@hotmail.com

Nelino Florida Rofner:  <https://orcid.org/0000-0002-8751-4367>

Llerme Navarro Vasquez:  <https://orcid.org/0000-0003-0147-362X>

ARTÍCULO ORIGINAL

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 25/10/2018

Artículo aceptado: 30/03/2019

En línea: 30/04/2019

PALABRA CLAVE:

Anionic Acrudox,
manejo del suelo,
productividad,
Rhodic Hapludox

RESUMEN

El conocimiento de las características y propiedades físicas de los suelos en función de su manejo, es fundamental en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), cuyo propósito fue evaluar el efecto de sistemas de manejo sobre atributos físicos y materia orgánica (MO) de dos oxisoles (Rhodic Hapludox (Rh) y Anionic Acrudox (Aa) y la producción de caña de azúcar en el municipio de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil, por otra parte se usó el diseño bloque completo al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, los tratamientos fueron: soya/milheto/soya (SMS), soya/crotalaria/soya (SCS), soya/descanso/soya (SDS) y soja (S). Se midió el índice de estabilidad de agregados (IEA), diámetro medio ponderado (DMP), densidad del suelo (DS), porosidad total (PT), macro porosidad (Ma), micro porosidad (Mi), resistencia a la penetración (RP) y materia orgánica (MO). Las diferencias en MO, IEA, RP, PT, Ma y Mi no fueron significativas entre los sistemas de manejo, en estratos de 0.00 a 0.10 y 0.10 a 0.20 m, además se observaron diferencias en el DMP de Rh de 0.00 a 0.10 m y en Aa de 0.10 a 0.20 m y en la DS el estrato de 0.10 a 0.20 m del Aa, lo cual demostró que el uso del suelo altera algunas propiedades físicas, mas no afecta la productividad, ni el azúcar total recuperable, antes del cuarto corte de caña de azúcar.

ORIGINAL ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 25/10/2018

Article accepted: 30/03/2019

On line: 30/04/2019

KEYWORD:

Anionic Acrudox,
soil management,
productivity,
Rhodic Hapludox

ABSTRACT

The knowledge of the characteristics and physical properties of the soils in function of their management, is fundamental in the development of the cultivation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), whose purpose was to evaluate the effect of management systems on physical attributes and matter. organic (MO) of two oxisols (Rhodic Hapludox (Rh) and Anionic Acrudox (Aa)) and sugarcane production in the municipality of Jaboticabal, São Paulo state, Brazil, on the other hand the complete block design was used randomly with four treatments and five repetitions, the treatments were: soybean / milheto / soybean (SMS), soybean / crotalaria / soybean (SCS), soybean / rest / soybean (SDS) and soybean (S). The aggregate stability index (IEA), weighted average diameter (DMP), soil density (DS), total porosity (PT), macro porosity (Ma), micro porosity (Mi), penetration resistance (RP) were measured.) and organic matter (MO). The differences in MO, IEA, RP, PT, Ma and Mi were not significant among the management systems, in strata of 0.00 to 0.10 and 0.10 to 0.20 m, in addition differences were observed in the Rh DMP from 0.00 to 0.10 m and in Aa from 0.10 to 0.20 m and in the DS the stratum from 0.10 to 0.20 m from Aa, which showed that the use of the soil alters some physical properties, but does not affect productivity, nor the total recoverable sugar, before the fourth cut of cane of sugar.

INTRODUCCIÓN

Brasil es un importante productor de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en el mundo y responsable del desarrollo del sector sucroenergético en Brasil (Pellin et al., 2015); en América Latina, la producción de biocombustibles es liderada por Brasil, Argentina y Colombia (Morelos, 2016; Marques et al., 2009). El cultivo de caña de azúcar, como cualquier otro cultivo, se desarrolla mejor en suelos con buen contenido de MO y atributos que expresen buena calidad física del suelo; sin embargo, traen inevitablemente consecuencias y alteraciones a los ecosistemas naturales, desfavoreciendo el desarrollo de la planta (Altieri y Nicholls, 2008); además, ocasiona problemas de degradación física de los suelos en la estabilidad estructural de los agregados, la organización del espacio poroso y la densidad en la capa arable, características que pueden dificultar la utilización de agua y nutrientes (Madero et al., 2011).

La calidad física de los suelos determina la producción de los cultivos, considerando que el crecimiento de las raíces se determina con cuatro factores fundamentales: resistencia mecánica, disponibilidad de agua, oxígeno y energía (García et al., 2010). Los factores influyen directamente sobre el crecimiento de las plantas e indirectamente sobre las propiedades químicas y biológicas del suelo; por lo que, es muy importante considerar a los atributos físicos, como la densidad, espacio poroso, resistencia a la penetración y la estabilidad de agregados, como indicadores para evaluar la calidad del suelo (Borges et al., 2016; Da Silva et al., 2015; Silva y Fernandes, 2014).

