

VARIABLES EDAFICAS EN RESPUESTA A DISTINTAS CARGAS ANIMALES SOBRE LA PROMOCIÓN DE ESPECIES INVERNALES EN UN ARGIACUOL

Natalia Elisabet Machetti^{1,*}; Andrea Edith Pellegrini¹; Federico E. Fernández¹; María Lorena Agnelli¹; Pablo Raúl Gelati¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata

RESUMEN

Existen contradicciones respecto al efecto del manejo ganadero sobre variables del suelo. Algunos antecedentes mencionan incrementos de carbono orgánico con efectos favorables sobre propiedades físicas, otros hacen referencia a aspectos negativos sobre las mismas. Se planteó como objetivo evaluar el impacto de diferentes cargas de pastoreo animal sobre propiedades físicas y físico-químicas de un suelo Argiacuol vértico con promoción de especies invernales en la Cuenca del Salado. Muestreos: mayo 2016 a la salida de los animales (M1) y octubre 2023 previo a la entrada (M2). Los tratamientos fueron: clausura desde 2011 (C), pastoreo con baja (BC) y alta carga animal (AC). Se muestreó a 0-15 cm para determinar textura, pH, carbono orgánico del suelo (COS), estabilidad estructural expresada como diámetro medio ponderado (DMP), densidad aparente (Dap) y stock de carbono (stock de C). Las variables se analizaron según momentos y tratamientos. El pH no presentó diferencias. El COS fue 22% mayor en M2 respecto a M1 y 46% mayor en BC y 35% en AC respecto a C. El DMP fue mayor en BC y AC respecto a C, 176% y 82% en M1; y 51% y 40% en M2, respectivamente. El DMP se correlacionó positiva y linealmente con COS ($r=0,89$, $P<0,01$) y con stock de C ($r=0,86$, $P<0,01$). Los lotes pastoreados, en M1 presentaron mayor Dap que M2, asociado al momento de muestreo. El stock de C fue mayor en BC y AC respecto a C en ambos momentos, se correlacionó positiva y linealmente con el COS ($r=0,68$, $P<0,01$), pero no con la Dap. El pastoreo animal respecto a áreas clausuradas produjo mejoras en las condiciones estructurales del suelo y el stock de C, asociados a incrementos de COS. La Dap solo se vio afectada por el pastoreo cuando fue evaluada posterior a la salida de los animales.

Palabras clave: carbono orgánico del suelo, estabilidad estructural, pastoreo bovino, Cuenca del Salado

EDAPHIC VARIABLES IN RESPONSE TO DIFFERENT STOCKING RATES ON A GRASSLAND WITH MANAGEMENT-PROMOTED WINTER GRASS SPECIES IN AN ARGIAQUOL

* Autor de contacto:
nataliaemachetti@gmail.com

Recibido:
22-12-23

Recibido con revisiones:
13-06-24

Aceptado:
20-06-24

ABSTRACT

There are contradictions regarding the effect of livestock management on soil variables. Some authors mention increases in organic carbon with favorable effects on physical properties, while others refer to negative impacts on them. The objective of this study was to evaluate the impact of different grazing animals stocking rates on physical and physicochemical properties of a Vertic Argiaquol soil with management-promoted winter species in the Salado Basin. The treatments included low (BC) and high stocking rates (AC), as well as an ungrazed control since 2011 (C). Soil samples were taken at 0-15 cm in May 2016 at the exit of the animals after grazing (M1) and in October 2023 prior to grazing (M2) to determine texture, pH, soil

organic carbon (COS), structural stability expressed as weighted mean diameter (DMP), bulk density (Dap) and carbon stock (CS). Soil variables were analyzed in relation to treatment (BC, AC, and C) and sampling time (M1 and M2). The pH was similar across treatments and sampling times. The COS was 22% higher in M2 compared to M1 and 46% and 35% higher in BC and AC, respectively, as compared to C. The DMP was higher both in BC and AC compared to C (176% and 82% in M1; and 51% and 40% in M2, respectively). The DMP was positively and linearly correlated with COS ($r=0.89$, $P<0.01$) and with CS ($r=0.86$, $P<0.01$). Grazed plots in M1 presented greater Dap than M2, associated with the sampling time. The CS was greater under BC and AC with respect to C at both sampling times, and it was positively and linearly correlated with the COS ($r=0.68$, $P<0.01$), but not with the Dap. Animal grazing improved soil structural conditions and CS, associated with increases in COS. The Dap was only affected immediately after grazing.

Keywords: soil organic carbon, structural stability, beef cattle grazing, Salado River Basin

INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Salado, que incluye casi la totalidad de las cuencas de los ríos Salado y Samborombón, abarca una extensión de aproximadamente 9 millones de hectáreas, correspondiente al 30% de la superficie total de la provincia de Buenos Aires (Némoz et al., 2013). Sus suelos presentan baja fertilidad y frecuentes inundaciones, por lo que se dificulta la implantación de pasturas y cultivos (Soriano et al., 1991). Cuando ingresó el modelo Revolución Verde a la región pampeana, la Cuenca del Salado fue considerada como un área de baja importancia, y su limitante para desarrollar la agricultura masivamente llevó a que continuaran los sistemas productivos ganaderos, principalmente bajo pastizales naturales y con baja utilización de insumos externos (Cieza, 2020).

En la también llamada depresión del Salado una de las estrategias implementadas para aumentar la producción primaria en invierno, es la promoción de especies invernales (Fernández et al., 2020; Rodríguez y Jacobo, 2010), las cuales son utilizadas mediante pastoreo directo por las categorías más jóvenes del ganado bovino. El pastoreo directo establece una serie de acciones físicas entre el animal y el ecosistema pastoril, que generan modificaciones en las características de la vegetación y del suelo (Denoia et al., 2020).

