

## LOTES-NOCHEROS Y ENCALADO: UNA ALTERNATIVA PARA RECUPERAR UN ARGUJODOL DEGRADADO DE SANTA FE

MARÍA JOSEFINA MASOLA<sup>1-2\*</sup>; MARÍA EUGENIA CARRIZO<sup>1</sup>;  
CARLOS AGUSTÍN ALESSO<sup>1</sup>; SILVIA DEL CARMEN IMHOFF<sup>1-2</sup>

Recibido: 10/4/2018

Recibido con revisiones: 21/3/2019

Aceptado: 21/3/2019

### RESUMEN

El objetivo fue analizar el efecto del lote-nochero y la aplicación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sobre las propiedades edáficas de un Argiudol ácuico degradado. Se evaluaron a campo tres tratamientos: a) lote-nochero (N), b) lote-nochero+aplicación de  $\text{CaCO}_3$  (NC) y c) testigo sin enmiendas (T). El pH en NC aumentó comparado con T y N. La CIC y P se incrementaron en N y NC respecto de T. Sólo la CIC aumentó en NC respecto de N. El  $\text{Ca}^{++}$  se incrementó en NC respecto de T y N. No se detectaron respuestas en COT, COP y CE. El IHO fue más estrecho en T.

**Palabras clave:** Carbonato de calcio, materia orgánica, estabilidad de agregados, intervalo hídrico óptimo.

## PLOTS-NIGHTTIME AND LIMING: AN ALTERNATIVE TO RECOVER A DEGRADED ARGUJODOLL OF SANTA FE

### ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effect of the use of plots-nighttime and liming on soil properties in a degraded Aquic Argiudoll. In a field experiment three treatments were established: a) plots-nighttime (N), b) plots-nighttime+liming (NC) and c) control without amendments (T). The pH in NC increased compared to T and N. The CIC and P increased in N and NC respect to T. CIC increased in NC respect to N.  $\text{Ca}^{++}$  increased in NC respect to T and N. No differences were detected in TOC, COP and CE. The IHO was narrower in T.

**Key words:** Calcium carbonate, Organic matter, Aggregates stability, Least limiting water range.

### INTRODUCCIÓN

Los suelos destinados a la producción agropecuaria en Argentina y especialmente, en el centro de Santa Fe, presentan niveles variables de degradación química y física (Carrizo *et al.*, 2011). La reutilización de residuos orgánicos propios de cada sistema productivo es una alternativa para disminuir la degradación del suelo.

En la cuenca lechera santafesina es común el encierre de los animales para el suministro de alimentos concentrados y forrajes. Originalmente esta práctica se realizaba durante la noche, por lo que se denominó lote-nochero. Aunque en la actualidad también durante parte del día, por un

período de tiempo prolongado (Micheloud *et al.*, 2001). Actualmente, como resultado de la intensificación de los sistemas lecheros, el tamaño del lote-nochero se ha reducido e incrementado la carga animal, la cantidad de alimento suministrado y el tiempo de permanencia de los animales. Esto conduce a una mayor acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos sobre la superficie del suelo, lo que requiere implementar un sistema rotativo que favorezca el ciclado de nutrientes y evite la propagación de enfermedades. Diferentes estudios realizados en esta región han demostrado que la implementación de esta práctica modifica las propiedades químicas del suelo, especialmente el contenido de materia orgánica y la concen-

1 Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral.

2 CONICET.

\* Autor de contacto: [josefinamasola@gmail.com](mailto:josefinamasola@gmail.com)

tracción de nutrientes (Micheloud *et al.*, 2001). Otros estudios documentaron que el pH del suelo disminuye como consecuencia de la elevada concentración de deyecciones de los animales. Es por esto que la corrección del pH de estos suelos mediante la adición de enmiendas calcáreas y/o magnésicas es necesaria para alcanzar valores de pH próximos a la neutralidad (Gambaudo, 2003).