En los ecosistemas naturales, el suelo presenta un contenido de carbono orgánico estabilizado que refleja las condiciones ambientales determinadas por el clima, vegetación, topografía, y por características del propio suelo (Navarro et al., 2018; Balin et al., 2017). Además, el carbono orgánico define la calidad física del suelo (Fidalski,

2015). Sin embargo, el uso del suelo con prácticas no conservacionistas descompone fácilmente el material orgánico (Navarro et al., 2018; Rodrigues et al., 2018; Borges et al., 2016) contribuyendo en la degradación de las propiedades físicas, químicas, y biológicas del suelo (Da Silva et al., 2015; Silva y Fernandes, 2014; Madero et al., 2011; Portugal et al., 2010).

Ante esta situación problemática, se justifica la necesidad de evaluar las condiciones estructurales del suelo, a fin de considerar este componente en el manejo eficiente del suelo, cuya hipótesis fue, los diferentes sistemas de manejo que provocan alteraciones en los atributos físicos y la MO del suelo y la relación con la producción de la caña de azúcar para mejorar la producción de caña de azúcar y optimizar la calidad física de los suelos, se planteó como objetivo, evaluar los efectos de sistemas de uso en los atributos físicos, MO del suelo y la producción de caña de azúcar de un Rhodic Hapludox (Rh) y Anionic Acrudox (Aa).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de área experimental

La investigación se desarrolló entre el año 2013 al 2015 sobre dos suelos del Orden Oxisols, de los Subgrupos Rhodic Hapludox (Rh) y Anionic Acrudox (Aa), según los criterios de las claves para la taxonomía de suelos (Soil Survey Staff, 2014). El Rh, de clase textural arcilloso (arena = 140 g kg⁻¹, limo = 180 g kg⁻¹, arcilla = 680 g kg⁻¹) y el Aa, de textura arcilloso (arena = 440 g kg⁻¹, limo = 120 g kg⁻¹, arcilla = 440 g kg⁻¹). El área experimental fue situada en el municipio de Jaboticabal, estado de São Paulo Brasil (21°14'S, 48°17'O, 595 m de altitud y clima del tipo Aw, tropical de invierno seco, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen) (Köppen y Geiger, 1928), presenta temperatura media anual de 22 °C, humedad relativa de 70 % y una precipitación anual media de 1425 mm.

Material experimental y tratamientos

El diseño fue de bloques completo al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones que consiste en la rotación de cultivos, lo que involucra distintos usos del suelo en el periodo de recuperación para la siembra de la caña de azúcar. Los tratamientos fueron las rotaciones de cultivos: soya/milheto/soya (SMS), soya/crotalaria/soya (SCS), soya/descanso/soya (SDS) y soja (S). El cultivo de soya (*Glycine max*) asociados a los tratamientos SMS, SCS y SDS. El cultivo de caña de azúcar, fue instalado después del proceso de recuperación de acuerdo a los tratamientos aplicados, con un sistema semi-mecanizado, utilizando dos variedades de caña de azúcar SP87365 y RB835054. El área experimental fue de 270 m² (18 m de ancho por 15 m de longitud) y el área útil de la parcela constituyó 8 líneas de caña de azúcar con espacios de 1.5 m x 10 m de longitud. Aclaramos que el proyecto inicio en el 2008 siendo evaluados por Silva y Fernández hasta el 2012, antes del tercer corte de la caña de azúcar.

Muestreo de suelos

La toma de muestras, fue 40 meses después de la plantación de caña de azúcar (junio 2013), antes del 4^{to} corte de cosecha mecanizada, sobre dos estratos de 0.00 a 0.10 m y 0.10 a 0.20 de profundidad. Se sacaron tres sub muestras por parcela, con un barreno y azadón; para formar una sola muestra por cada parcela y profundidad, para ser analizadas según las metodologías de los atributos físicos y la MO.

Las muestras obtenidas con la ayuda del azadón, se utilizaron para la determinación del diámetro medio ponderado de agregados (DMP), según el método de Nimmo y Perkins (2002), usando agregados

con diámetro entre 6.30 y 4.00 mm, a través de un conjunto de tamices con abertura de 4.00, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.125 mm. Se colectaron adicionalmente tres muestras inalteradas por parcela, usando anillos volumétricos de 0.05 m x 0.05 m, para cada estrato del suelo. Dichas muestras se utilizaron para determinar la densidad aparente del suelo (DS), según la metodología de Grossman y Reinsch (2002), mientras que la porosidad total (PT), macro porosidad (Ma) y micro porosidad (Mi), se utilizó el método de EMBRAPA (1997). La resistencia a la penetración (RP) se realizó mediante la metodología de Tormena *et al.* (1998) cuando la muestra tuvo una tensión de 0.01 MPa, la resistencia se midió con un penetrómetro electrónico estático de laboratorio.

