



IMPACTOS EDÁFICOS DE LA AGRICULTURIZACIÓN EN CAMPOS BAJOS DE LA DEPRESIÓN DEL SALADO.

Garello, F.J.^{1*}, E.M. Melani², D.J. Cosentino³, M.A. Taboada⁴.

¹ Becario doctoral INTA/CONICET, ayudante *ad-honorem* cátedra de Edafología FAUBA, AER INTA Chascomús, *Mitre 202, 7130 Chascomús (BA) – fedegarello89@gmail.com

² EEA INTA Cuenca del Salado, AER Chascomús.

³ Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

⁴ Instituto de Suelos, INTA. CONICET

RESUMEN: La Depresión del Salado es una región ganadera que en los últimos 15 años presentó un aumento de la agricultura. Este trabajo, investigó el impacto de esta nueva actividad en suelos afectados por problemas de hidro-halomorfismo ("campos bajos"). Se realizaron muestreos en lotes de productores bajo diferentes manejos para determinar los niveles de carbono orgánico, la densidad aparente, la conductividad eléctrica, el pH y la estabilidad de agregados. Los contenidos de carbono orgánico fueron un 45% menor en lotes bajo monocultivo de soja, pero no variaron cuando se rotaron diversas especies anuales o anuales y perennes. La densidad aparente se incrementó solo superficialmente en la rotación monocultivo. Mientras que el pH y la CE no mostraron cambios en relación a la secuencia de cultivos. Por su parte, la estabilidad de los agregados se redujo significativamente asociado con las caídas del contenido de carbono de los suelos y a los mayores pH y CE de los lotes analizados. Teniendo en cuenta estos resultados, la agricultura es posible en estos ambientes, siempre y cuando sean rotados adecuadamente o combinados con pasturas. Como es esperable, el mayor deterioro se observa con monocultivo de soja. Los resultados obtenidos no difieren mayormente de lo que sucede en otros suelos con aptitud agrícola de la región pampeana.

PALABRAS CLAVE: Densidad aparente, estabilidad de agregados, pH.

INTRODUCCION

En Argentina, la frontera agrícola mostró un avance exponencial a partir del 2005 en ambientes con capacidad de uso IV y VI ws, tal como los de la Depresión del Salado (MINAGRI, 2018). En esta región, el 25% de los cultivos anuales se realizan en suelos con anegabilidad frecuente y que presentan elevados contenidos de Na⁺ en profundidad (Vázquez et al., 2011).

Los cambios asociados a éste avance, impactan en parámetros físicos como la estabilidad de agregados (EA) y la densidad aparente (Dap) así como en parámetros químicos como el carbono orgánico del suelo (COS), el pH y la salinidad (CE). La dirección y magnitud de éstos efectos, generados por la secuencia de cultivos, se asocian a las especies que se cultivan, ya que difieren en el sistema radical (Gardner et al. 1999) y en el volumen de biomasa producida. La EA caracteriza la capacidad del suelo de mantener su estructura frente a un estrés externo (Cosentino y Chenu, 2008). En este sentido, el principal agente agregante de los Molisoles de la Región Pampeana es el COS (Novelli et al., 2013), el cual se incrementa con el empleo de cultivos de gramíneas en secuencias agrícolas y de pasturas en secuencias agrícolas/ganaderas (Castiglioni et al., 2013). Este componente del suelo, además, puede impactar en la Dap. Diversos estudios concluyen que las rotaciones que más COS incorporan al suelo, reducen o mantienen bajos los valores de Dap (Bullock, 1992; Dexter et al., 2001). El halomorfismo edáfico, caracterizado por el pH y la CE está influenciado por las

interacciones entre cationes y aniones presentes en el perfil (Tavakkoli et al., 2015), los que impactan de diferentes maneras en el crecimiento y desarrollo vegetal por los efectos físico-químicos provocados (Bernstein, 1975).

La hipótesis de este trabajo es que los suelos de “campos bajos”, bajo agricultura presentan mayor vulnerabilidad y susceptibilidad a la degradación. Para testear esta hipótesis, se analizaron los impactos de diferentes secuencias de cultivos en los contenidos de COS e indicadores físicos de suelos en diferentes puntos de la Depresión Salado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Depresión del Salado y consistió en un muestreo de lotes de campos de productores nucleados en Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria (CREA) cuyos suelos corresponden a los grupos Natracuales y Natrudoles (INTA, 1977).