Aunque existe información sobre el impacto del uso de lote-nochero sobre las propiedades químicas del suelo, aún no se ha cuantificado el efecto de esta práctica sobre las propiedades físicas ni los efectos del uso de lote-nochero y enmiendas calcáreas en forma conjunta. Se hipotetiza que el uso de lote-nochero y de lote-nochero con la aplicación de carbonato de calcio contribuirán a recuperar las propiedades químicas y físicas de suelos degradados, siendo ese efecto mayor cuando se combinan ambas prácticas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del uso de lote-nochero y la aplicación de carbonato de calcio sobre propiedades químicas y físicas en un suelo Argiudol ácuico del centro de Santa Fe.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un establecimiento lechero de la localidad de Sa Pereira, Santa Fe (Argentina) (31°37` S y 61°21` O), sobre un Argiudol ácuico serie Pilar de textura franco limosa (25,5% de arcilla, 72% de limo y 2,5% de arena).

Se delimitaron parcelas de 500 x 50 m y se aplicaron los siguientes tratamientos en un diseño en bloques completamente aleatorizado con dos repeticiones: a) testigo sin enmiendas (T), b) lote-nochero (N) y c) lote-nochero + aplicación de carbonato de calcio (NC). En N y NC las parcelas se utilizaron como lote-nochero en forma rotativa durante 30 días con una carga animal de 360 cabezas ha<sup>-1</sup>, lo que representó un aporte de material de 20 Mg ha<sup>-1</sup>. A la salida de los animales los residuos se distribuyeron con un rabasto y se incorporaron en los primeros 10 cm del suelo con un disco. En NC, junto con los residuos se incorporaron 1850 kg ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>). La composición química de los residuos fue: carbono orgánico 21,8%; nitrógeno total 1,72%; fósforo total 3800 mg kg<sup>-1</sup>; pH 8,2; con-

ductividad eléctrica 2,4 dS m<sup>-1</sup>; calcio, magnesio, sodio y potasio total 9453, 4958, 964 y 8240 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Luego de seis meses de la aplicación de los tratamientos se extrajeron muestras de suelo para determinaciones físicas y químicas. Las determinaciones químicas se realizaron en muestras de suelo compuestas de 25 submuestras obtenidas al azar de los primeros 20 cm. En cada muestra se determinó carbono orgánico total (COT); carbono orgánico particulado (COP) de acuerdo a Irizar *et al.* (2010); fósforo extractable (P); pH actual (relación 1:2,5); conductividad eléctrica (CE) (relación 1:4); capacidad de intercambio catiónico (CIC) y calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio intercambiable (K) según SAMLA (2004).

La estabilidad de los agregados fue evaluada según el método de Le Bissonnais (1996) en agregados extraídos de 0-20 cm. Los agregados retenidos fueron secados y tamizados para obtener el diámetro medio ponderado (DMP).

Se estimaron las curvas de retención hídrica (CRH) y de resistencia a la penetración (CRP) a partir de muestras de suelo no perturbadas del horizonte superficial (7-12 cm) con cilindros de 5 x 5 cm (N = 48, 8 por repetición). Las muestras se saturaron con agua y se equilibraron a diferentes potenciales mátricos ( $\psi$ ): -0,001, -0,003, -0,006, -0,008 y -0,01 MPa en mesa de tensión y -0,03, -0,1, -0,4 en ollas de baja y alta presión. Se utilizaron muestras con estructura deformada en  $\psi = -1,5$  MPa. Una vez equilibradas, las muestras se pesaron y se midió resistencia a la penetración (RP) con penetrómetro electrónico, excepto en las muestras deformadas. Finalmente las muestras se secaron en estufa a 105°C y se cuantificó el contenido gravimétrico de agua (W) y la densidad aparente del suelo (Da). Para las muestras no perturbadas el contenido volumétrico de agua ( $\theta$ ) a cada potencial se calculó a partir de W y Da.

La CRH se obtuvo ajustando a los datos el modelo  $\theta = \alpha \Psi^b$ ; donde  $\theta$  es el contenido de agua (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) y  $\alpha$  y b son parámetros estimados. La relación funcional entre RP,  $\theta$  y Da se obtuvo ajustando a los datos el modelo no lineal:  $RP = a \theta^b Da^c$  donde a, b y c son parámetros de ajuste. El intervalo hídrico óptimo (IHO) se construyó a par-

tir de las CRH y de CRP según Silva *et al.* (1994) y Pilatti *et al.* (2012).