Análisis estadístico

Los datos resultantes de las variables evaluadas se organizaron y analizaron a través del análisis de varianza (ANOVA), a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ para las repeticiones y tratamientos. Asimismo, se realizó la comparación de las medias a través de la prueba de Tukey a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. El procesamiento de los datos se efectuó mediante el programa estadístico AGROESTAT (Barbosa y Maldonado Júnior, 2015). Software proporcionado personalmente por Barbosa al primer autor.

RESULTADOS

El análisis estadístico (Tabla 1) entre los sistemas de producción y los diferentes atributos físicos y el contenido de materia orgánica (MO), no muestran diferencias significativas para el suelo Rhodic Hapludox en los estratos de 0.00m a 0.1m y 0.1m a 0.2m.

Tabla 1.
Atributos físicos y MO en Rhodic Hapludox (Rh)

TRATAMIENTOS	MO	DMP	IEA	RP	DS	PT	Mac	Mic
	g kg ⁻¹	Mm	%	Mpa	Mg m ³	-----m ³ m ⁻³ -----		
Rhodic Hapludox								
0.00 a 0.10								
Soya/crotalaria/soya	28.90	3.92 ab	93.80	2.62	1.34	0.50	0.06	0.44
Soya/milheto/soya	29.77	3.53 b	93.10	2.72	1.35	0.50	0.05	0.44
Soya	30.43	4.30 a	92.92	3.08	1.38	0.49	0.06	0.44
Soya/descanso/soya	29.68	3.51 b	93.41	2.92	1.36	0.49	0.05	0.44
F ¹	0.67 ^{ns}	4.68 ^s	0.20 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.84 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.83 ^{ns}
CV%	5.76	10.20	2.05	19.57	2.73	3.03	34.16	1.91
0.10 a 0.20								
Soya/crotalaria/soya	27.21	3.49	92.99	3.02	1.37	0.50	0.08	0.42
Soya/milheto/soya	27.20	3.74	90.90	2.66	1.36	0.50	0.08	0.41
Soya	28.14	3.62	93.16	2.84	1.37	0.49	0.08	0.41
Soya/descanso/soya	28.06	3.23	79.49	3.07	1.38	0.49	0.07	0.41
F ¹	0.41 ^{ns}	1.41 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.13 ^{ns}	1.04 ^{ns}	0.89 ^{ns}	0.52 ^{ns}
CV%	6.53	11.63	18.00	17.99	2.92	2.04	21.96	2.54

ns= no significativo, s=significativo a 5% de probabilidad. MO= materia orgánica. DMP= diámetro medio ponderado de agregados. IEA= índice de estabilidad de agregados. RP= resistencia a la penetración. DS= densidad aparente. PT= porosidad total. Mac= microporosidad. Mic= microporosidad

Del mismo modo el análisis de varianza entre los sistemas de producción y los diferentes atributos físicos y el contenido de materia orgánica (MO), no muestran diferencias significativas para el suelo Anionic Acrudox en el estrato de 0.00 - 0.1 m (Tabla

2). Sin embargo, en el estrato de 0.1 a 0.2 m, se observa diferencias significativas para el diámetro medio ponderado de agregados (DMP) y en la densidad aparente del suelo (DS)

Tabla 2.
Atributos físicos en Anionic Acrudox (Aa)

TRATAMIENTOS	MO	DMP	IEA	RP	DS	PT	Ma	Mi
	g kg ⁻¹	mm	%	Mpa	Mg m ³	-----m ³ m ⁻³ -----		
Anionic Acrudox								
0,00 a 0,10								
Soya/crotalaria/soya	20.52	3.66	92.00	2.27	1.62	0.39	0.04	0.35
Soya/milheto/soya	22.17	3.49	87.28	2.54	1.63	0.38	0.04	0.35
Soya	23.09	4.04	92.26	2.31	1.61	0.38	0.04	0.34
Soya/descanso/soya	20.48	3.19	89.19	2.50	1.65	0.38	0.04	0.34
F	1.51 ^{ns}	2.93 ^{ns}	1.73 ^{ns}	0.50 ^{ns}	1.30 ^{ns}	0.83 ^{ns}	0.47 ^{ns}	1.48 ^{ns}
CV%	10.85	12.81	4.49	17.73	1.98	3.82	33.2	3.29
0.10 a 0.20								
Soya/crotalaria/soya	18.27	3.02 ab	89.80	2.06	1.60 ab	0.38	0.05	0.33
Soya/milheto/soya	19.57	3.61 ab	86.67	2.17	1.62 ab	0.38	0.05	0.33
Soya	21.96	3.67 a	92.25	2.02	1.57 b	0.38	0.05	0.33
Soya/descanso/soya	19.79	2.75 b	90.26	2.28	1.63 a	0.38	0.04	0.33
F	2.65 ^{ns}	4.46 ^s	0.75 ^{ns}	0.77 ^{ns}	4.79 ^s	0.16 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.11 ^{ns}
CV%	10.55	14.64	6.65	13.66	1.83	4.39	27.78	4.03