El impacto del pastoreo en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) es particularmente controvertido. Henderson et al. (2004) investigaron la respuesta del COS a la exclusión del pastoreo a largo plazo. Analizaron tratamientos con y sin pastoreo en 9 sitios y no observaron un efecto consistente del pastoreo sobre el COS. Wu et al. (2008), determinaron aumento del almacenamiento de COS en lotes con exclusión del pastoreo a largo plazo. En cambio, Gill (2007) evaluó la influencia de 90 años de exclusión respecto a sitios pastoreados y determinó que el pastoreo no tuvo un impacto significativo sobre el COS. Conant et al. (2001) concluyeron que los pastizales pueden actuar como un importante sumidero de COS si se implementa un manejo planificado.

Las razones que justifican los incrementos de COS bajo pastoreo tienen como eje el aporte vegetal. Jacobo et al. (2006) en establecimientos de la Cuenca del Salado hallaron que el pastoreo rotativo promovió grupos florísticos de alto valor forrajero y la reducción de suelo desnudo mediante la acumulación de broza. A su vez, debido a que la carga utilizada fue un 60% superior a la carga promedio de la región, concluyeron que es posible compatibilizar los objetivos productivos y la sustentabilidad de los pastizales mediante el pastoreo rotativo. El COS, formado por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición, interviene sobre la reacción del suelo (pH) (Martínez et al., 2008). La materia orgánica en descomposición produce iones de hidrógeno (H^+), los cuales son responsables de la acidez del suelo (Zhang, 2022). También, la acumulación de broza en superficie incrementa el COS y, como consecuencia, mejora la estabilidad estructural y la adsorción de nutrientes (Teague et al., 2011).

La estructura del suelo ejerce influencia sobre las condiciones edáficas. A menudo se expresa como el grado de estabilidad de los agregados. La agregación resulta del reordenamiento, floculación y cementación de partículas. Está mediada por el COS, la biota, los puentes iónicos, la arcilla y los carbonatos (Bronick y Lal, 2005). Al igual que con el COS, existen controversias acerca de los efectos del pastoreo sobre la estabilidad estructural del suelo (Taboada y Micucci, 2009; Amorin et al., 2020; Zhang et al., 2022).

En contraposición a los beneficios ambientales y edáficos, algunos autores mencionan al pisoteo animal durante el pastoreo como proceso generador de compactación superficial del suelo que afecta el hábitat de los microorganismos y la productividad de las pasturas (Medina et al., 2016). Al comparar suelos no

pastoreados con suelos pastoreados en forma continua, puede observarse que se producen aumentos significativos de densidad aparente (Dap) y resistencia a la penetración (Taboada, 2007). Se comprobó que las presiones ejercidas por los ovinos, cuando están parados, promedian 66 kPa y los vacunos 138 kPa. Estas presiones son equivalentes a las ejercidas por rodados de tractores no cargados (74 - 81 kPa), y las presiones de tracción (58 kPa) de vehículos arrastrados (Greenwood y Mc Kenzie, 2001). Debe considerarse que estas presiones aumentan durante el pastoreo, pues al caminar los animales sólo apoyan dos o tres de sus pezuñas y su impacto depende de las condiciones climáticas imperantes.

A partir de lo expuesto se plantea como hipótesis de este trabajo que el pastoreo animal en una promoción de especies invernales produce incremento de la estabilidad estructural y el stock de C, asociado a incremento de COS; y aumento de la Dap relacionado al pisoteo según la carga animal. Dichos incrementos son sensibles al momento de muestreo. Se planteó como objetivo evaluar el impacto de diferentes cargas de pastoreo animal sobre propiedades físicas y físico-químicas de un suelo Argiacuol vértico con promoción de especies invernales en la Cuenca del Salado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de ensayo y tratamientos

El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento El Amanecer, propiedad de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), ubicado en Vieytes, partido de Magdalena, provincia de Buenos Aires sobre ruta 36 km 105 (35° 15' 13,56" S y 57° 37' 48,02" O). El suelo sobre el que se realizó el ensayo es un Argiacuol vértico, se encuentra en una posición del relieve intermedio a bajo, que sufre de anegamientos temporarios y tiene permeabilidad lenta debido a la presencia de un alto porcentaje de arcillas expandibles en el horizonte B_t y su escasa pendiente (0,1%). La historia de los lotes sobre los que se realizaron las determinaciones se detallan en la Figura 1. En los periodos donde se realizó pastoreo continuo, los animales fueron ingresados a los lotes a mediados de mayo y retirados a fines de octubre (seis meses de descanso). El 1^{er} muestreo (M1) se realizó luego de retirados los animales en el año 2016 y el 2^{do} muestreo (M2) antes del ingreso de los animales en 2023. El tratamiento clausura se inició en el año 2011.

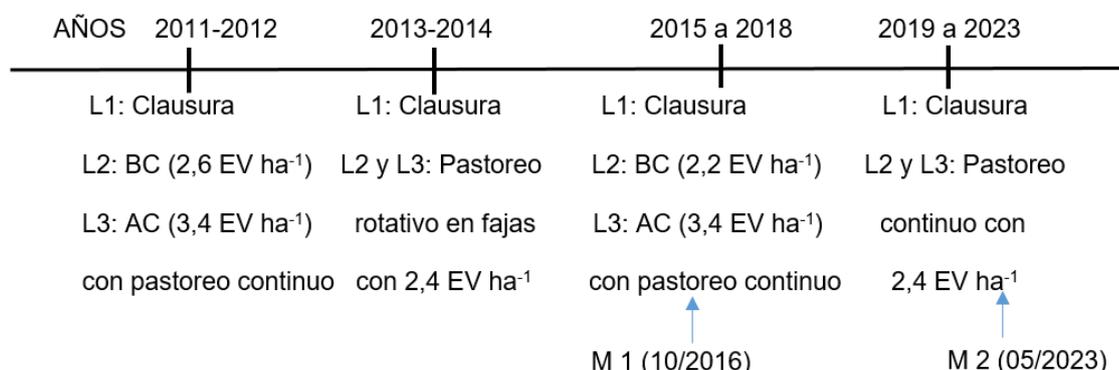


Figura 1: Historia de los lotes (L1, L2 y L3), según tratamientos: C= Clausura: lote con exclusión de pastoreo de bovinos, BC=baja carga animal bovina y AC=alta carga animal bovina, y momentos de muestreo: M1 = muestreo uno y M2 = muestreo dos. EV= equivalente vaca.