Las muestras de suelos se extrajeron durante el 2018 y 2019 en la post-cosecha del cultivo estival. Se evaluaron 13 sitios en 3 establecimientos ubicados en las localidades de Chascomús, Labardén y Maipú, bajo cuatro diferentes secuencias de cultivos:

- a) Pastizal Natural (PN; n = 3): lotes de pastizales naturales poco intervenidos que los productores utilizan para pastoreo directo con ganado bovino.
- b) Agrícola/Ganadera (A/G; n = 5): lotes que son manejados bajo una secuencia que alterna 4 años de pasturas perennes seguido de 4 a 6 años de cultivos de cosecha.
- c) Agrícola (A; n = 4): lotes que presentan una rotación típica Maíz-Soja-Trigo/Soja.
- d) Monocultivo (M; n = 1): 8 de los últimos 10 años se realizó soja.

Cada lote corresponde a una unidad experimental y presenta, al menos, 10 años de las secuencias previamente mencionadas.

Muestras de suelo:

Para cada sitio de muestreo se extrajeron: *i*) muestras disturbadas en las profundidades de 0-0,05, 0,05-0,2, 0,2-0,4 y 0,4-0,6 m. Éstas fueron secadas en estufa a 30 °C, molidas y tamizadas a 2 mm, y posteriormente se les determinó: a) COS con auto-analizador de combustión completa (LECO, Corporation, St MI, USA), b) pH actual 1:2,5 y c) CE 1:1 en dS m⁻¹, *ii*) seis muestras no disturbadas para determinar Dap por el método del cilindro en las profundidades 0-0,05, 0,05-0,2, 0,2-0,4 y 0,4-0,6 m y *iii*) tres muestras no disturbadas para realizar estabilidad de agregados en las profundidades 0-0,05 y 0,05-0,2 m a través del método de Le Bissonnais (2016), los valores de Diámetro Medio Ponderado (DMP) analizados, corresponden al valor promedio de los tres pre-tratamientos que se realizan en dicha metodología.

Análisis estadístico:

El diseño experimental empleado fue de Bloques Incompletos, en el que cada campo corresponde a un Bloque, mientras que los lotes representaron las unidades de muestreo. Los resultados fueron analizados a través de un ANOVA. Se efectuaron análisis de regresión para evaluar el grado de vinculación entre las variables medidas, se realizaron modelos de regresión lineal múltiple seleccionando los modelos que mejor ajustaban de acuerdo al criterio propuesto por Akaike (AIC) (Akaike, 1973), dichos análisis se realizaron utilizando los supuestos de los Modelos Lineales Mixtos, considerando el factor fijo “Secuencia” y el factor aleatorio “Empresa”. Para dichos análisis se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2018).

RESULTADOS Y DISCUSION

Carbono orgánico del suelo

El COS no mostró cambios significativos entre secuencias a nivel superficial. La secuencia M se diferenció de las demás a partir de la capa 0,05-0,2 m, presentando valores inferiores al resto. Cada profundidad analizada presentó diferentes contenidos de COS en función de las diferentes rotaciones. A nivel superficial el orden fue PN > A/G > A > M, en la capa 0,05-0,2 el orden fue A/G > A > PN > M, mientras que de 0,2-0,4 m y de 0,4-0,6 m los contenidos fueron en orden A > A/G > PN > M (Tabla 1), evidenciando una mayor estratificación superficial del COS en la secuencia PN.

En los tratamientos PN, A/G y A, se esperaría un mayor volumen de raíces superficial como consecuencia de la presencia de gramíneas en la rotación (Lynch, 1995; Ansin et al., 1998), las cuales son una fuente de carbono para los microorganismos edáficos (Bronick y Lal, 2005) Esto contribuiría a diferenciar desde la capa 0,05-0,2 m el contenido de COS respecto a M. Si bien en la capa 0-0,05 m se observan diferencias absolutas de elevada magnitud entre rotaciones, la ausencia de diferencias significativas podría deberse a la variabilidad de los valores hallados en PN y M.