ns= no significativo, s=significativo a 5% de probabilidad. Medias seguidas de la misma letra en la columna, no se diferencian entre sí por el test de Tukey (p=0.05). MO= materia orgánica. DMP= diámetro medio ponderado de agregados. IEA= índice de estabilidad de agregados. RP= resistencia a la penetración. DS= densidad aparente. PT= porosidad total. Mac= microporosidad. Mic= microporosidad

El análisis de varianza (Tabla 3) muestra que la producción de la caña de azúcar y el azúcar total recuperable no presentan diferencias significativas

frente a los diferentes sistemas de producción evaluados.

Tabla 3.
Productividad y azúcar total recuperable (ATR)

Tratamientos	Productividad	ATR
	----- Mg ha ⁻¹ -----	----- kg Mg ⁻¹ -----
Rhodic Hapludox		
Soya/crotalaria/soya	92.43	162.16
Soya/milheto/soya	87.80	150.37
Soya	91.27	157.35
Soya/descanso/soya	100.20	158.42
F	0.59 ^{ns}	1.40 ^{ns}
CV%	16.38	5.91
Anionic Acrudox		
Soya/crotalaria/soya	75.40	144.93
Soya/milheto/soya	70.93	148.90
Soya	74.06	149.59
Soya/descanso/soya	66.33	148.01
F	0.56 ^{ns}	0.68 ^{ns}
CV%	16.83	3.77

ns= no significativo a 5% de probabilidad. ATR= azúcar total recuperable

DISCUSIÓN

Materia orgánica (MO)

Las diferencias entre los sistemas de cultivos no fueron significativas (Tabla 1 y 2); los niveles de materia orgánica (MO) son similares a lo reportado por Ferreira et al. (2007) indica que los Rh presentan contenidos medios de MO entre 25 y 30 g kg⁻¹. Los resultados también, son similares a los de Sousa et al. (2008) en un Rh, evaluando la productividad de maíz (*Zea mays*) con coberturas de plantas de soya (*Glycine max*), milheto (*Pennisetum americanum*) y crotalaria (*Crotalaria juncea*) en los estratos superficiales.

Los mayores valores de MO presentó el sistema Soya/descanso/soya; se pueden atribuir, a la incorporación de residuos vegetales y materiales orgánicos reportado por Fidalski (2015), que la MO del suelo aumenta con el aumento de la disponibilidad de forraje en el área, también, juega un rol importante el sistema radicular, que contribuye

a elevar los contenidos de carbono orgánico del suelo (Navarro et al., 2018). Además, Loss et al (2016), destaca la importancia de los agregados del suelo en la conservación del carbono orgánico y la gestión utilizando la rotación de cultivos y la perturbación mínima del suelo puede aumentar los niveles de fertilidad del suelo; el sistema Soya/descanso/soya mostró estas condiciones.

Otro factor importante es la mayor cantidad de arcilla existente en el tipo de suelo Rh, en relación al Aa. Comportamiento que se observó evaluando la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas de un Rh, ya que los suelos con textura arcillosa como Rh, proporcionan mejor el incremento de los niveles de MO (Mello et al., 2006). Del mismo modo, Luca et al. (2008) evaluando atributos físicos y contenido de carbono y nitrógeno en suelos con quema y sin quema de caña de azúcar, observaron que el carbono fue mayor cuanto mayor fue el contenido de arcilla. Además, señala que el proceso de humificación se desarrolla más rápidamente en suelos con mayor contenido de arena y menor

cantidad de arcilla, lo que explica el mayor contenido de MO en el Rh comparado con el Aa.