Figure 1: History of the fields (L1, L2 and L3), based on treatments: C= ungrazed control, BC= low stocking rate, and AC=high stocking rate, and sampling times (M1= sampling one and M2 = sampling two). EV= animal unit.

En todos los lotes se realizó promoción química anual de especies invernales. La cobertura vegetal de *Lolium multiflorum* (L) fue en promedio de 60 % y 40 % con *Bromus hordeaceus* (L), *Gaudinia fragilis* (L) P. Beauv. y *Bromus catharticus* (Vahl). La promoción química se realizó con herbicida de amplio espectro, Glifosato (N-fosfometilglicina, CAS 1071-83-6) 48% equivalente ácido, 2 L ha⁻¹. Se fertilizó con 80 kg ha⁻¹ año⁻¹ de urea anualmente en otoño-invierno.

Para caracterizar los lotes sobre los que se realizó el estudio se determinó la textura hasta 15 cm de profundidad por el método de la pipeta de Robinson (Gee y Bauder, 1986). Los tres lotes presentaron textura franco arcillo limosa (Tabla 1).

Tabla 1: Distribución de tamaño de partículas (DTP) según tratamiento. A = arena, L = limo y arc = arcilla.

Table 1: Particle size distribution (DTP) in response to treatment. A = sand, L = silt and arc = clay.

Tratamiento	DTP (%)		
	A	L	arc
Clausura	3,2	67,7	29,1
Baja carga	3,7	65,6	30,7
Alta carga	2,1	63,2	34,7

Determinaciones en el suelo.

En M1 y M2 se tomaron tres muestras de suelo, con barreno, compuestas por 15 sub-muestras por tratamiento de 0-15 cm de profundidad., Se evaluó el pH actual por vía potenciométrica, con una relación 1:2,5 de suelo: agua, (SAMLA, 2004) y COS por Walkley y Black micrométodo (SAMLA, 2004).

Para la determinación de la estabilidad estructural: se tomaron tres muestras sin disturbar de 0-15 cm de profundidad por tratamiento, luego se tamizaron entre 3 y 5 mm. La estabilidad estructural se expresó a través del diámetro medio ponderado (DMP) analizado por el método Le Bissonnais et al. (1996) pre-tratamiento humectación rápida (HR).

Para obtener la Dap el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986, en SAMLA, 2004). Se utilizó un cilindro de 8 cm de altura con un sombrero de 2 cm. Se descartaron 1-2 cm antes de hincar el cilindro. De esta forma se analizó el horizonte superficial de 3 a 13 cm (muestra representativa de los primeros 15 cm de profundidad). Se tomaron 10 muestras por tratamiento y se llevaron a estufa 105° hasta peso constante.

El cálculo del stock de carbono se realizó a partir del COS y de la Dap hasta los 15 cm superficiales.

Análisis estadístico.

Todos los resultados de las variables medidas fueron evaluados estadísticamente conforme al diseño utilizado (ANOVA) y cuando se encontraron diferencias significativas las medias se compararon a través de comparaciones múltiples (Tukey, $P < 0,01$). Las variables se analizaron según momento de muestreo y tratamientos (análisis factorial). Se realizó un análisis de correlación entre las variables edáficas estudiadas. Se utilizó el programa Infostat (2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EL pH no presentó interacción entre los factores y tampoco presentó diferencias significativas para momento de muestreo y tratamientos ($P > 0,05$) (Tabla 2). Este resultado coincide con Krutz et al. (2020), quienes compararon dos tratamientos con diferentes periodos de pastoreo y no hallaron diferencias entre los valores de pH. En cambio, Amorim et al. (2020) hallaron diferencias de pH entre suelos pastoreados y no pastoreados.

Tabla 2: pH según tratamiento y momento de muestreo (M1: muestreo uno y M2: muestreo dos). Letras iguales indican ausencia de diferencias mínimas significativas entre tratamientos según Test de Tukey ($P < 0,01$).

Table 2: Soil pH in response to treatment and sampling time (M1: sampling one and M2: sampling two). Equal letters indicate no significant differences among treatments according to Tukey's Test ($P < 0.01$).

Tratamiento	pH	
	M1	M2
Clausura	5,74 a	5,22 a
Baja carga	5,76 a	5,54 a
Alta carga	5,64 a	5,54 a

El COS no presentó interacción entre momentos de muestreo y tratamientos, pero sí presentó diferencias para cada uno de los factores. En M1 se observó un incremento del 22% respecto a M2 ($P < 0,01$) y, según los tratamientos, fue 46% mayor en BC y 35% en AC respecto a C ($P < 0,01$), sin presentar diferencias entre ambas cargas (Figura 2). El incremento del COS en M2 en los tres tratamientos se podría deber a que, como menciona Casal (2015), el uso de herbicida en una comunidad de pastizal de la Cuenca del Salado disminuiría la abundancia de especies dicotiledóneas de bajo valor forrajero en favor del aumento de las especies de mayor valor, como las gramíneas estivales. Estos cambios en la proporción de ambos grupos resultarían, a su vez, en una mayor productividad primaria neta, que representa el principal insumo de COS (Léfevre et al., 2017).