Tabla 1. Contenido de COS (expresados en g kg⁻¹) para las profundidades 0-0,05, 0,05-0,2, 0,2-0,4 y 0,4-0,6 m para cada una de las rotaciones analizadas.

| Profundidad (m) | Rotación ^a | | | |
|-----------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | PN | A/G | A | M |
| 0 - 0.05 | 34,63 ± 6,33 a [†] | 34,22 ± 2,62 a | 27,76 ± 0,40 a | 24,95 ± 5,86 a |
| 0.05 - 0.2 | 19,43 ± 3,68 a | 21,89 ± 3,82 a | 19,81 ± 3,77 a | 9,22 ± 4,90 b |
| 0.2 - 0.4 | 6,82 ± 2,16 ab | 9,12 ± 1,73 a | 10,82 ± 2,10 a | 3,71 ± 2,04 b |
| 0.4 - 0.6 | 3,49 ± 0,63 b | 4,37 ± 0,64 a | 4,73 ± 0,83 a | 2,47 ± 0,71 c |

^a PN: Pastizal Natural, A/G: Agrícola/Ganadera, A: Agrícola, M: Monocultivo

[†] Letras diferentes en la misma profundidad indican diferencias significativas entre rotaciones ($\alpha < 0,05$).

Conductividad eléctrica y pH.

No se encontraron variaciones significativas en el pH o la CE al comparar entre Secuencias dentro de cada profundidad muestreada. En las rotaciones PN y M, el pH alcanzó niveles de alcalinidad elevada a los 0,6 m, pero no de salinidad; en la secuencia A/G los valores de pH entre profundidades fue menos marcado que las secuencias PN y M, mientras que no se encontraron diferencias de CE. Por otro lado, la rotación A, mostró valores similares entre profundidades en ambas variables evaluadas (Figura 1).

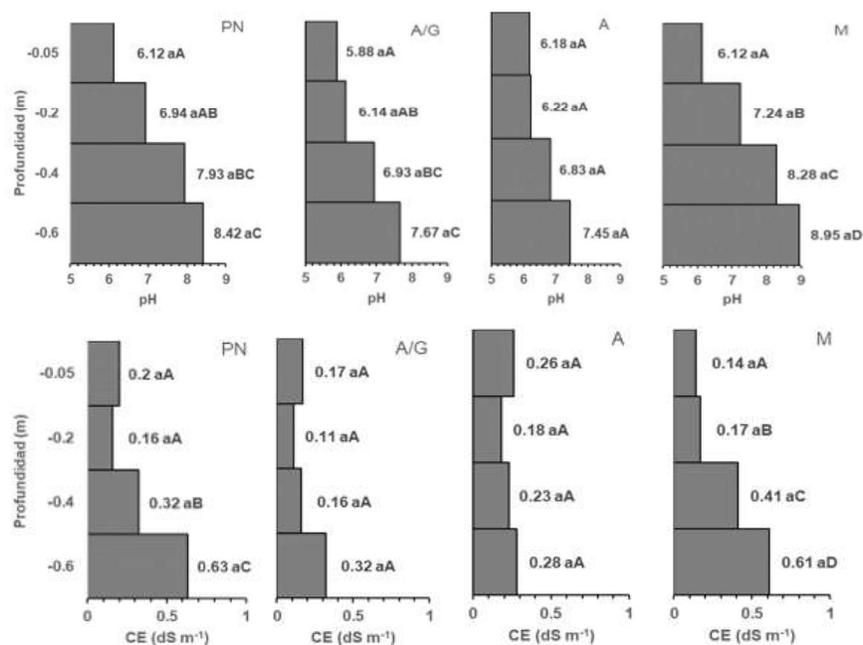


Figura 1. Variación del pH y la CE del suelo con la profundidad en lotes bajo diferentes rotaciones. PN: Pastizal Natural, A/G: Agrícola/Ganadera, A: Agricultura, M: Monocultivo de soja. Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre rotaciones para una misma profundidad. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre profundidades dentro de una misma rotación ($p = 0,05$).

Los rangos de pH y CE encontrados, coinciden por los hallados por Lavado y Taboada (1988) para estos suelos, dentro de la media loma en la topo-secuencia. Estos autores, reportaron que las variaciones en la CE se asocian a la profundidad de la napa freática y a períodos de excesos hídricos, la cual, durante las inundaciones, presenta elevadas concentraciones de Cl^- y SO_4^{2-} .