Los resultados muestran que la estabilización de la MO en el suelo está relacionada a la: textura, mineralogía, distribución del tamaño de partículas y estabilidad de agregados (Navarro et al., 2018; Loss et al., 2016; Sousa et al., 2008), verificado en los tratamientos. Se debe, a que los suelos Oxisols arcillosos, son ricos en óxidos de Fe y Al, y que la MO puede ser mantenida en altos niveles, principalmente por su ligación con la fracción mineral, la cual protege la MO de la descomposición de los microorganismos (Mello et al., 2006; Six et al., 2002b).

Diámetro medio ponderado (DMP)

En las Tablas 1 y 2, no se encontró diferencias significativas entre los sistemas de uso en ambos estratos, se observa menores valores de DMP en el sistema soya/descanso/soya (SDS), probablemente influyó el período de descanso que tuvo el área de estudio. De acuerdo con Silva y Fernandes (2014), el período de descanso en los SDS influye en el tamaño de los agregados, de tal manera que a periodos largos se tienen agregados de menor tamaño. El sistema soja (S) presentó los mayores valores de DMP en ambos oxisoles, este comportamiento se debe al mayor número de operaciones agrícolas aplicadas a este sistema de producción (Fernandes et al., 2012).

Los mayores valores de los agregados, es resultante de la textura del suelo, lo que contribuye para una menor tasa del ciclo (formación y degradación) de los agregados, estando relacionada con la menor tasa de descomposición de la MO, lo anterior puede ser ocasionada por una mayor protección física de la MO por los agregados (Loss et al., 2016; Six et al., 2002a), debido a la adsorción de compuestos orgánicos y superficies de arcilla, además de su localización en pequeños poros inaccesibles a los microorganismos. Según Six et al. (2002b), el aumento de la estabilidad de los agregados está íntimamente relacionado con

la capacidad de la MO de adherirse a las partículas minerales del suelo, formando las uniones arcillo-metal-húmicas.

Densidad aparente del suelo (DS)

La DS en Rh de la Tabla 1, no presentó diferencias significativas entre los sistemas de producción y los estratos estudiados, igualmente, el Oxisols Aa mostrados en la Tabla 2, al no poseer diferencias entre los tratamientos analizados sobre el estrato 0,00 m a 0,10 m. Sin embargo, existe diferencias significativas en el estrato de 0.10 a 0.20 m observándose valores mayores en el uso de SDS (1.63 Mg m^{-3}), comparado con el sistema de uso S (1.57 Mg m^{-3}). Además, los valores de DS para ambos estratos son similares, contrario a lo reportado por Fidalski (2015), quien encontró aumento de la DS con la profundidad. el resultado, se relaciona con la presencia de residuos de coberturas vegetales sobre la superficie, producido por el período de descanso considerado en el sistema SDS. También, Da Silva et al. (2015) encontró diferencias para DS en la capa superficial, atribuye al efecto del sistema de preparación del suelo.

Además, se corroboran con evaluaciones realizadas por Silva y Fernandes (2014) en las primeras evaluaciones, al no encontrar influencias sobre la DS después de la primera cosecha. También, el daño físico puede quedar oculto en los primeros años ya que la labranza para siembra incorpora partes del suelo superficial con otras más profundas y menos alteradas (Madero et al., 2012). Por otra parte Luca et al. (2008), la textura de un suelo puede explicar las variaciones de la DS, por lo que las diferencias encontradas en el Aa de 0.10 a 0.20 m se explica por la textura que presenta (arena = 440 g kg^{-1}) que es más gruesa que el Rh (arena = 140 g kg^{-1}) y por la incorporación de partes superficiales a estratos más profundos, producto de la preparación del suelo (Da Silva et al., 2015; Silva y Fernandes, 2014; Madero et al., 2012).

Resistencia a la penetración (RP)

La RP, en ambos Oxisols Tabla 1 y 2, indican que no existen diferencias entre los sistemas de uso evaluados, los resultados fueron semejantes a los primeros años de evaluación (2008-2012) reportados por Silva y Fernandes (2014), quienes manifiestan que los diferentes sistemas de producción no alteraron significativamente la RP en ambos oxisoles. Asimismo, valores mayores que 2 MPa de RP son considerados como críticos (Da Silva et al., 2015; Silva y Fernandes, 2014), aunque estos varían con el tipo de suelo y la especie cultivada, siendo difícil establecer límites críticos (Portugal et al., 2010). También, Fidalski (2015) no encontró efecto significativo de los cultivos de la soja y de la braquiaria, en dos años de evaluación (2013 y 2014), sobre la RP al evaluar el carbono orgánico total y la calidad física de Latossolo Rojo.