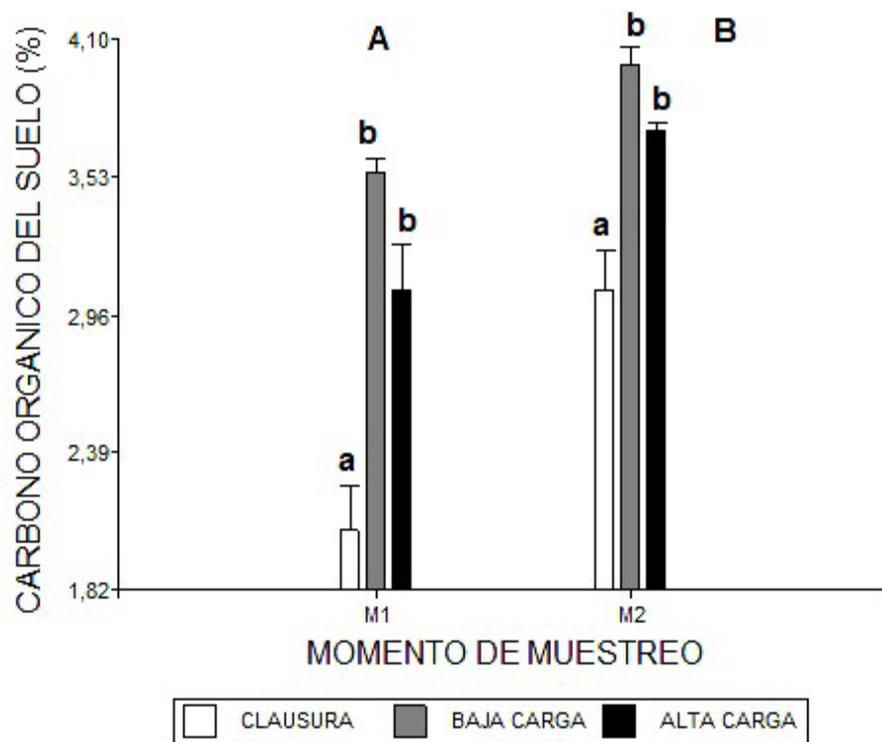


Figura 2: Carbono orgánico del suelo, según tratamiento: clausura, baja y alta carga animal determinado en M1 y M2. Letras mayúsculas diferentes indican diferencia significativa entre momentos de muestreo y minúsculas diferentes, entre tratamientos.

Figure 2: Soil organic carbon, in response to treatments (low and high stocking rates and ungrazed control) determined in M1 and M2. Different uppercase letters indicate significant differences between sampling moments and different lowercase letters show significant differences among treatments.

El incremento del COS en áreas pastoreadas respecto a la clausura fue también reportado por López Mársico et al. (2016), quienes hallaron que el pastoreo tuvo efecto positivo sobre la productividad primaria neta subterránea de un pastizal templado del Uruguay, lo que explicaría, en parte, la dinámica de secuestro de C en el suelo, un servicio ecosistémico particularmente valorado en los pastizales. Los mismos autores (López Mársico et al., 2024), hallaron que en pastizales del Río de La Plata la exclusión del pastoreo tuvo un efecto neutral sobre la tasa de rotación de la biomasa subterránea en los primeros 3 años, luego los efectos son principalmente negativos. Esto podría explicarse debido a que en los lotes con exclusiones ganaderas se acumula biomasa muerta en pie, lo que reduce la cobertura de plantas vivas y podría explicar la marcada diferencia en la tasa de rotación de la biomasa subterránea entre los sitios pastoreados y excluidos.

Algunos autores registraron mayor biomasa aérea y subterránea en sitios pastoreados que ayudarían a explicar las diferencias en COS obtenidas. Kurtz et al. (2016) cuantificaron masa aérea y hallaron que el pastoreo aumenta la materia verde, y el pisoteo incorpora la biomasa aérea al suelo. Derner et al. (2006) observaron que en sitios pastoreados se produce un mayor contenido de raíces finas que aumentan el contenido de COS en el suelo. Según Haynes y Williams (1993) mayores aportes de materia orgánica en suelos bajo pastoreo son atribuibles a la mayor renovación de raíces y aporte de hojarasca.

La estabilidad estructural expresada como DMP, presentó interacción entre los factores ($P < 0,01$) (Figura 3). Los tratamientos BC y AC presentaron mayor DMP que C, 176% y 80% en M1, y 51% y 38,6% en M2, respectivamente. En M1, BC presentó mayor DMP que AC. En coincidencia con este trabajo en M1, Zhang et al. (2022) hallaron que el pastoreo con baja carga aumentó la estabilidad de los agregados en comparación con la alta carga. Amorim et al. (2020) compararon cuatro prácticas diferentes de pastoreo y exclusión y no encontraron diferencias en la estabilidad estructural y Dap. En M2 no hubo diferencia de DMP entre BC y AC, esto se debería a que a partir de 2019 el tratamiento BC y AC comenzaron a tener la misma carga ($2,4 \text{ EV ha}^{-1}$) (Figura 3).

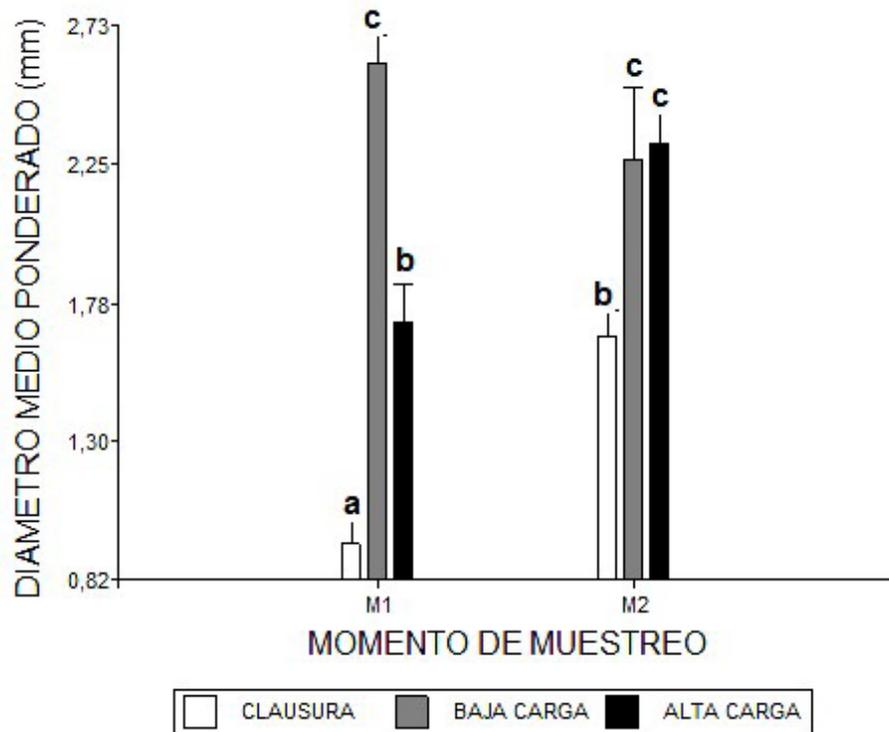


Figura 3: Estabilidad estructural según tratamiento aplicado: clausura, baja y alta carga animal determinada en M1 y M2. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa para la interacción entre factores ($P < 0,01$).

