



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Trabajo Final de Carrera

“Estudio de la estabilidad estructural, stock de carbono y su correlación”

Alumnos:

Michelini Martin

Legajo: 28288/2

Correo: michelinime@gmail.com

Piedrabuena Lucio

Legajo: 28261/0

Correo: luciopiedrabuena6@gmail.com

Director:

Dr. Ing. Ftal. Gelati, Pablo R.

Co - directora:

Dra. Ing. Agr. Machetti Natalia E.

Fecha de entrega:

ÍNDICE

ÍNDICE	2
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
HIPÓTESIS	6
OBJETIVOS	7
General	7
Específicos.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Sitio de estudio	7
Toma de muestras, acondicionamiento y determinaciones	8
Textura	8
Carbono orgánico total (COT).....	9
Densidad aparente	10
Porosidad total	11
Estabilidad estructural	11
Stock de carbono	12
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Textura.....	13
Carbono orgánico total.....	13
Densidad aparente.....	14
Estabilidad estructural.....	15
CONCLUSIONES.....	19
BIBLIOGRAFÍA.....	20

RESUMEN

El manejo del pastoreo influye en el stock de carbono y la estabilidad estructural del suelo. Un uso inadecuado reduce su resiliencia y dificulta la regeneración de la cobertura vegetal, afectando negativamente sus propiedades físicas. La estabilidad estructural (EE) mide la capacidad del suelo para mantener su arquitectura y porosidad ante la acción del agua o esfuerzos mecánicos. El carbono orgánico del suelo, componente principal de la materia orgánica, influye en la estructura y distribución del espacio poroso. En este trabajo, se considera a través del carbono orgánico total (COT). El objetivo fue evaluar la relación entre distintos manejos pastoriles, el stock de carbono orgánico y la estabilidad estructural de un Paleudol. El ensayo se realizó en el establecimiento Don Joaquín (Partido de Magdalena), implantando raigrás anual (*Lolium multiflorum*) en tres tratamientos: pastoreo con remanente de 20 cm (P20), de 10 cm (P10) y sin pastoreo (Ts). Se agregó un tratamiento sin siembra (Tss). Se utilizó pastoreo continuo con animales fijos y volantes para ajustar el remanente. Se evaluaron textura, COT, densidad aparente (Dap), porosidad, stock de carbono y estabilidad estructural (diámetro medio ponderado, DMP). El suelo fue franco-limoso. No hubo diferencias en COT ($p > 0,05$), pero su contenido fue alto. La Dap fue menor y la porosidad mayor en P10 y P20 respecto a Tss. La EE, medida por DMP, fue mayor en P20 respecto a Tss, correlacionándose positivamente con COT y negativamente con Dap. No hubo diferencias en el stock de carbono. La siembra y mayor altura de pastoreo mejoraron la estabilidad estructural y redujeron la Dap, sin afectar el contenido ni el stock de carbono. Dado el corto plazo del ensayo, se concluye que el manejo previo fue adecuado.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente fundamental del ambiente, natural y finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones vitales para la sociedad y el planeta (MADS, 2015).

Así mismo, es indispensable y determinante para la estructura y el funcionamiento de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes, como también para la biodiversidad. Constituye una parte esencial de los ciclos biogeoquímicos, en los cuales hay distribución, transporte, almacenamiento y transformación de materia y energía necesarios para la vida en el planeta (van Miegrot & Johnsson, 2009).

El suelo, considerado un recurso natural no renovable, representa la reserva mundial del 90% de alimentos, sirve de base para las actividades humanas, el paisaje, y funciona como proveedor de materias primas por lo que se debe preservar (Cruz *et al.*, 2004).

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena y limo con materia orgánica y arcilla (FAO, 2008).

La estabilidad de la estructura (EE), es una estimación de la capacidad del suelo para mantener la arquitectura de la fracción sólida y del espacio poroso cuando se someten a fuerzas originadas por la acción del agua o de esfuerzos mecánicos externos (Kay, 1990). Es una característica dinámica, puesto que es un indicador de la degradación o recuperación del suelo y permite sostener la actividad agrícola, preservando la calidad ambiental respectivamente (Arshad y Coen, 1992; Amézketa, 1999).

El carbono orgánico total (COT) es el componente principal de la materia orgánica del mismo. Es un elemento clave para lograr una alta calidad del suelo ya que afecta propiedades que se relacionan con el rendimiento sostenido de los cultivos. En este sentido, mejora la estructura del suelo favoreciendo la infiltración, redistribución y retención del agua dentro del perfil; es fuente de nutrientes y energía para plantas y microorganismos; disminuye la compactación y la erosión tanto

hídrica como eólica; permite regular su pH y temperatura, entre otros (Nasser Marzo, 2022).

El COT puede ser interpretado como el resultado de un balance entre ganancias y pérdidas (stock de carbono), proceso mediado por microorganismos que habitan en el suelo. En sistemas ganaderos, las ganancias, están dadas por los residuos vegetales aéreos y de raíces que quedan luego de la cosecha de una pastura; por las heces animales y la degradación de restos de insectos habitantes del suelo. En contraposición, las pérdidas de carbono en el suelo son las que se producen por la erosión eólica e hídrica y mineralización de la materia orgánica (Nasser Marzo, 2022).