Los resultados se encuentran por encima de 2 MPa, nivel crítico para el desarrollo de cualquier vegetal; sin embargo, la caña presentó en Aa mayor que 66,33 Mg ha⁻¹ y en Rh mayor de 87.8 Mg ha⁻¹ en Rh, rendimientos superiores a los reportados en México (Aguilar et al., 2011). Comportamiento similar se presenta en suelos con buena disponibilidad de agua que incluso permite buen desarrollo de raíces en valores de RP superiores a 4 MPa (Dexter, 1987). Contrario a lo observado en suelos con deficiencia hídrica (Assis et al., 2009). En este sentido el lugar del experimento presenta una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación anual media de 1425 mm lo que asegura condiciones hídricas adecuadas de estos oxisoles.

Se debe considerar que la RP, es una propiedad que mejor representa las condiciones para el desarrollo de la planta, por estar directamente relacionada al crecimiento de las raíces (Furlani et al., 2003). El parámetro está estrechamente asociada a la densidad del suelo (Da Silva et al., 2015) y puede ser afectado por el sistema de uso en el estrato de 0.10 a 0.20 m y si ésta emplea maquinaria, es fuertemente afectado

(Pellin et al., 2015) o en áreas con pasturas, por la presión ejercida debido al pisoteo del ganado, allí se presentan los mayores valores comparados con el sistema de siembra directa o un uso convencional mínimo (Rocha et al., 2009).

Macro (Ma), micro (Mi) y porosidad total (PT)

En la Tabla 1 y 2, no se encontró diferencias estadísticas significativas en ambos Oxisols; sin embargo, los valores de Ma son menores de 0.10 m³. m⁻³. Encontrándose por debajo del límite recomendado, para producir cambios gaseosos (catiónicos) y el crecimiento de raíces en la mayoría de plantas, debiendo ser mayores a 0.10 m³. m⁻³ (Tavares et al., 2010), para Centurion *et al.* (2007) la disminución de los Ma está influenciada por el número de cortes de la caña de azúcar y provoca un aumento en Mi y la porosidad total, en particular en el estrato de 0.00 a 0.10 m. Además, los Oxisols en general poseen importantes cantidades de arcilla, que se traduce en mayor cantidad de micro agregados estables y resistentes a la degradación en comparación de los macro agregados (Loss et al., 2016; Six et al., 2002a), lo cual explica la ausencia de diferencias.

Resultados similares fueron reportados por Baquero et al. (2012); Silva y Fernandes (2014) quienes, no encontraron diferencias significativas para los primeros cortes de caña, los resultados encontrados, se podrían explicar, por el tiempo e intensidad de tránsito de maquinarias pesadas utilizadas para la preparación del suelo, que tienden a disminuir el valor de Ma (Fernandes et al., 2012). Además, los resultados se obtuvieron después del tercer corte, por lo que es aceptable una ligera disminución de los Ma y un aumento de los Mi y PT con referencia a los primeros cortes, tal como señalaron Centurión et al. (2007). Aunque, resultados distintos fueron reportados por Da Silva et al. (2015), quien muestra un incremento de los macroporos en pasto braquiaria sometido a la subsolación y fertilización.

Índice de estabilidad de agregados (IEA)

Para la variable IEA (Tabla 1 y 2), no se encontró diferencias, para los dos estratos de suelo. Los tratamientos no promovieron alteraciones en la agregación evaluados en el IEA, esto puede ser consecuencia del mayor contenido de MO y arcilla contenidas en Rh en comparación con el Aa (Navarro et al., 2018; Silva y Fernandes, 2014), afirmación que fue constatada por Vezzani y Mielniczuck (2011), al no encontrar diferencias significativas en la agregación del suelo mediante diferentes sistemas de manejo. Atribuyen que el efecto de la MO en la agregación es mediante una cementación, ya que la agregación aumenta de acuerdo a la cantidad de la MO (Souza et al., 2004). De modo general la estabilidad de agregados se caracteriza por la resistencia que ofrece a la ruptura causada por agentes externos ya sea mecánica o hídrica y la presencia de agregados más pequeños que son más estables y están menos sujetos a la erosión y compactación (Maria et al., 2007), condición que presentan los dos Oxisols estudiados.

Productividad de colmos y azúcar total recuperable (ATR)

En la Tabla 3, no se encontró diferencias significativas entre los atributos del ATR y la producción en caña de azúcar, realizados para el cuarto corte de caña de azúcar. Silva y Fernández (2014) reportaron resultados similares al evaluar los mismos atributos hasta el 3^{er} corte, como estudio preliminar del presente trabajo de investigación.