Figure 3: Structural stability in response to treatments (low and high stocking rates and ungrazed control) determined in M1 and M2. Different lowercase letters indicate a significant difference for the interaction between factors ($P < 0,01$).

Los resultados de DMP se atribuirían principalmente al COS, ya que se correlacionaron positivamente ($r=0,89$, $p<0,01$) (Figura 4). Al igual que en este trabajo, Milne y Haynes (2004), hallaron correlación positiva entre el COS y el DMP ($r = 0,68$, $p<0,05$). Rubio et al. (2019) con el pre-tratamiento de humectación rápida también hallaron correlación entre estas dos variables ($r = 0,41$, $p<0,05$).

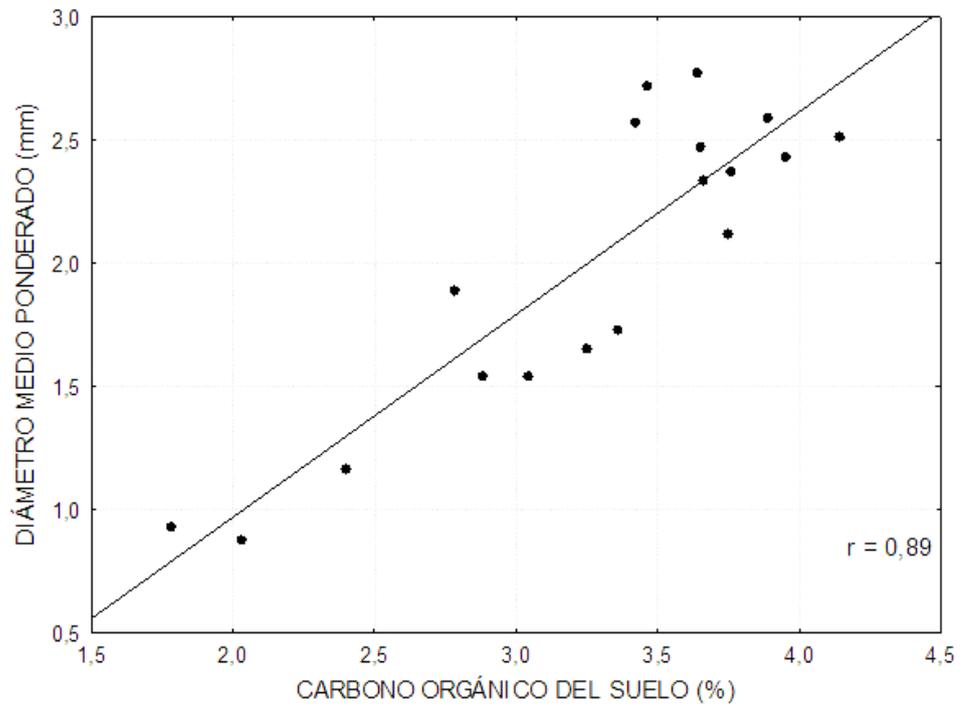


Figura 4: Correlación entre estabilidad estructural y el carbono orgánico del suelo.

Figure 4: Correlation between structural stability and soil organic carbon.

Respecto a la Dap, se observó interacción entre los factores ($P<0,01$). En M1 se obtuvo incremento de la Dap en AC respecto a C, mientras que en M2 no presentó diferencias entre tratamientos (Figura 5).

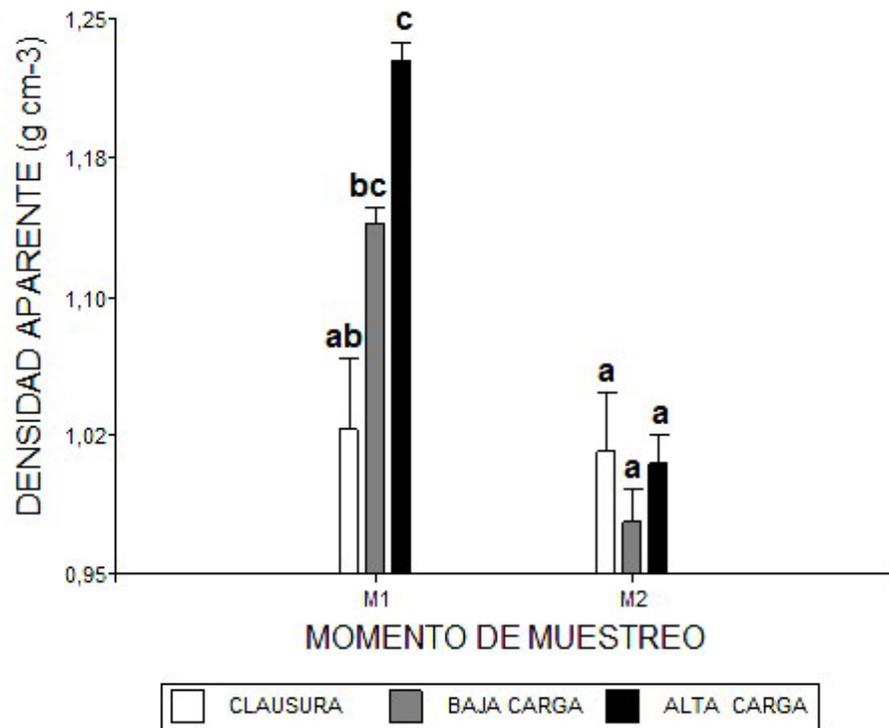


Figura 5: Densidad aparente según tratamiento aplicado: clausura, baja y alta carga animal, determinada en M1 y M2. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa para la interacción entre factores ($P < 0,01$).