Densidad aparente

La Dap presentó variaciones asociadas a las rotaciones solo en las capas 0-0,05 ($p = 0,028$) y 0,05-0,2 m ($p = 0,006$; Tabla 2). En el estrato 0-0,05 m el orden fue $M > A > A/G > PN$, mientras que en el estrato 0,05-0,2 m el orden fue $M > A > PN > A/G$. Los valores de Dap se redujeron 0,0046 ($p = 0,022$) y 0,0092 ($p = 0,0008$) Mg m^{-3} por cada 1 g kg^{-1} que se incrementó el COS, en las capas 0-0,05 m y 0,05-0,2 m, respectivamente (Figura 2A), por otro lado, de 0,2-0,4 y 0,4-0,6 m, el COS no presentó un efecto significativo en la Dap.

Las menores Dap en las rotaciones A/G y PN están asociadas a sistemas radicales de mayor densidad y más prolongados en el tiempo, respecto a los tratamientos A o M. Este efecto solo es superficial, ya que la mayor concentración de raíces se da en este estrato del perfil (Ansin et al., 1998).

El menor contenido de COS de 0,05-0,2 m en la rotación M (Tabla 1) se explica por un menor volumen de retorno de rastrojo (Wong et al., 2010), lo cual también influye negativamente en el DMP. Este impacto negativo promovería un incremento en la Dap en los suelos (Figura 2B) debido a una más elevada susceptibilidad a la ruptura de los agregados (Tabla 2).

Tabla 2. Densidad aparente (Dap) para las profundidades 0-0.05, 0.05-0.2, 0.2-0.4 y 0.4-0.6 m para cada rotación analizada, expresados en g cm^{-3}

| Profundidad (m) | Rotación ^a | | | |
|--------------------|----------------------------|---------------|----------------|---------------|
| | PN | A/G | A | M |
| 0 - 0.05 | 1,12 ± 0,02 b [†] | 1,12 ± 0,02 b | 1,18 ± 0,02 ab | 1,27 ± 0,04 a |
| 0.05 - 0.2 | 1,25 ± 0,03 b | 1,17 ± 0,02 c | 1,27 ± 0,02 ab | 1,37 ± 0,04 a |
| 0.2 - 0.4 | 1,29 ± 0,04 a | 1,27 ± 0,03 a | 1,27 ± 0,03 a | 1,24 ± 0,07 a |
| 0.4 - 0.6 | 1,25 ± 0,03 a | 1,28 ± 0,02 a | 1,27 ± 0,03 a | 1,31 ± 0,05 a |

^a PN: Pastizal Natural, A/G: Agrícola/Ganadera, A: Agrícola, M: Monocultivo

[†] Letras diferentes indican diferencias significativas entre rotaciones ($\alpha < 0,05$).

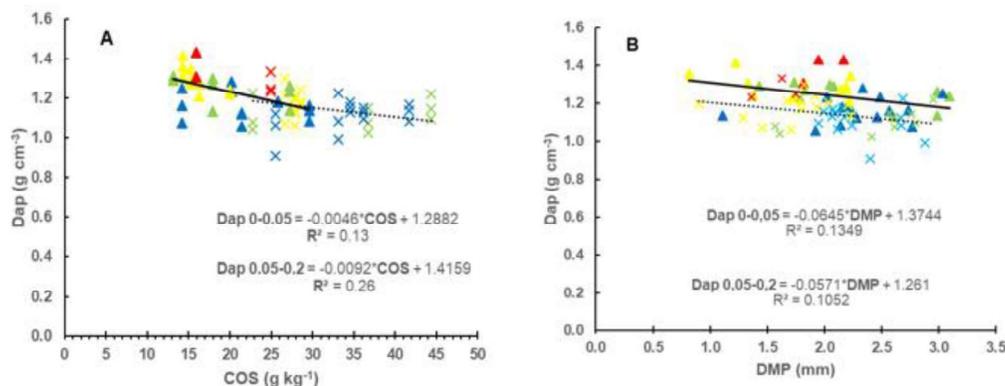


Figura 2. Densidad aparente (Dap) en función del Carbono Orgánico del Suelo (COS) (A) y del Diámetro medio ponderado (B), para las profundidades de 0-0.05 m (Cruces) y 0.05-0.2 m (Triángulos), bajo 4 secuencias de cultivos: PN (Símbolos Verdes), A/G (Símbolos Azules), A (Símbolos Amarillos) y M (Símbolos Rojos).