El manejo del pastoreo está estrechamente relacionado con el stock de carbono y la estabilidad estructural del suelo. Los sistemas pastoriles que utilizan prácticas de pastoreo adecuadas, como por ejemplo el pastoreo controlado, pueden mejorar la calidad del suelo al aumentar la cantidad de materia orgánica y mejorar su estructura. La rotación de cultivos, a diferencia del monocultivo anual, también puede ayudar a reducir la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes (García *et al.*, 2018). En cambio, el pastoreo excesivo puede tener consecuencias negativas en el stock de carbono del suelo y la estabilidad estructural. Este tipo de pastoreo puede reducir la cantidad de materia orgánica, aumentar la erosión y la pérdida de nutrientes, así como provocar compactación y degradación de su estructura (López-Fando *et al.*, 2012).

El COT asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. La cantidad de COT no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo. Existen prácticas de manejo que generan detrimento del COT en el tiempo, a la vez hay prácticas que favorecen su acumulación (Sandoval *et al.*, 2008).

La estructura del suelo, definida como el arreglo de partículas y el espacio poroso resultante, se relaciona con la capacidad del suelo para transmitir y retener

agua e interviene en los procesos de interceptación, flujo de masa y difusión para el suministro de nutrientes (Lawrence, 1977; Amézquita, 1994).

Un suelo con una estructura estable es más resistente a la erosión, por lo tanto, se minimiza la pérdida de materia orgánica, proporciona un hábitat adecuado para la vida microbiana, que juega un papel importante en el ciclo del carbono, y es menos susceptible a la compactación, proceso que dificulta la entrada de agua y aire al suelo afectando la actividad biológica (Paez, 1992).

Los principales factores que influyen en la estabilidad estructural son la textura y la materia orgánica. Este último ayuda a mantener las partículas del suelo unidas y a mejorar su capacidad de retención de agua. Otros factores son la actividad de las raíces de las plantas y los microorganismos que participan a mantener la estabilidad estructural; y el contenido de agua ya que en exceso puede debilitar la estructura del suelo. Los microorganismos ayudan a descomponer la materia orgánica, liberando carbono a la atmósfera. Sin embargo, también pueden fijar carbono en el suelo, formando complejos con las partículas de arcilla (Paez & Sentis, 1992).

Para analizar la estabilidad estructural del suelo se puede determinar el diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados. Una proporción alta de microagregados se puede considerar como indicador de degradación estructural del suelo, lo cual deduce una relación entre dispersión, infiltración, erosión y las modificaciones en la estructura por efecto del tipo de uso del suelo (Boersma y Kooistra, 1994; Amézquita, 1994).

La estabilidad estructural del suelo y el stock de carbono están estrechamente interrelacionados. La implementación de prácticas de manejo sostenible es crucial para preservarla, promoviendo la fortaleza de los ecosistemas terrestres frente a los desafíos ambientales actuales y futuros (FAO, 2009).

HIPÓTESIS

H1: Las diferentes alturas de pastoreo se relacionan de manera positiva con el COT y la estabilidad estructural del suelo.

H2: Las diferentes alturas de pastoreo no se relacionan de manera positiva con el COT y la estabilidad estructural del suelo.

OBJETIVOS

General

Evaluar la relación entre diferentes manejos pastoriles, el stock de carbono orgánico y la estabilidad estructural de un Paleudol.

Específicos

Determinar carbono orgánico total (COT) (Michelini), densidad aparente (Dap) (Michelini), porosidad total (Piedrabuena), estabilidad estructural (Michelini y Piedrabuena) y stock de carbono (Michelini y Piedrabuena), para evaluar la relación entre estos parámetros y diferentes manejos pastoriles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento Don Joaquín, perteneciente a la Universidad Nacional de La Plata. El mismo se encuentra ubicado sobre la Ruta provincial 36, km 83,5, localidad de Bartolomé Bavio, Partido de Magdalena. El establecimiento tiene una superficie de 426 ha sobre las que se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas.

El suelo estudiado es un Paleudol vértico, capacidad de uso III s, perteneciente a la serie Etcheverry (INTA 2023, Cartas de suelos República Argentina - Provincia de Buenos Aires).

El ensayo se realizó sobre las parcelas experimentales del trabajo de doctorado del Ing. Agr. Fernández Federico, el cual consiste en un ensayo que se inició en el 2022. Se realizaron 3 tratamientos, donde en todos se implantó raigrás anual (*Lolium multiflorum*). En el primero se pastoreo y se dejó un remanente de 20 cm (P20), en el segundo el remanente fue de 10 cm (P10) y en el tercero no se pastoreó (Ts). Se realizó un cuarto tratamiento sin sembrar (Tss). El sistema de pastoreo fue continuo controlado con 4 hembras fijas y animales volante, los cuales

entraban o salían de las parcelas para mantener la altura remanente de cada tratamiento. Se tomaron tres muestras (3 repeticiones) al azar de cada tratamiento luego de los 5 meses transcurridos desde el inicio del ensayo. Dicho ensayo tuvo como cultivo antecesor una soja, y el tipo de siembra utilizado para ambos casos fue la siembra directa.