Figure 5: Apparent density in response to treatment (low and high stocking rates and ungrazed control) determined in M1 and M2. Different lowercase letters indicate a significant difference for the interaction between factors ($P < 0,01$).

Los resultados de Dap en M1 coinciden con Altesor et al. (2005) y Piñeiro et al. (2010) quienes hallaron que la Dap fue inferior en parcelas testigo excluidas de pastoreo respecto a pastoreadas. Borges et al. (2001), al analizar el efecto del pisoteo vacuno en tres profundidades de suelo, observaron que éste afectó la Dap y la porosidad total en la capa superficial. En un Argiudol, Martínez et al. (2010) encontraron incremento de la Dap de 0-10 cm en alta carga respecto a la clausura al igual que en este trabajo, pero además encontraron diferencias entre las cargas, resultado que no fue observado en este trabajo.

En M2 la Dap no presentó diferencias entre tratamientos. Sato et al. (2019) compararon lotes pastoreados con lotes con exclusión de pastoreo durante 1-2 años y no hallaron diferencias en la Dap al igual que en este trabajo. Por otra parte, se observó que en BC y AC la Dap fue menor que en M1 (Figura 5). Debido a que la Dap en la clausura no se diferenció entre M1 y M2, la disminución de los valores en las áreas pastoreadas en M2 respecto a M1 se atribuiría al momento de muestreo, ya que en M1 fue inmediatamente posterior a la salida de los animales y en M2 al final del periodo de descanso. La ausencia de los efectos de las cargas sobre la Dap en M2 se debería a que los daños suelen ser de corta duración en suelos donde ciclos de humedecimiento-secado promueven la recuperación de la porosidad dañada por el pisoteo (Taboada, 2007). Taboada (1999) halló que el pastoreo continuo 0,5-0,7 cabeza ha⁻¹ año⁻¹ generó compactación superficial moderada cuando el suelo se secó en verano y el daño se regeneró cuando el suelo se rehumedeció y encharcó en otoño por procesos de expansión-contracción.

El stock de carbono presentó interacción entre años y tratamientos ($P < 0,01$). En los dos momentos de muestreo se observó mayor valor en los tratamientos BC y AC respecto a C, sin diferencias entre las cargas (Figura 6). Respecto a C, en M2 el stock fue mayor que en M1, asociado a mayor concentración de COS (Figura 2). El stock de C se correlacionó positivamente con el DMP ($r = 0,86$, $P < 0,01$) (Figura 7) y el COS ($r = 0,68$, $P < 0,01$), pero no se correlacionó con la Dap ($r = 0,12$, $P = 0,5$). El cambio del COS y del stock en el suelo suele estar estrechamente asociado a las variaciones en la producción de raíces, como resultado de los cambios en el manejo del pastoreo (Chen et al., 2015).

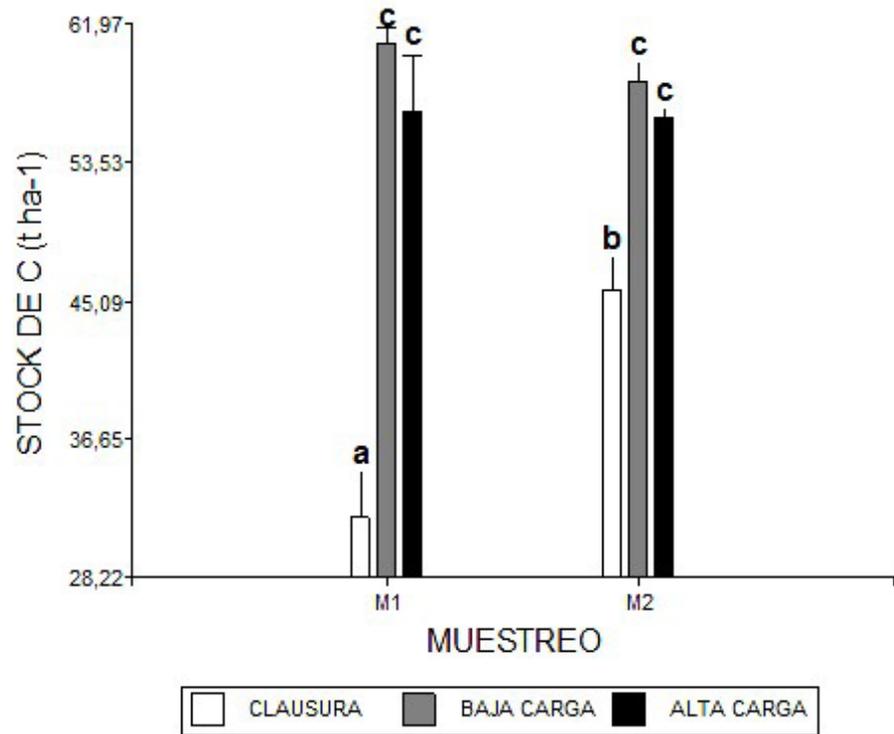


Figura 6: Stock de carbono según tratamiento aplicado: clausura, baja y alta carga animal determinado en M1 y M2. Letras minúsculas diferentes indican diferencia significativa para la interacción entre factores ($P < 0,01$).

Figure 6: Carbon stock in response to treatments (low and high stocking rate and ungrazed control) determined in M1 and M2. Different lowercase letters indicate significant difference for the interaction between factors ($P < 0,01$).