Estabilidad de agregados

Los DMP difirieron estadísticamente entre tratamientos que contemplan pasturas (PN y A/G) respecto a las rotaciones que no (A y M), en ambas profundidades estudiadas (Tabla 3). Bajo la rotación PN, en la profundidad 0-0,05 m, el DMP fue 42,3%, 20,5% y 2,5% mayor que en las rotaciones M, A y A/G, respectivamente, mientras que en la capa de 0,05-0,2 m, éstas disminuciones fueron en igual orden, pero menos pronunciadas.

El contenido de COS explicó el 38% y el 45% del DMP para las profundidades de 0-0.05 m ($p < 0,0001$) y 0,05-0,2 m ($p < 0,0001$) respectivamente (Figura 3A).

En la capa de 0-0,05 m los valores de DMP cayeron lineal y significativamente ante incrementos del pH ($p = 0,0003$; Figura 3B) y la CE ($p = 0,0094$; Figura 3C), explicando cada variable el 31% y 17% del DMP, respectivamente. Por otro lado, en la profundidad de 0,05-0,2, el DMP mostró un comportamiento de tipo "óptimo" ante variaciones del pH ($p = 0,0002$; Figura 3B) como de la CE ($p = 0,007$; Figura 3C).

Los resultados concuerdan con diversos estudios en el que se analizó el efecto de la secuencia de cultivos en la EA en diversos suelos de la Región Pampeana, donde se encontró que rotaciones A/G no se diferenciaron de los Testigos de Referencia (Álvarez et al., 2012).

Los resultados hallados difieren de los encontrados por Álvarez et al. (2012) y Castiglioni et al. (2013) cuando se analiza la rotación A vs PN. Estas diferencias podrían estar asociadas a que, en la región bajo análisis, el ambiente edáfico presenta limitaciones de halomorfismo en profundidad (Figura 1) que podría estar limitando el normal desarrollo de los cultivos agrícolas. Estas limitantes no se encuentran en las regiones analizadas por los autores antes mencionados.