Toma de muestras, acondicionamiento y determinaciones

Para la determinación de textura y de carbono orgánico total se tomaron muestras compuestas superficiales (0-15 cm) con barreno. Luego fueron secadas en estufa con circulación forzada a 40 °C, desagregadas y tamizadas por 2 mm.

Textura

Se realizó el método de la pipeta, el cual se fundamenta con la Ley de Stokes, donde se extrae una muestra con una pipeta a una determinada profundidad y tiempo suponiendo la eliminación de partículas mayores a cierto diámetro (Norambuena *et al.*, 2002).

La determinación consiste en cuatro pasos. En el primero se elimina la materia orgánica con H₂O₂ y calor (70°C), hasta que desaparece la efervescencia. En una segunda etapa se lleva a estufa a 105°C durante 24 horas y se determina la masa seca de la muestra (Msm). Por último, se dispersa la muestra con un NaOH y agitado mecánico, y se determinan las diferentes fracciones granulométricas. Para obtener limo y arcilla (fracciones menores a 50 µm) se extrae una muestra a una determinada profundidad y tiempo según la Ley de Stokes (tabla 1) y se lleva a estufa a 105°C durante 24 horas para determinar su masa. En cambio, para determinar la fracción arena (fracción mayor a 50 µm) se pasa la suspensión por un tamiz de 50 µm, luego se lava y se lleva la muestra a estufa durante 24 horas a 105°C y se determina su masa (SAMLA, 2004).

Tabla 1: Tiempo y profundidad de toma de muestra para cada tamaño de partícula

T°C	Profundidad 10 cm partículas > 50 µm	Profundidad 5 cm partículas > 2 µm
15	50"	4h 24' 03"
16	49"	4h 17' 14"
17	48"	4h 10' 40"
18	46"	4h 04' 25"
19	45"	3h 58' 22"
20	44"	3h 52' 34"
21	43"	3h 46' 00"
22	42"	3h 41' 37"
23	41"	3h 36' 28"
24	40"	3h 31' 27"
25	39"	3h 26' 40"
26	38"	3h 22' 01"
27	37"	3h 17' 32"
28	37"	3h 13' 14"
29	36"	3h 09' 02"
30	35"	3h 05' 00"

Por último, a través de los siguientes cálculos se determina cada fracción:

$$\text{Arena (\%)} = \frac{Msa \times 100}{Msm}$$

$$\text{Limo + arcilla (\%)} = \frac{Ms \text{ 1 alic} \times 5000}{Msm}$$

$$\text{Arcilla (\%)} = \frac{Ms \text{ 2 alic} \times 5000}{Msm}$$

$$\text{Limo (\%)} = \text{Peso (limo + arcilla)} - \text{peso arcilla}$$

Msa: masa seca arena (Masa de arenas - Tara)

Msm: masa seca muestra total (masa - Tara)

Ms 1 alic: masa seca de la primer alícuota para partículas menores a 50 µm (masa - Tara) (limos + arcillas)

Ps 2 alic: masa seca de la segunda alícuota para partículas menores 2 µm (masa - Tara) (arcillas)

Carbono orgánico total (COT)

Se determinó mediante la metodología de Walkey y Black micrométodo. El fundamento de este consiste en la oxidación del carbono con dicromato de potasio

en medio ácido y posterior titulación del dicromato restante con sal ferrosa (Sal de Mohr). Se pesaron muestras de suelo seco y tamizado con 0,5 mm de aproximadamente 100 mg y se colocaron en tubos de ensayo. Luego con una pipeta se agregó 1,5 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), 3 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4), se mezcló y se dejó reposar por 20 minutos, se agregó agua destilada y se dejó enfriar. Posteriormente se agregaron 3 gotas del indicador N-fenil antranílico y se tituló por retorno con Sal de Mohr agitando constantemente hasta el viraje de color del indicador. (PROMAR, 1991) Los cálculos de COT se realizaron con la siguiente ecuación:

$$COT (\%) = \frac{(B - M) \times 0,3 \times 300 \times f}{Pm \times 0,82}$$

Donde:

B: volumen de sal consumido por el patrón (ml)

M: volumen de sal consumido por la muestra (ml)

0,3: normalidad de la sal

300: transformación de meq a mg de C

Pm: peso de la muestra (mg)

0,82: factor de corrección por oxidación (82%) (Promar, 1991).

Densidad aparente

La densidad aparente (D_{ap}) se determinó empleando el método del cilindro (Hillel, 1998) por cuadruplicado. Se extrajeron las muestras con un cilindro de acero inoxidable y se colocaron a $105^\circ C$ hasta peso constante. La D_{ap} se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$D_{ap} = \frac{ms}{V_{cil}}$$

Donde:

D_{ap} : densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)

Ms: masa seca (g)

Vcil: volumen del cilindro (cm³)

Porosidad total

La porosidad (P) total se obtendrá a través de la siguiente ecuación:

$$P (\%) = \left(1 - \frac{Dap}{Dr}\right) \times 100$$

Donde:

P: porosidad total (%)

Dap: densidad aparente (g cm⁻³)

Dr: densidad real del suelo 2,65 (g cm⁻³).