Los valores obtenidos en ambos oxisoles, indican que los tratamientos evaluados no alteran la productividad y ATR, es relevante mencionar que el rendimiento encontrado está por encima de lo señalado por Aguilar et al., (2012) en México donde el rendimiento de campo es de 65.6 t caña ha⁻¹ y 7,7 t ATR ha⁻¹. En consecuencia, los sistemas utilizados mantienen los principales atributos físicos y la MO del suelo y estos garantizan la productividad futura

de la caña de azúcar, de modo, que el estudio de estos atributos ayuda en la toma de decisiones adecuadas del manejo del suelo (Navarro et al., 2018, Silva y Fernández, 2014; Góes et al., 2005).

CONCLUSIONES

Los diferentes sistemas de manejo evaluados no mostraron diferencias significativas frente a los atributos físicos Diámetro medio ponderado, Índice de estabilidad de agregados, densidad aparente, resistencia a la penetración, porosidad total, macroporosidad, microporosidad y la materia orgánica, en suelos Rhodic Hapludox, en estratos de 0.00 a 0.10 y 0.10 a 0.20 m; excepto el DMP en estrato de 0.00 a 0.10 m. En el suelo Anionic Acrudox, se encontró diferencias frente a los atributos DMP y DS en estratos de 0.10 a 0.20 m.

La productividad y el azúcar total recuperable, no difiere frente a los diferentes sistemas de manejo evaluados; demostrando, que el uso del suelo alteró algunos atributos físicos (DMP y DS), mas no afectó la producción del cultivo de caña de azúcar antes del cuarto corte.

AGRADECIMIENTO

A la Coordinación de Perfeccionamiento Personal de Nivel Superior (CAPES), por la concesión de beca de maestría al primer autor, para realizar el trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, N., Olvera, L. A. & Galindo. G. (2011). Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. *Rev. Geogr. Norte Gd*, 55(1), 141-156. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n55/art10.pdf>
- Altieri, M., Nicholls C. 2008. Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. Suelos vivos. *LEISA revista de agroecología*, *Rev. Investig. Altoandin.* 2019; Vol 21 Nro 2 89 - 99

- 24, 6-8. <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-24-numero-2/1865-suelos-saludables-plantas-saludables-la-evidencia-agroecologica>
- Assis, R. L., Lazarini, G. D., Lancas, K. P. & Cargnelutti, F. A. (2009). Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. *Eng. Agríc, Jaboticabal*, 29(4), 558-568. <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v29n4/v29n4a6.pdf>
- Barbosa, B. W., Dalto, M.I., Eustáquio, M. & Alves, M. C. (2016). Estabilidade de agregados em Latossolos sob plantas de cobertura em rotação com soja e milho. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 11(3), 156-162. <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i3a5378>
- Barbosa, J. C., & Maldonado, J. W. (2015). *AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos*. Jaboticabal: FCAV/UNESP.
- Balin, N. M., Dahlem, Z. A. R., Machado, J. P., Cauduro G. V., Stumpf, L. & Paulo Cesar Conceição, P. C. (2017). Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Revista Scientia Agraria- AS*, 18 (3), 85-94. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i3.53114>
- Centurion, J. F., Freddi, O. S., Aratani, R. G., Metzner, A. F. M., Beutler, N.A. & Andrioli, I. (2007). Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 31(1), 199-209. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n2/a02v31n2>
- Da Silva, E., Conceição S. P., Amorim, F.F., França B. R.B., Pamponet, B. M. & Oliveira, R. J. (2015). Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo distrófico coeso e crescimento radicular de *Brachiaria decumbens* submetido à subsolagem e fertilização. *Comunicata Scientiae*, 6(4), 385-395. <https://doi.org/10.14295/CS.v6i4.484>
- Dexter, A. R. (1987). Mechanics of root growth. *Plant and Soil, Dordrecht*. 98, 303-312. <https://www.jstor.org/stable/42936349>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (1997). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro.
- Fernandes, C., Cora, J. E. & Marcelo, A.V. (2012). Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two Latosols (Oxisols). *Rev. Bras. Ci. Solo*, 36(1), 283-294. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100029>
- Ferreira, E. A. B., Resck, D. V. S., Gomes, A. C. & Ramos, M. L. G. (2007). Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*. 31(1), 1625-1635. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/38.pdf>
- Fidalski, J. (2015). Qualidade física de Latossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária após cultivo de soja e pastejo em braquiária. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 50(11), 1097-1104. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100013>
- Furlani, C. E. A., Gamero, C. A., Levien, R. E. & A. Lopes. (2003). Resistência do solo à penetração em preparo convencional, escarificação e semeadura direta em diferentes manejos da cobertura vegetal. *Engenharia Agrícola*, 23 (3), 579-587. [http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultawebsite/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autoria:"FURLANI,%20C.E.A.](http://andorinha.epagri.sc.gov.br/consultawebsite/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autoria:)
- García, I., Sánchez, M., Vidal, D. M., Betancourt, Y. & Rosa J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2), 51-56. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542010000200009