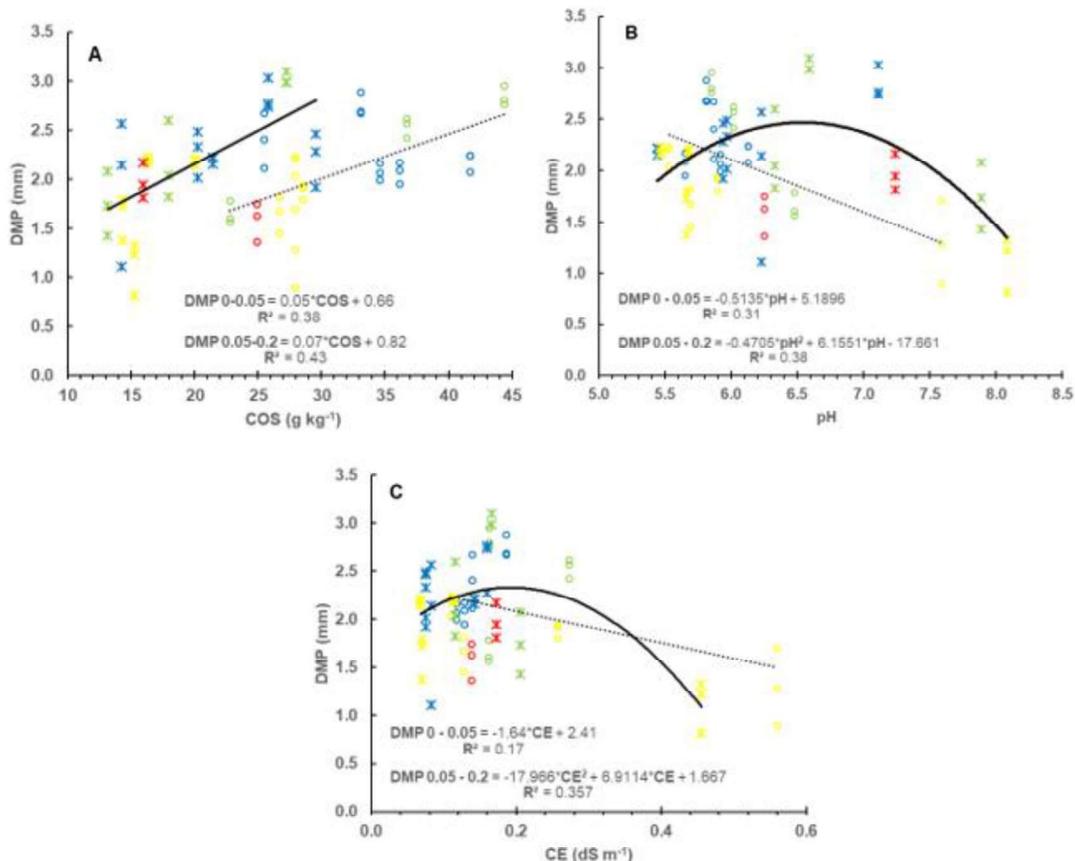


Figura 3. Diámetro Medio Ponderado (DMP) en función del Carbono Orgánico del Suelo (COS) (A), del pH (B) y la CE (B), para las profundidades de 0-0.05 m (Círculos) y 0.05-0.2 m (Cruces), bajo 4 secuencias de cultivos: PN (Símbolos Verdes), A/G (Símbolos Azules), A (Símbolos Amarillos) y M (Símbolos Rojos).

Tabla 3. Diámetro medio ponderado (DMP) para las profundidades 0 a 0,05 y 0,05 a 0,2 m para cada una de las rotaciones analizadas.

| Profundidad (m) | Rotación | | | |
|--------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| | PN | A/G | A | M |
| 0 - 0.05 | 2,34 ± 0,17 a | 2,28 ± 0,16 a | 1,86 ± 0,17 b | 1,35 ± 0,26 b |
| 0.05 - 0.2 | 2,31 ± 0,24 a | 2,26 ± 0,22 a | 1,96 ± 0,23 ab | 1,63 ± 0,33 b |

Se obtuvo un modelo de regresión múltiple que permitió explicar el 56% y 65% del DMP para las profundidades de 0-0.05 y 0.05-0.2 m respectivamente (Figura 4). Las propiedades que ingresaron en el modelo fueron, COS (g kg^{-1}) y pH para la capa 0-0.05 m, mientras que para la profundidad 0.05-0.2 m, fueron el COS y la CE. Surge de los resultados que a nivel superficial el DMP se reduce ante incrementos del pH, mientras que sub-superficialmente, es la CE, la que mayor impacto tiene como factor desagregante, pudiendo estar asociado al tipo de sales presentes, no analizadas en este trabajo. Mientras que el COS es un factor agregante en ambas capas de suelo.

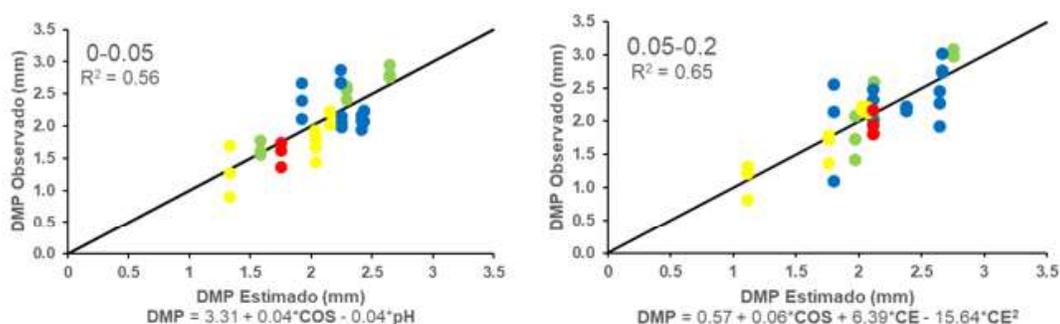


Figura 4. Valores observados y estimados para el Diámetro Medio Ponderado (DMP) para las profundidades de 0-0.05 y 0.05-0.2 en función del Carbono Orgánico del suelo (COS, en g kg^{-1}), el Ph y la conductividad eléctrica (CE en ds m^{-1}) bajo 4 secuencias de cultivos: PN (Símbolos Verdes), A/G (Símbolos Azules), A (Símbolos Amarillos) y M (Símbolos Rojos).