Estabilidad estructural

Se extrajeron 3 muestras de suelo (0-15 cm) sin disturbar, se seleccionaron los agregados comprendidos entre los tamices de 5 y 3 mm, fueron secados a 40 C y sobre esta muestra se realizaron los tres pretratamientos propuestos por Le Bissonais (Le Bissonais, 1996).

El mismo consistió en someter muestras de 10 g de suelo a tres pretratamientos para el cálculo del DMP.

T1: humectación rápida por inmersión en agua

T2: disgregación mecánica por agitación después de la re-humectación en etanol

T3: humectación lenta con agua por capilaridad.

La fracción >50 µm resultante de cada pretratamiento, se secó en estufa y posteriormente se tamizó en una columna de tamices con el fin de lograr la distribución de agregados para los tamaños >2.000 µm, 2.000-1.000 µm, 1.000-500 µm, 500-200 µm, 200-100 µm y 100-50 µm.

El DMP de cada pretratamiento se obtuvo como la suma algebraica de las masas de las fracciones remanentes de cada tamiz, multiplicado por la apertura de los tamices adyacentes como lo indica la siguiente ecuación:

$$DMP = \frac{\sum \text{Diámetros medios entre dos tamices (mm)} \times \% \text{ de partículas retenidas sobre el tamiz}}{100}$$

El resultado final, el diámetro medio en mm (DM) se obtuvo como la media de los DMP de los tres pretratamientos.

Stock de carbono

El stock de carbono se calculó con los datos de COT y Dap, la estimación se realizó en toneladas por hectárea, considerando una profundidad de 0,15 m, a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Stock de carbono} \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{COT (\%)}{100} \times Dap \left(\frac{t}{m^3} \right) \times 1500 m^3$$

Donde:

COT: carbono orgánico total (%)

Dap: densidad aparente ($t m^{-3}$)

1500 m^3 es el volumen de la ha analizado.

El resultado se expresa en masa de carbono por hectárea

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Todos los resultados fueron evaluados estadísticamente mediante ANOVA, previo análisis de supuestos básicos. Se realizaron comparaciones múltiples de medias mediante prueba de Tukey (Statistica, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Textura

El ensayo fue realizado sobre suelos de la misma clase textural. En la Tabla 2 se presentan los resultados de acuerdo con los valores obtenidos expresados en fracción porcentual de las distintas fracciones granulométricas que definen la textura del suelo, arena, limo y arcilla, y se determinó a que clase textural correspondía cada una de las muestras. Cabe destacar, que estos valores son promedio de las repeticiones realizadas para cada tratamiento.

Tabla 2: Fracciones texturales en (%) arena (A), limo (L) y arcilla (arc) y clase textural (USDA)

Tratamiento	% A	% L	% arc	Clase textural
Tss	5,1	69,2	25,6	Franco limoso (FL)
Ts	3,6	72,0	24,3	Franco limoso (FL)
P 10	3,0	73,5	23,5	Franco limoso (FL)
P 20	2,8	71,9	25,2	Franco limoso (FL)

Carbono orgánico total

El COT no presentó diferencias entre los tratamientos ($p>0,05$) y su contenido fue alto (Tabla 3). La ausencia de diferencias en el COT podría deberse a que el mismo, es poco sensible para evaluar los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.*, 2007). Si bien Fang *et al.*, (2010) mencionan que el pastoreo del ganado y el corte afectan la dinámica del carbono en los pastizales de China, debido a factores que alteran el equilibrio en los pastizales como los cambios en el uso del suelo y en el manejo (Zhou *et al.*, 2007), los cambios ocasionados por el pastoreo son evidentes en evaluaciones de periodos mayores a 50 años (Piñeiro *et al.*, 2006).

Tabla 3: Carbono orgánico total, COT (%) según tratamientos aplicados: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamientos sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20). Letras iguales indican ausencia de diferencia significativa.

Tratamiento	COT (%)
Tss	3,0 a
Ts	3,3 a
P10	3,2 a
P20	3,1 a

Densidad aparente y porosidad total

La Dap fue menor en los tratamientos sembrados y pastoreados (P10 y P20) respecto a Tss ($p < 0,05$) (Figura 1). Igual resultado se obtuvo para la porosidad (Tabla 4). Derner *et al.*, (2006) hallaron que en sitios pastoreados se produce un mayor contenido de raíces finas. Varios autores hallaron disminuciones de densidad aparente en la capa superficial del suelo en respuesta a la introducción de una especie vegetal (Lal *et al.*, 1979; Wilson *et al.*, 1982; Latif *et al.*, 1992; Villamil *et al.*, 2006). Esta disminución es atribuida a una mayor cantidad de residuos incorporados al suelo, así como también a la presencia de raíces. Kladivko (1994) menciona que, aunque los residuos permanezcan en la superficie, los materiales orgánicos pueden incorporarse lentamente a medida que son degradados, originando la disminución en la densidad aparente.