- Góes, G. B., Greggo, T. C., Centurion, J. F., Beutler, N. A. & Andrioli, I. (2005). Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. *Irriga*, 10(2), 116-122. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2005v10n2p116-122>
- Grossman, R.B. & Reinsch, T. G. (2002). Bulk density and linear extensibility. In: DANE JH, TOPP GC (Eds.). *Methods of soil analysis*. Madison, Soil Science Society of America, Part. 4, p. 201-228. (SSSA Book Series, 5).
- Köppen, W. & Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cm x 200cm.
- Loss, A., Gervasio, P. M., Mendes, C. E., Beutler, S. J. & Cássia, P. M. (2016). Soil fertility, humic fractions and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in soil under different land use in Paraná State. Southern Brazil. *Idesia (Arica)*, 34(1), 27-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000100004>
- Luca, E.F., Feller, C., Cerri, C. C., Barthès, B., Chaplot, V., Campos, D. C. & Manechini, C. (2008). Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 32(2), 789-800. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200033>
- Madero, E., Armando, J., Albán, A., Escobar, B. Y., García, L. B. & Peña, M. E. (2011). Compactación de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona sur del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*, 60(3), 245-252. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169922438005>
- Marques, T. A., Sasso, C. G., Sato, A. M. & Souza, G. M. (2009). Queima do canavial: aspectos sobre a biomassa vegetal, fertilidade do solo e emissão de CO₂ para atmosfera. *Biosci. J., Uberlândia*, 25, 83-89.
- Maria, I. C., Kocsi, M. A. & Dechen, S. C. F. (2007). Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. *Bragantia*, 66(3), 291-298. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026597025>
- Mello, G., Bueno, C. R. P. & Pereira, G. I. (2006). Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 294-305. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a08>
- Morelos, J. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios Gerenciales*, 32, 120-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2016.01.001>
- Navarro, V. L., Florida, R. N. & Navarro, V. M. (2018). Sustancias húmicas y agregación en oxisol (Rhodic Eutrudox) con pasto brachiaria y otros sistemas de uso. *Livestock Research for Rural Development*. 30, Article #137. <http://www.lrrd.org/lrrd30/8/nelino30137.html>
- Nimmo, J. R., & Perkins, K. S. 2002. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J.H.; TOPP, G. C. (Eds.). *Methods of soil analysis*. (pp. 317-328) Madison. Soil Science Society of America, USA. https://www.rcamnl.wr.usgs.gov/uzf/abs_pubs/papers/mosa.ag.pdf
- Pellin, D.P., Montanari, R., Lima, E., Lovera, L. H. & Rodrigues, C. A. (2015). Variabilidade de atributos físicos de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar, *Revista Caatinga*, 28(1), 28-38. https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2998/pdf_213
- Portugal, A. F., Costa, O. D. V. & Costa, L. M. (2010). Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 34, 575-585. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a32.pdf>
- Rocha, S. S., Borba, J. Á., Ticelli, M., Panosso, A. R. & Camara, F. T. (2009). Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. *Revista Ciência Agronômica*, 40(3), 331-338. <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/751/350>
- Rodrigues, B. M., Tonani, S.F. L., Alves, I.J. & Nogueira, R. (2018). Estoque de carbono no

- solo sob diferentes condições de cerrado. *Revista Desafios*, Vol. 5(Especial), 114-124. <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2018v5nEspecialp114>
- Silva, R. P. & Fernandes, C. (2014). Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 38(2), 575-584. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200022>
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M. & Albrecht, A. (2002a). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie, Paris*, 22, 755-775. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2002043>
- Six, J., Conant, R. T., Paul, A. E. & Paustian, K. (2002b). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C saturation of soil. *Plant Soil*. 241, 155–176. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.591.896&rep=rep1&type=pdf>
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 10th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052172.pdf
- Sousa, N. E. L., Andrioli, I., Beutler, N. A. & Centurion, J. F. (2008). Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(2), 255-260. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200015>
- Souza, Z. M., Marques, J. & Pereira, G. T. (2004). Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(5), 491-499. <http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n5/a12v39n5.pdf>
- Tavares, F. J., Barbosa, G. M. & Ribon, A. (2010). Physical properties of dystrophic Red Latosol (Oxisol) under different agricultural uses. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 34, 925-933. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n3/34.pdf>
- Tormena, C. A., Silva, A. P. & Libardi, P. L. (1998). Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 22, 573-581. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n4/02.pdf>
- Vezzani, F. M. & Mielniczuk, J. (2011). Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 35, 213-223. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n1/a20v35n1.pdf>