CONCLUSIONES

La agricultura bajo siembra directa y con rotación de cultivos y/o pasturas permitió mantener los contenidos de COS en niveles similares a los del pastizal natural. El monocultivo de soja causó descensos de los contenidos del COS. Estas reducciones del COS generaron incrementos de la Dap y menores DMP. Este deterioro se es mayor cuanto mayores son los pH y la CE. En suelos con problemas de alcalinidad en profundidad, el COS parece no ser suficiente para mantener la estabilidad de agregados, lo cual debiera considerarse en futuras normas de manejo de los suelos. La CE y el pH no fueron afectados por las rotaciones, sino por la profundidad de la napa y su composición iónica.

Estos resultados, esencialmente muestran que los suelos muestreados no presentaron mayor vulnerabilidad a la agriculturización que la que muestran otros suelos sin limitaciones por halo-hidromorfismo. Estas evidencias son suficientes para no aceptar la hipótesis de trabajo. A partir de estos resultados, se puede recomendar la agricultura en éstos suelos siempre y cuando sean rotados adecuadamente o combinados con pasturas.

BIBLIOGRAFIA

Akaike, H., Petrov, B. N., & Csaki, F. 1973. Second international symposium on information theory.

- Álvarez, C. R., Fernández, P. L., & Taboada, M. A. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos de la región pampeana. *Ci. Suelo*, 30(2), 173-178.
- Ansín, O. E., Oyhamburu, E. M., Hoffmann, E. A., Vecchio, M. C., & Ferragine, M. D. C. 1998. Distribución de raíces en pastizales naturales y pasturas cultivadas de La Pampa Deprimida Bonaerense y su relación con la biomasa forrajera. *Rev. Fac. Agr. La Plata*, 103(2), 141-148.
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annu. Rev. Phytopathol.* 18: 295-312.
- Bronick, C. J., & Lal, R. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Bullock, D. G. 1992. Crop rotation. *Crit Rev Plant Sci*, 11(4), 309-326.
- Castiglioni, M. G., Kraemer, F. B., & Morras, H. J. M. 2013. Efecto de la secuencia de cultivos bajo siembra directa sobre la calidad de algunos suelos de la región Pampeana. *Ci. Suelo*, 31(1), 93-105.
- Cosentino, D. J., & Chenu, C. 2008. Los microorganismos como controladores de la arquitectura del suelo. En: Taboada, M.A; Álvarez, C.R. Fertilidad física de los suelos. Buenos Aires, Argentina. Pp. 258-291.
- Dexter, A. R., Czyż, E. A., Niedzwiecki, J., & Maćkowiak, C. 2001. Water retention and hydraulic conductivity of a loamy sand soil as influenced by crop rotation and fertilization. *Arch Agron Soil Sci*, 46(1-2), 123-133.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., & Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gardner, C. M., Laryea, K. B., & Unger, P. W. 1999. Soil physical constraints to plant growth and crop production. Land and Water Development Division, FAO.
- INTA. 1977. La Pampa deprimida. Condiciones de drenaje de sus suelos. Departamento de suelos del INTA. Publicación N° 152. Serie suelos Pp. 162.
- Lavado, R. S., & Taboada, M. A. 1988. Water, salt and sodium dynamics in a natraquoll in Argentina. *Catena*, 15(6), 577-594.
- Le Bissonnais, Y. 2016. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur J Soil Sci*, 67(1), 11-21.
- Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant physiol*, 109(1), 7.
- Ministerio de Agroindustria de la Nación, 2018. <https://datos.agroindustria.gob.ar/>. Consultado el 12/11/2018.
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., Wilson, M. G., & Sasal, M. C. 2013. Land use intensity and cropping sequence effects on aggregate stability and C storage in a Vertisol and a Mollisol. *Geoderma*, 195-196, 260-267.
- Tavakkoli, E., Rengasamy, P., Smith, E., & McDonald, G. K. 2015. The effect of cation-anion interactions on soil pH and solubility of organic carbon. *Eur J Soil Sci*, 66(6), 1054-1062.
- Vázquez, P., Masuelli, S., Platzeck, G., & Boolsen, O. 2008. Recurrencia de anegamiento en la depresión del río Salado: subcuena B4. *Revista de Teledetección de la Asociación Española de Teledetección*, 30, 47-59.
- Wong, V. N., Greene, R. S. B., Dalal, R. C., & Murphy, B. W. 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use Manage*, 26(1), 2-11.