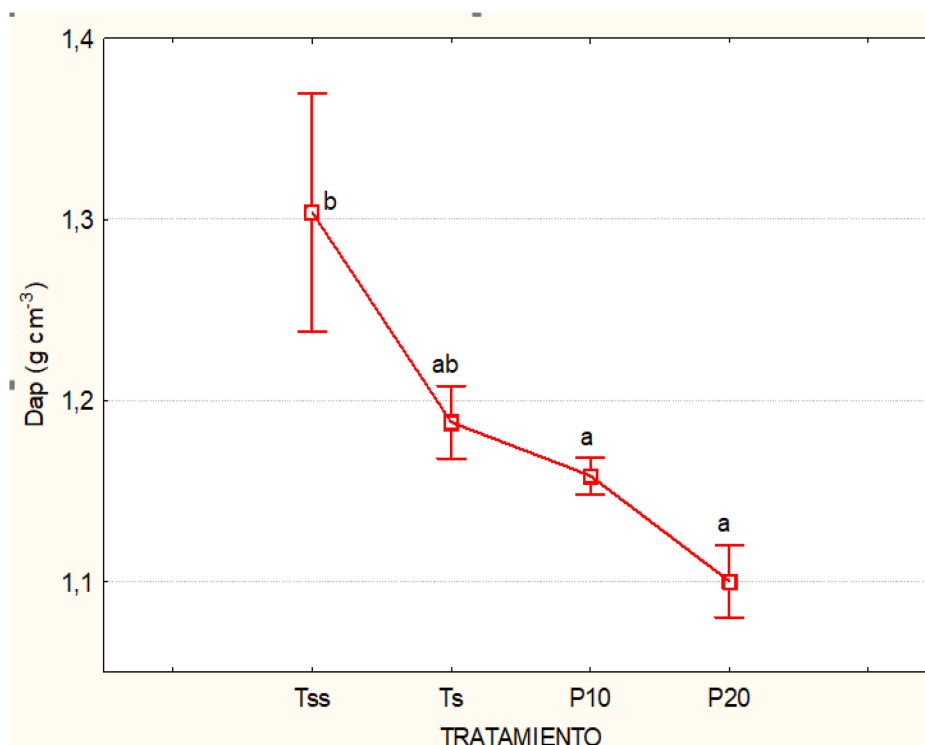


Figura 1: Densidad aparente, Dap ($g\ cm^{-3}$) según tratamiento aplicado: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamiento sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20). Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Tabla 4: Porosidad (%) según tratamiento aplicado: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamiento sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20). Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Tratamiento	Porosidad (%)
Tss	50,8 a
Ts	55,2 ab
P10	56,3 b
P20	58,5 b

Estabilidad estructural

La estabilidad estructural determinada a partir del DMP fue mayor en el tratamiento P20 respecto a Tss. El pretratamiento humectación rápida (T1), presentó el mismo comportamiento, por lo que podría inferirse que fue el más sensible a los factores que afectaban el ensayo (Figura 2). Si bien el contenido de COT no se modificó con los tratamientos, presentó relación con el DMP (Figura 3). La materia orgánica es fundamental para la formación y estabilización de los agregados del suelo (Tisdall y Oades, 1982), es por ello que existe una estrecha correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo y la estabilidad

estructural (Haynes y Beare 1996). La mayor estabilidad de agregados se debería a un incremento en la actividad biológica, a la capacidad de los sistemas radicales de vincular y estabilizar agregados (Tisdall y Oades, 1982). Existen otros mecanismos que explican cambios en la estabilidad estructural como el secado del suelo por las raíces, el cual actúa de forma sinérgica con el material aglutinante producido por la rizósfera. El proceso de secado en la zona de producción de mucílago aumenta la eficiencia de los agentes cementantes incrementando la absorción de material aglutinante sobre la superficie mineral (Caron *et al.*, 1992). En la figura 4 se observa que ante incrementos de estabilidad estructural se produce disminución de la Dap.