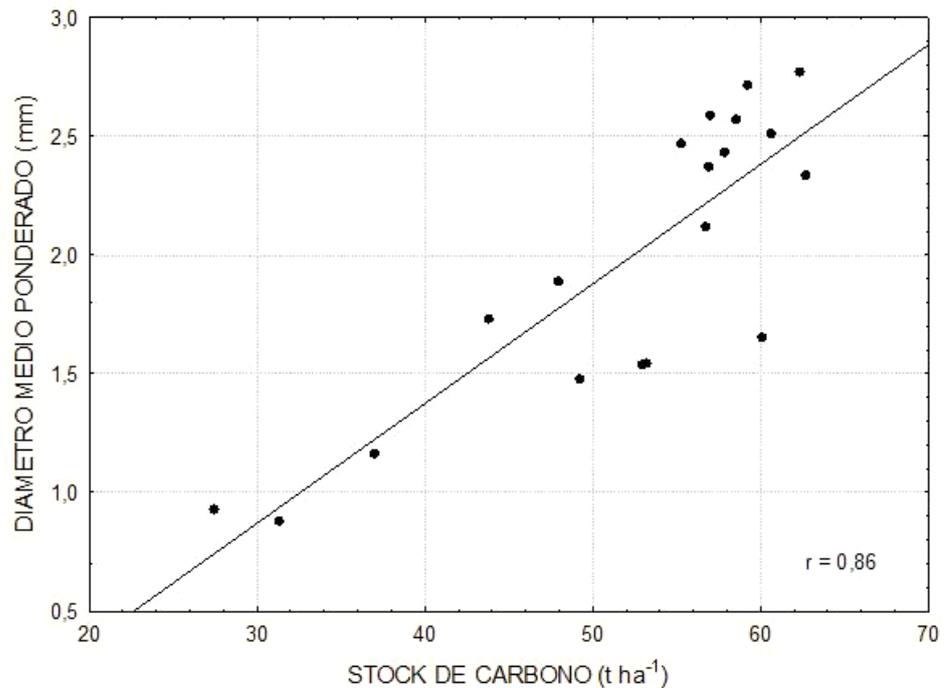


Figura 7: Correlación entre diámetro medio ponderado y stock de carbono.
 Figure 7: Correlation between weighted average diameter and carbon stock.

CONCLUSIONES

Según los objetivos de este trabajo se concluye que en un suelo Argiacuol vértico con promoción de especies invernales en la Cuenca del Salado el pastoreo animal respecto a áreas clausuradas produjo mejoras en las condiciones estructurales del suelo y el stock de C, asociados a incrementos de COS y afectados por el momento de muestreo. Los cambios del COS no afectaron al pH. La Dap, independientemente de la carga animal, sólo se vio afectada por el pastoreo cuando fue evaluada posterior a la salida de los animales de los lotes evaluados. El manejo del pastoreo con alta carga animal se comportó de la misma forma que con baja carga animal. De esta situación surge la importancia de realizar un diagnóstico para cada situación edafoclimática y así ajustar un manejo que permita mayor intensificación del pastoreo sin degradar los recursos edáficos.

REFERENCIAS

- Altesor, A., Piñeiro, G., Lezama, F., Rodríguez, C., Leoni, E., Baeza, S. y Paruelo, J. M. (2005). El efecto del pastoreo sobre la estructura y el funcionamiento de las praderas naturales uruguayas ¿Qué sabemos y cómo podemos usar ese conocimiento para manejarlas mejor? Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. Serie Técnica de INIA, 151. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2896/1/15630021107142110.pdf#page=20>
- Amorim, H. C., Ashworth, A. J., Moore Jr, P. A., Wienhold, B. J., Savin, M. C., Owens, P. R., Jagadamma, S., Carvalho, T. y Xu, S. (2020). Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107060. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107060>
- Borges, C. G., Machado, A. L. T., Levien, R. y Trein, C. R. (2001). Compactação do solo pelo pisoteio de gado: efeito do preparo de solo anterior. *Salão de Iniciação Científica (13.: 2001: Porto Alegre). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2001.*
- Bronick, C. J. y Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Casal, A. V. (2015). *Alternativas para aumentar la producción de forraje en pastizales naturales de la Pampa Deprimida* (Doctoral dissertation, Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires). <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5980>
- Chen, W., Huang, D., Liu, N., Zhang, Y., Badgery, W. B., Wang, X., y Shen, Y. (2015). Improved grazing management may increase soil carbon sequestration in temperate steppe. *Scientific Reports*, 510892, 1-13. <https://doi.org/10.1038/srep10892>
- Cieza, R. I. (2022). Transformaciones productivas en la cuenca del Salado y persistencia de la ganadería familiar (1999-2019). *Ciencias Agronómicas*, (36), e008-e008. <https://doi.org/10.35305/agro36.295>
- Conant, R. T., Paustian, K., y Elliott, E. T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11(2), 343-355. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0343:GMACIG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0343:GMACIG]2.0.CO;2)
- Denoia, J., Sosa, O., Zerpa, G., y Martín, B. (2000). Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos*, 30(1), 129-141. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1278/1282>
- Dermer, J. D., Boutton, T. W., y 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>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. R. C. W., & Robledo, C. W. (2020). InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fernández, F. E., Harisgarat, J. M., Rodríguez, G. A., Fernández, J. M., Sarandón, P. J., y Agnelli, M. L. (2020) Efecto de la carga animal en la calidad de semillas de *Lolium multiflorum* en una promoción química. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 40 Supl. 1: 39;- 170
- Gee, G. W., y Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5, 383-411. Soil Science Society of America, Madison, USA.
- Greenwood, K. L., y McKenzie, B. M. (2001). Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(8), 1231-1250. <https://doi.org/10.1071/EA00102>
- Haynes, R. J., y Williams, P. H. (1993). Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49, 119-199. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60794-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4)
- Gill, R. A. (2007). Influence of 90 years of protection from grazing on plant and soil processes in the subalpine of the Wasatch Plateau, USA. *Rangeland Ecology & Management*, 60(1), 88-98. <https://doi.org/10.2111/05-236R2.1>
- Jacobo, E. J., Rodríguez, A. M., Bartoloni, N., y Deregibus, V. A. (2006). Rotational grazing effects on rangeland vegetation at a farm scale. *Rangeland Ecology & Management*, 59(3), 249-257. <https://doi.org/10.2111/05-129R1.1>
- Kurtz, D. B., Asch, F., Giese, M., Hülsebusch, C., Goldfarb, M. C., y Casco, J. F. (2016). High impact grazing as a management tool to optimize biomass growth in northern Argentinean grassland. *Ecological Indicators*, 63, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2015.10.065>