Los datos fueron analizados con el programa estadístico R. Para cuantificar el efecto de las enmiendas se evaluaron los siguientes contrastes: 1) N vs T, 2) NC vs T, y 3) NC vs N. Los niveles de significancia de los contrastes fueron ajustados por el método de Holm-Bonferroni. Los coeficientes de los modelos de CRH y CRP se estimaron mediante mínimos cuadrados no lineales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos N y NC no tuvieron efecto en los contenidos de COT y COP (**Tabla 1**). Según Tan *et al.* (2007) la dinámica del COT es poco sensible a los efectos de las prácticas en el corto plazo, lo que concuerda con los resultados obtenidos. N' Dayegamiye & Cote (1989) observaron aumentos de COT luego de la aplicación de enmiendas sólidas de vacunos (20, 40 y 60 Mg ha<sup>-1</sup>) en un ensayo de larga duración. En cambio, el COP es una variable

**Tabla 1.** Medias de tratamiento, diferencias estimadas y valores p de los contrastes evaluados de diferentes propiedades edáficas de un suelo Argiudol ácuico.

**Table 1.** Treatments means, estimated differences and p values for evaluated contrasts of different edaphic properties of an Aquic Argiudol soil.

Propiedades edáficas	Valores medios			Contrastes		
	T	N	NC	N vs T	NC vs T	NC vs N
COT (g kg <sup>-1</sup> )	3,21	3,43	3,53	0,23 (0,909)	0,10 (0,909)	0,33 (0,909)
COP (g kg <sup>-1</sup> )	0,32	0,51	0,49	0,19 (0,732)	0,17 (0,732)	-0,02 (0,876)
pH actual	5,9	6	6,5	0,11 (0,318)	0,61 (0,051)*	0,50 (0,051)*
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,3	0,14	0,15	0,01 (0,268)	0,02 (0,200)	0,01 (0,345)
P disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	11,9	33,8	45,2	21,6 (0,092)*	33 (0,078)*	11,4 (0,234)
Bases intercambiables (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )						
Calcio	6,91	7,23	8,28	0,36 (0,102)	1,37 (0,024)**	1,02 (0,029)**
Magnesio	1,63	1,58	1,5	-0,05 (1,000)	-0,13 (0,993)	-0,08 (1,000)
Sodio	0,4	0,65	0,65	0,25 (0,769)	0,25 (0,769)	0,00 (1,000)
Potasio	1,14	1,30	1,31	0,16 (0,326)	0,17 (0,326)	0,01 (0,941)
CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	12,6	14,3	14,7	1,7 (0,009)**	2,1 (0,008)**	0,5 (0,053)*
Estabilidad de agregados (DMP, mm)						
RH	0,52	0,96	1,25	0,45 (0,544)	0,73 (0,400)	0,28 (0,544)
RM	1,21	1,50	1,85	0,28 (1,000)	0,63 (1,000)	0,35 (1,000)
LH	1,57	1,55	2,47	-0,03 (0,974)	0,90 (0,821)	0,93 (0,821)

T = testigo; N = lote-nochero; NC = lote nochero+aplicación de carbonato de calcio. COT = Carbono orgánico total; COP = Carbono orgánico particulado; CE = Conductividad eléctrica; P disponible = Fósforo disponible; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; RH = Rápido humedecimiento; RM = Ruptura mecánica; LH = Lento humedecimiento. Valores entre paréntesis representan el valor-p de cada contraste. \* y \*\*: indican diferencias significativas  $\alpha=0,1$  y  $\alpha=0,05$  respectivamente.

sensible a modificaciones en el manejo en el corto plazo. Estudios con dosis superiores a las aplicadas en este experimento demuestran el efecto de distintas enmiendas orgánicas sobre el COP (Mi et al., 2016). La ausencia de efectos significativos en este estudio puede atribuirse a la cantidad de enmienda aplicada y al escaso tiempo transcurrido desde el momento de aplicación.

El uso de  $\text{CaCO}_3$  incrementó 10 y 8% el pH actual respecto de T y de N (Tabla 1). Similares resultados fueron reportados por Whalen et al. (2000) luego de la aplicación de enmiendas de vacunos. Estos autores atribuyeron el aumento de pH al Ca adicionado en las dietas de los animales.

No se detectaron diferencias en la CE en los contrastes evaluados (Tabla 1). La variabilidad de los resultados reportados en la bibliografía (Chang et al. 1990; Clark et al. 1998) sugieren que el efecto de la enmienda sobre la CE depende de su composición química.