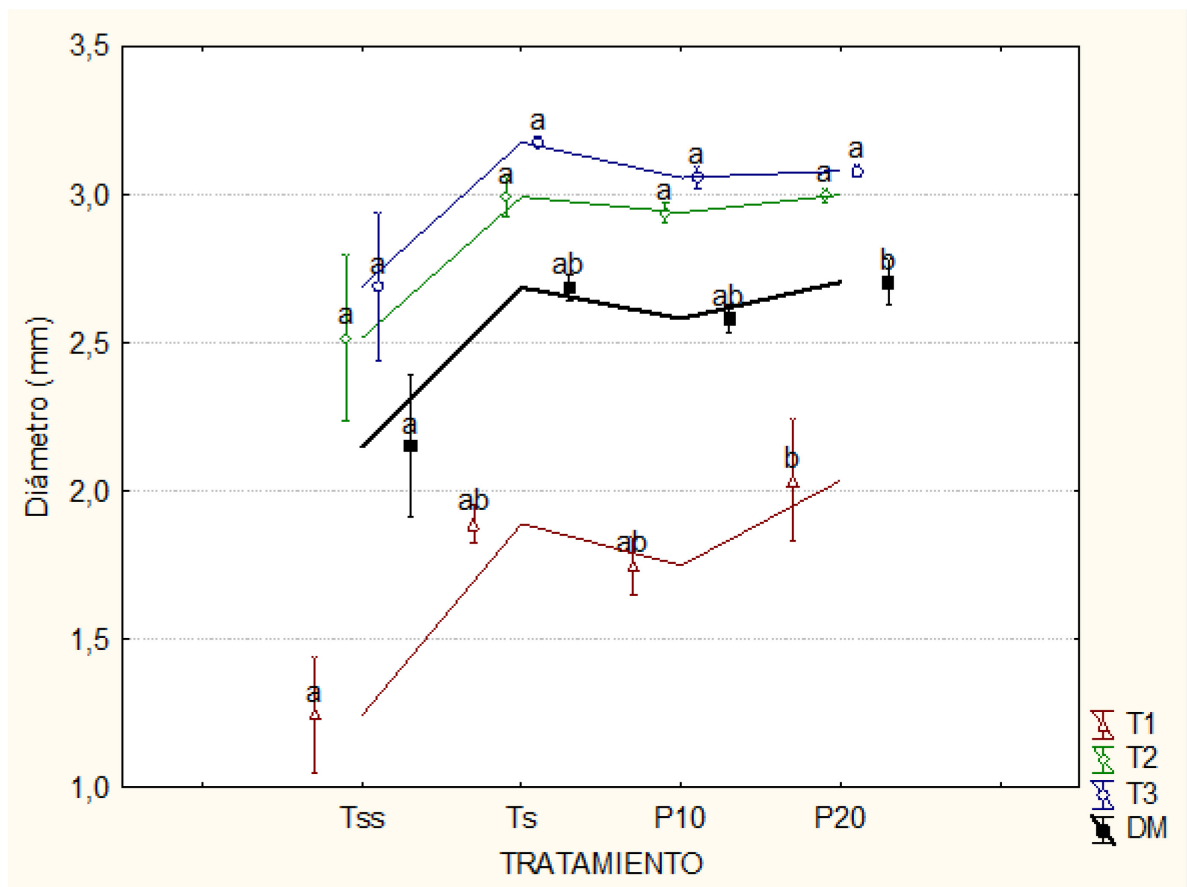


Figura 2: Estabilidad estructural DMP, (mm) y los tres pretratamientos que lo determinan T1: humectación rápida, T2 agitación mecánica y T3 humectación por capilaridad; según tratamiento aplicado: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamiento sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20). Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$)