- Kurtz, D., Rey Montoya, S., Ybarra, D., Grancic, C., y Sanabria, C. (2020). Impacto del pastoreo en propiedades físico-químicas de un Psammacuent en pastizales del noreste argentino. *Revista Argentina de Producción Animal*, 40(2), 1-13. <https://www.crea.org.ar/wp-content/uploads/2021/10/2020-PP-Kurtz-Ditmar-y-otros.pdf>
- Henderson, D. C., Ellert, B. H., y Naeth, M. A. (2004). Grazing and soil carbon along a gradient of Alberta rangelands. *Journal of Range Management*, 57(4), 402-410. [https://doi.org/10.2111/1551-5028\(2004\)057\[0402:GASCAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0402:GASCAA]2.0.CO;2)
- Lavado, R. S., Sierra, J. O., y Hashimoto, P. N. (1996). Impact of grazing on soil nutrients in a Pampean grassland. *Journal of Range Management Archives*, 49(5), 452-457. <http://dx.doi.org/10.2307/4002929>
- Le Bissonnais, Y. L. (1996). Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47(4), 425-437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x>
- Lefèvre, C., Rekik, F., Alcántara, V., y Wiese, L. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstreams/dd89d4e1-97b7-40ec-860d-00b566bbe569/download>
- López Mársico, L., Oyarzabal, M., Altesor, A., y Paruelo, J. M. (2016). Effect of grazing on below-ground net primary productivity of a temperate grassland. *Ecología Austral*, 26(03), 256-263. http://hdl.handle.net/20.500.12110/ecologiaaustral_v026_n03_p256
- López Mársico, L., Oyarzabal, M., Altesor, A., y Paruelo, J. M. (2024). Grazing exclusion reduces below-ground biomass of temperate subhumid grasslands of South America: A meta-analysis and a database. *Austral Ecology*. 49(1), e13304. <https://doi.org/10.1111/aec.13304>
- Martínez, E., Fuentes, J. P., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Martínez, D. A., Landini, A. M., Sosa, E., Heredia, O. S., y Sainato, C. M. (2010). Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades de un suelo. Parte I: densidad aparente, humedad, resistencia a la penetración, y modelos asociados. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 27(1), 5-14. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/3901>
- Medina, C. (2016). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. *Remediaciones. Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 8(1), 88-93. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/download/229/270>
- Milne, R. M., y Haynes, R. J. (2004). Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures. *Biology and Fertility of Soils*, 39, 172-178. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0698-y>
- Némóz, J. P., Giancola, S. I., Bruno, M. S., De La Vega, M. B., Calvo, S. C., y Di Giano, S. (2013). *Causas que afectan la adopción de tecnología en la ganadería bovina para carne en la cuenca del Salado, provincia de Buenos Aires: enfoque cualitativo*. Ediciones INTA. Estudios socioeconómicos de la adopción de tecnología n° 5, 62 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/12439>
- Piñeiro, G., Paruelo, J. M., Oesterheld, M., y Jobbágy, E. G. (2010). Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. *Rangeland Ecology & Management*, 63(1), 109-119. <https://doi.org/10.2111/08-255.1>
- Rodríguez, A. M., y Jacobo, E. J. (2010). Glyphosate effects on floristic composition and species diversity in the Flooding Pampa grassland (Argentina). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(3-4), 222-231. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.05.003>
- Rubio, V., Pérez Bidegain, M., Beretta, A., Barolin, E., y Quincke, A. (2019). Impacto de propiedades físico-químicas en la estabilidad estructural de Molisoles. *Ciencia del Suelo*, 37(2), 367-371. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672019000200014&lng=es&tling=en
- SAMLA. 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina. Dirección de Producción Agrícola. Sistema de apoyo metodológico a los laboratorios de análisis de suelos agua, vegetales y enmiendas orgánicas. Buenos Aires, Argentina. 120 pp.
- Sato, C. F., Strong, C. L., Holliday, P., Florance, D., Pierson, J., y Lindenmayer, D. B. (2019). Environmental and grazing management drivers of soil condition. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 276, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.003>
- Soriano, A., 1991. Río de la Plata grasslands. In: Coupland, R.T. (Ed.), *Ecosystems of the World*, vol. 8A. Elsevier, Amsterdam, pp. 367-407
- Taboada, M. A., Lavado, R. S., Svartz, H., y Segat, A. M. (1999). Structural stability changes in a grazed grassland natraquoll of the Flooding Pampa (Argentina). *Wetlands*, 19, 50-55. <https://doi.org/10.1007/BF03161732>
- Taboada, M. A., y Micucci, S. N. (2009). Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del Suelo*, 27(2), 147-157. https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_27n2/Taboada%20-%20Micucci.pdf
- Taboada, M. A. (2007). Cambios en el suelo, asociados al tránsito y pisoteo de la hacienda. *Facultad de Agronomía, UBA, Argentina*. https://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/51-cambios_en_suelo.pdf
- Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., y Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(3-4), 310-322. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009>
- Wu, L., He, N., Wang, Y., y Han, X. (2008). Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil after grazing exclusion in *Leymus chinensis* grasslands of northern China. *Journal of Environmental Quality*, 37(2), 663-668. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0196>
- Zhang, H. (2022). Causa y efectos de la acidez del suelo. *Oklahoma Cooperative Extension Service*. <https://extension.okstate.edu/factsheets/causa-y-efectos-de-la-acidez-del-suelo.html>

Zhang, X., Zhang, W., Sai, X., Chun, F., Li, X., Lu, X., y Wang, H. (2022). Grazing altered soil aggregates, nutrients and enzyme activities in a *Stipa kirschnii* steppe of Inner Mongolia. *Soil and Tillage Research*, 219, 105327. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105327>