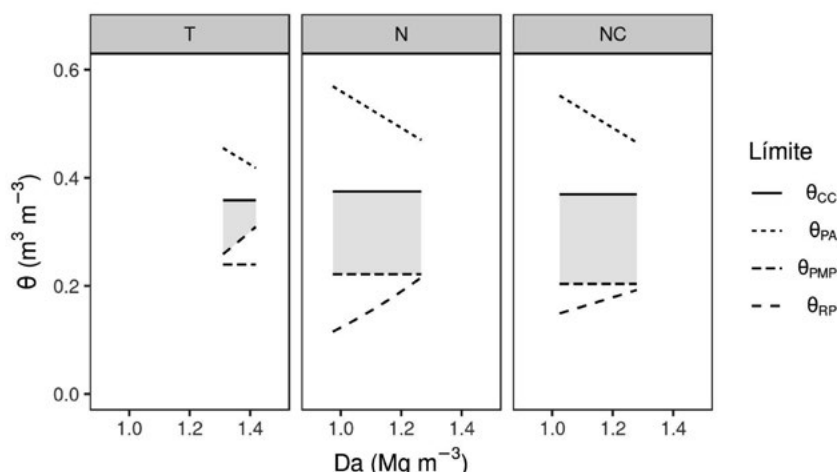
Los tratamientos N y NC presentaron valores promedio de P disponible 3 y 4 veces superiores a T (Tabla 1). Resultados de otros estudios (Whalen et al., 2000) demuestran aumentos en la concentración de P luego de la aplicación de enmiendas. No obstante, en este estudio las diferencias entre NC y N no fueron significativas debido a la variabilidad de esta propiedad (CV: 18,75 y 12,54%).

Se observó un incremento de Ca intercambiable del 14% y 17% de NC respecto de N y T (Tabla 1). En cambio N no presentó diferencias respecto de T. Las concentraciones de Mg, Na y K no difirieron entre los contrastes planteados.

Los tratamientos N y NC incrementaron la CIC, en promedio 1,7 y 2,1  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  respecto de T y el tratamiento NC incrementó la CIC en 0,5  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  respecto de N (Tabla 1). Estos resultados sugieren que la materia orgánica aportada fue la principal responsable del aumento en el corto plazo de la CIC, a pesar de que no fue posible detectar diferencias en el COT y COP. Similares resultados fueron reportados por N'Dayegamiye & Cote (1989) luego de repetidas aplicaciones de enmiendas orgánicas.

Ensayos de larga duración muestran que la aplicación de enmiendas orgánicas se relacionan con el aumento de la resistencia de los agregados y su estabilidad (Celik et al., 2010). No obstante, en este estudio la duración del experimento fue insuficiente para observar los efectos de cada enmienda sobre el DMP (Tabla 1).

La amplitud máxima del IHO fue de 0,04, 0,11 y 0,12  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$  para T, N y NC respectivamente (Figura 1). En todos los tratamientos  $\theta_{cc}$  determina el límite superior del IHO. En cambio, la aplicación de enmiendas modificó el límite inferior. En T, la RP limitó la cantidad de agua aprovecha-



**Figura 1.** Variación del contenido de agua del suelo ( $\theta$ ) en función de la densidad aparente ( $D_a$ ) en los límites críticos de capacidad de campo ( $\theta_{cc} = -0,03 \text{ MPa}$ ), punto de marchitez permanente ( $\theta_{PMP} = -1,5 \text{ MPa}$ ), porosidad de aireación=10% ( $\theta_{PA}$ ) y resistencia a la penetración del suelo ( $\theta_{RP}=2 \text{ MPa}$ ). T = testigo; N = lote-nochero; NC = lote nochero+aplicación de carbonato de calcio. El área gris representa el IHO para cada tratamiento.