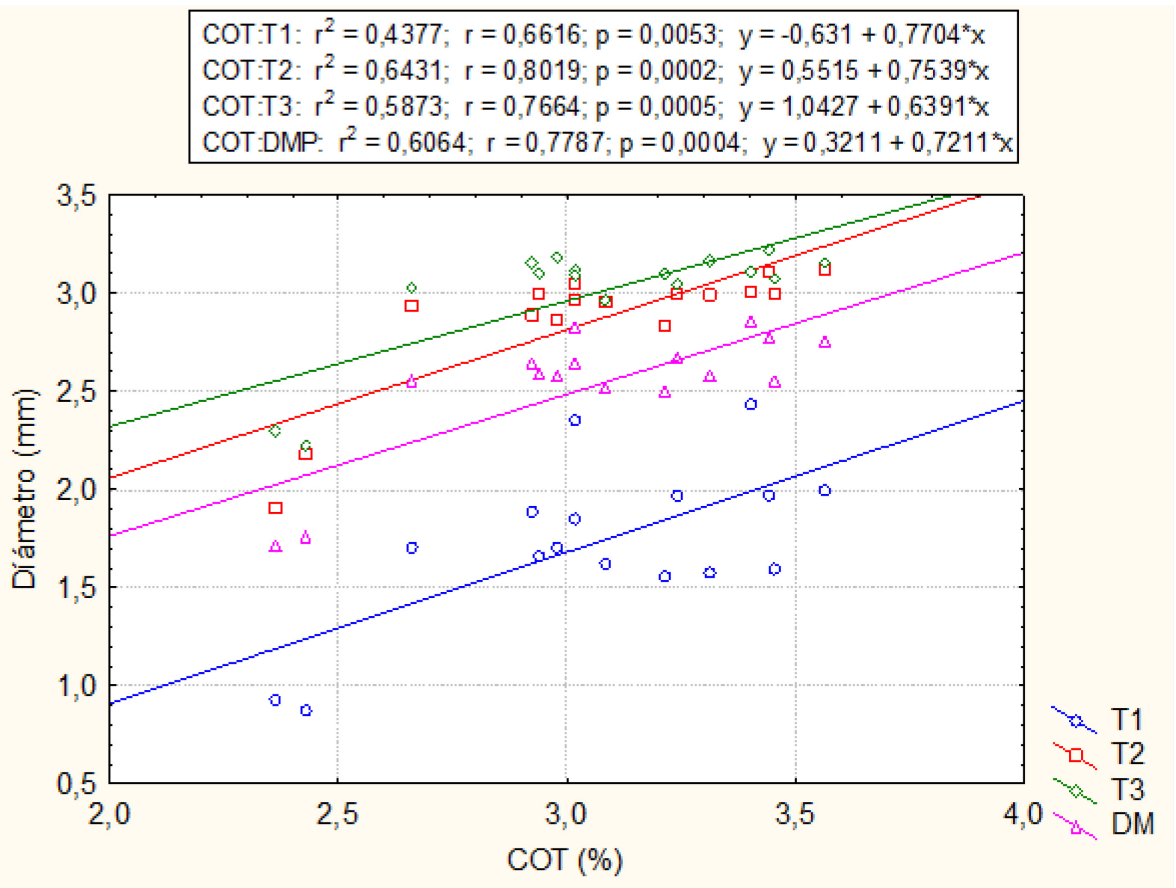


Figura 3: Relación entre estabilidad estructural DMP, (mm) con los tres pretratamientos que lo determinan T1: humectación rápida, T2 agitación mecánica, T3 humectación por capilaridad; y carbono orgánico total, COT (%) Cada función corresponde a un tratamiento aplicado: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamiento sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20).

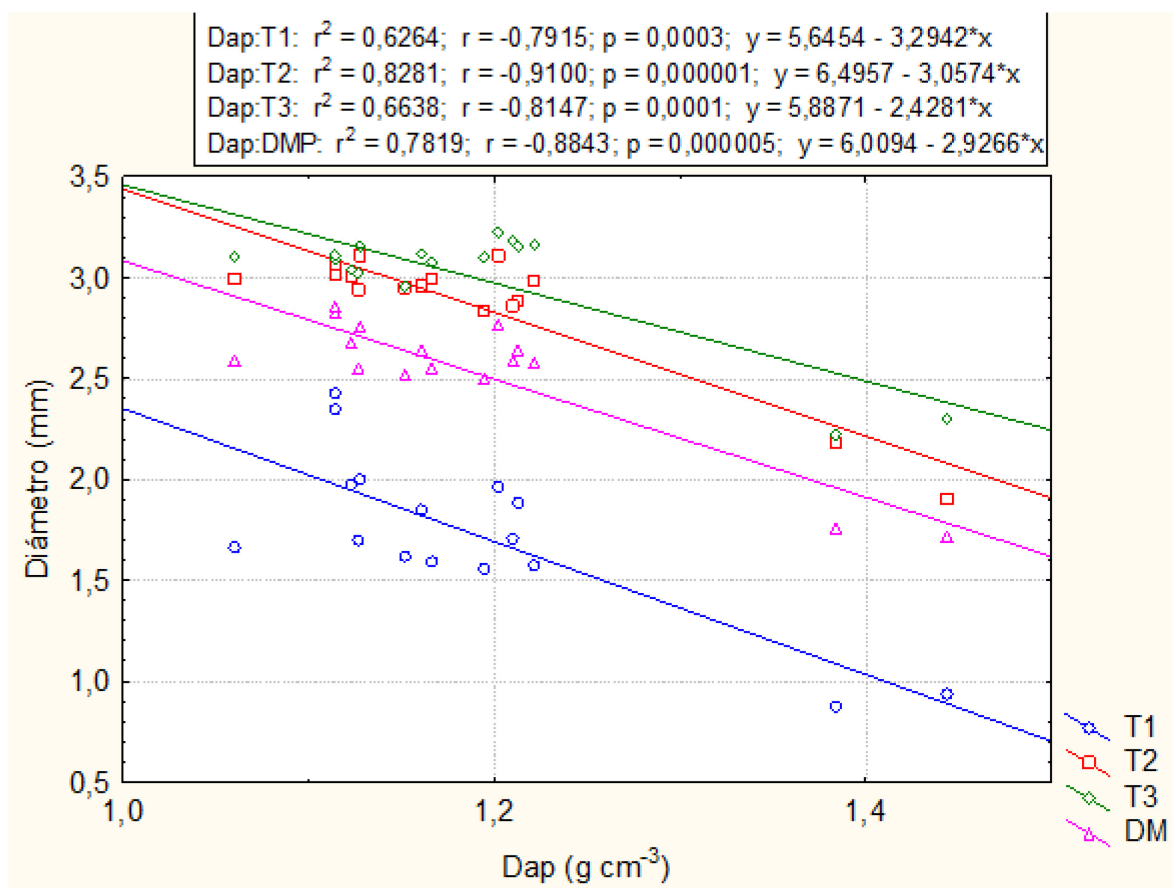


Figura 4: Relación entre estabilidad estructural DMP, (mm) con los tres pretratamientos que lo determinan T1: humectación rápida, T2 agitación mecánica, T3 humectación por capilaridad; y densidad aparente (Dap) Cada función corresponde a un tratamiento aplicado: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamiento sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20).

El stock de carbono no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 5) probablemente debido a la ausencia de diferencias en el contenido de COT, además la diferencia de densidades aparentes no llega a manifestarse en el stock.

Tabla 5: Stock de carbono ($t C ha^{-1}$) según tratamiento aplicado: Testigo sin sembrar (Tss), Testigo sembrado (Ts), tratamiento sembrado y pastoreado a 10 cm (P10) y a 20 cm (P20). Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$)

Tratamiento	Stock de C ($t ha^{-1}$)
Tss	37,1 a
Ts	38,7 a
P10	38,0 a
P20	34,3 a

CONCLUSIONES

En el periodo ensayado las diferentes alturas de pastoreo no se relacionan de manera positiva con el COT y la estabilidad estructural.

La siembra y el pastoreo produjeron disminución en la densidad aparente, sin afectar el contenido de carbono y su stock.

La estabilidad estructural se correlaciono en forma significativa con el COT y con la densidad aparente.

Los resultados pertenecen a un ensayo de corto plazo, esta temática debe ser estudiadas pasados los años, para ver el efecto a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amézketa, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. *Jour. of. Sustainable Agriculture* 14: 83-150.
2. Amezquita, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. p. 137 –152. En: *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
3. Arshad M.A. y Cohen A. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
4. Boersma, O. H.; Kooistra, M. J. 1994. Differences in soil structure of slit loam Typic Fluvaquents under various agricultural management practices. *Agric Ecosyst Environ* 51: 21-42.
5. Caron, J., Kay, B.D., Stone, J.A., 1992. Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Sci. Soc., Am. J.* 56, 1583–1590.
6. Cartas de suelos República Argentina - Provincia de Buenos Aires. 2023. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7837681>
7. Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
8. Derner, J. D., Boutton, T. W., & Briske, D. D. 2006. Grazing and ecosystem carbon storage in the North American Great Plains. *Plant and Soil*, 280, 77-90. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-2554-3>.
9. Estructura del Suelo. (2008). FAO. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm
10. Fang J Y, Y H Yang, W H Ma, A Mohammad, H Shen. 2010. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. *Science China-Life Sci.* 53:757-765.
11. FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta edición. Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia). Roma (Italia).
12. García, F. O., Berone, G. D., González-Pérez, M., & García-Sánchez, E. 2018. Evaluating the carbon stock in grasslands of the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 175, 156-162.

13. Haynes RJ, & Beare MH. 1996. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. In: Carter MR, Stewart BA (eds) *Advances in soil science. Structure and organic matter storage in agricultural soils*. CRC Press, Boca Raton, Fla., pp 213–262
14. Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. Elsevier.
15. Kay, BD. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Science* 12: 1-52.
16. Kladvko, EJ. 1994. Residue effects on soil physical properties. p. 123-141. *In: PW Unger (ed.) Managing agricultural residues*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
17. Lal, R; GF Wilson & BN Okigbo. 1979. Changes in Properties of an Alfisol Produced by various crop covers. *Soil Science* 127(6): 377-382.
18. Latif, MA; GR Mehuys, AF Mackenzie, I Alli & MA Faris. 1992. Effects of legumes on soil physical quality in a maize crop. *Plant Soil* 140: 15-23.
19. Lawrence, G.R. 1977. Measurements of pore sizes in fine-textures soils: A review of existing techniques. *J Soil Esc* 28: 527-540.
20. Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.*, 47,425-431
21. López-Fando, C., de Juan, J. A., San Miguel, A., & Álvarez, S. (2012). Efectos del pastoreo sobre la calidad del suelo en sistemas pastoriles mediterráneos. *Pastos*, 42(1), 21-39.
22. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS. (2015). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá D.C.: Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. 147 p.
23. Nasser Marzo, C. 2022. *Carbono orgánico: Aliados de nuestro suelo*. Consejo Regional de Conservación de Suelos, Rio Cuarto.
24. Norambuena V., Pablo, Luzio L., Walter, & Vera E, Wilfredo. (2002). Comparison between the pipette and bouyoucos methods and their relation with water retention in eight soils of the andean plateau, Parinacota Province, Chile. *Agricultura Técnica*, 62(1), 150-157. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100015> Paez, M. L., & Sentis, I. P. 1992. Evaluacion de la

- eficiencia de índices de erodabilidad en suelos agrícolas en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 42(1-2), 27-40.
25. SAMLA. 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina. Dirección de producción agrícola. Sistema de Apoyo Metodológico de Suelos, Agua, Vegetales y Enmiendas Orgánicas.
26. Piñeiro G, J M Paruelo, & M Oesterheld. 2006. Potential long-term impacts of livestock introduction on carbon and nitrogen cycling in grasslands of Southern South America. *Global Change Biol.* 12:1267-1284
27. PROMAR (Programa de métodos analíticos de referencia). 1991. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
28. StatSoft, Inc. 2005. STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com.
29. Tan, Z, R. Lal, L. Owens & R.C. Izaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil & Tillage Research* 92: 53-59
30. Tisdall, J. M. & Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
31. Van Miegroet, H., & Johnson, D. W. 2009. Feedbacks and synergism among biogeochemistry, basic ecology, and forest soil science. *Forest Ecology and Management*, 258(10), 2214-2223.
32. Villamil, MB; GA Bollero; RG Darmody; FW Simmons & DG Bullock. 2006. No-Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops: Effects on Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1936-1944.
33. Wilson, G; R Lal & B Okigbo. 1982. Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded alfisol. *Soil and Tillage Research* 2(3): 233-250.
34. Zhou Z, O Sun, J Huang, L Li, P Liu, X Han. 2007. Soil carbon and nitrogen stores and storage potential as affected by land-use in an agro-pastoral ecotone of northern China. *Biogeochemistry* 82:127–138.