**Figure 1.** Variation of soil water content ( $\theta$ ) as a function of bulk density ( $D_a$ ) at the critical limits of field capacity ( $\theta_{cc} = -0,03 \text{ MPa}$ ), permanent wilting point ( $\theta_{PMP} = -1,5 \text{ MPa}$ ), aeration porosity = 10% ( $\theta_{PA}$ ) and resistance to soil penetration ( $\theta_{RP} = 2 \text{ MPa}$ ). T: control without amendments; N: plots-nighttime and NC: plots-nighttime+liming. Gray area is IHO of the different treatments.

ble por las plantas aún con valores de  $\theta > \theta_{PMP}$  (**Figura 1**). Por el contrario, en N y NC el crecimiento de las raíces no sería afectado por la RP y el cultivo podría aprovechar la totalidad del agua disponible ya que el límite inferior está determinado por  $\theta_{PMP}$  (**Figura 1**). En este trabajo se verificó que las enmiendas disminuyeron  $\theta_{RP}$  al reducir los valores de  $D_a$  con respecto al T. La disminución de la amplitud en el T respecto de N y NC implicaría un aumento de la probabilidad de que el cultivo sufra estrés por elevada resistencia mecánica del suelo durante períodos de escasez de lluvia.

Los valores de densidad crítica ( $D_c$ ) ( $D_c$ , aquella en la que el  $IHO=0$ ) fueron 1,64; 1,49 y 1,46  $Mg\ m^{-3}$  para el tratamiento NC, N y T, respectivamente. El valor de  $D_c$  en T fue similar al determinado por Pilatti *et al.* (2012) en suelos similares. Valores de  $D_a$  iguales o mayores a la  $D_c$  indican una degradación estructural severa del suelo.

## CONCLUSIONES

El uso de lotes-nocheros y la aplicación de carbonato de calcio mejoran en el corto plazo (meses) algunas propiedades químicas y físicas del suelo. El efecto combinado de estas prácticas incrementaron los valores de pH, Ca, CIC, y la amplitud del IHO, respecto del nochero y testigo. El P aumentó en NC y N respecto de T. El escaso tiempo transcurrido desde la aplicación de las enmiendas o las dosis utilizadas no permitieron detectar diferencias en el resto de las propiedades edáficas. Se requieren estudios de largo plazo y con mayores dosis de enmiendas para verificar la evolución de los efectos en el tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Carrizo, ME; M Pilatti; CA Alesso & S Imhoff. 2011. Atributos químicos de suelos Argiudoles cultivados y no cultivados del departamento Las Colonias (Santa Fe). *Ci. Suelo* 29 (2): 173-179.
- Celik, I; H Gunal; M Budak & C Akpınar. 2010. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. *Geoderma* 160: 236-243.
- Chang, C; T Sommerfeldt & T Entz. 1990. Rates of soil chemical changes with eleven annual applications of cattle feedlot manure. *Can. J. Soil Sci.* 70: 673-681.
- Clark, M; W Horwat; C Shenan & K Scow. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agron. J.* 90: 662-671.
- Gambaudo, S. 2003. La acidez del suelo en la Región Pampeana. En: H Nielson & R Surudiansky (eds.). *Fertilizantes y enmiendas de origen mineral*. Vol. 1. 2da edn. Pp. 193-216.
- Irizar, A; A Andriulo; D Cosentino & C Améndola. 2010. Comparación de dos métodos de fraccionamiento físico de la materia orgánica del suelo. *Ci. Suelo* 28:115-121.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Micheloud, H; S Gambaudo & O Zen. 2001. Recuperación de suelos degradados mediante el manejo de rodeo lechero. *Informaciones Agronómicas Cono Sur*: 7-9.
- Mi, W; L Wu; PC Brookes; Y Liu; X Zhang & X Yang. 2016. Changes in soil organic carbon fractions under integrated management systems in a low-productivity paddy soil given different organic amendments and chemical fertilizers. *Soil Till. Res.* 163: 64-70.
- N'Dayegamiye, A & D Cote. 1989. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Can. J. Soil Sci.* 69: 39-47.
- Pilatti, M; J De Orellana; S Imhoff & AP Silva. 2012. Actualización de los límites críticos del interval hídrico óptimo. *Ci. Suelo* 30 (1): 9-21.
- SAMLA. 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). CD-room. ISBN 987-9184-40-8.
- Silva, AP; B Kay & E Perfect. 1994. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1775-1781.
- Tan, Z; R Lal; L Owens & RC Insaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 92 (1-2): 53-59.
- Whalen, J; C Chang; G Clayton & J Carefoot. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 962-966.