

INFLUENCIA DEL USO DE SUELOS SOBRE INDICADORES FÍSICOS DE COMPACTACIÓN

INFLUENCE OF USE OF SOIL ON PHYSICAL INDICATORS COMPACTION

Quiroga Alberto ^{1,2}, Agustín Oderiz ¹, Mauricio Uhaldegaray ¹
Cristian Alvarez ¹, Eric Scherger ¹, Romina Fernández ¹
Ileana Frasier ³

Recibido: 26/04/2016
Aceptado: 22/12/2016

RESUMEN

Los cambios en el uso de la tierra producen importantes modificaciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Asociado con la disminución en los contenidos de materia orgánica (MO) se estarían produciendo cambios a nivel de macroporosidad que condicionarían una menor eficiencia de uso del agua, acentuando procesos de degradación física de los suelos. El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de diferentes usos sobre propiedades edáficas relacionadas con la compactación. El estudio se realizó en sitios de experimentación del Programa Nacional de Agua de INTA, en 52 suelos bajo dos usos contrastantes: virgen o pastura (V: 26 suelos) y agrícola (A: 26 suelos). Los mismos se agruparon por régimen de humedad en Ústicos (Us: 36 suelos) y Údicos (Ud: 16 suelos). La densidad aparente máxima (DAm) disminuyó a medida que aumentaron los contenidos de arcilla+limo (A+L) (A: R²=0,60; p=0,0001 y V: R²=0,44; p=0,0016). También fue significativa la influencia de la MO sobre la densidad aparente (DA) y la susceptibilidad a la compactación (SC) en suelos de ambos regímenes de humedad. Estos cambios posiblemente explican en gran parte la menor infiltración, mayor encharcamiento, encostramiento y/o escurrimiento de suelos que bajo determinadas prácticas de uso han perdido MO.

PALABRAS CLAVE: densidad aparente, materia orgánica, susceptibilidad a la compactación

ABSTRACT

Changes in land use produce significant modifications of ecosystem structure and functioning. Associated with decreasing contents of organic matter (MO) they would produce changes in soil macroporosity that might condition a lower water use efficiency, emphasizing processes of soil physical degradation. The objective was to evaluate the effects of different uses on soil properties related to compaction. The study was conducted at experimental sites of the National Water Program of INTA, over 52 soils under two contrasting managements: virgin or pasture (V: 26 soils) and agriculture (A: 26 soils). They were grouped by soil moisture regime: ustic (Us: 36 soils) and udic (Ud: 16 soils). Maximum apparent density (DAm) decreased with increasing clay + silt contents (A + L) (A: R² = 0.60, p = 0.0001 V: R² = 0.44, p = 0.0016). Also significant was the influence of MO on bulk density (DA) and the susceptibility to compaction (SC) in soils of both moisture regimes. These changes could possibly explain much of the loss of infiltration, increased flooding, crusting and / or runoff from soils that under determined use have lost MO.

KEY WORDS: bulk density, organic matter, susceptibility to compaction

Cómo citar este trabajo:

Quiroga A., A. Oderiz, M. Uhaldegaray, C. Alvarez, E. Scherger, R. Fernández & I. Frasier. 2016. Influencia del uso de suelos sobre indicadores físicos de compactación. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 26(2): 19-26

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el uso de la tierra producen importantes modificaciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Evidencias

1 EEA INTA Anguil, Ruta 5, km 580, CP 6326, CC11. Anguil, La Pampa

2 Facultad de Agronomía UNLPam, Ruta 35 Km 330, Santa Rosa, La Pampa.

3 Instituto de Suelos, CIRN, INTA Castelar. Buenos Aires.

* quiroga.alberto@inta.gob.ar



en diferentes regiones del mundo tienden a explicar cómo los cambios en la estructura de las comunidades vegetales modifican la dinámica hidrológica de una región (Salvador, 2010). Las amenazas a la sustentabilidad y a la resiliencia de los ecosistemas por su transformación para la producción agrícola dependen del ambiente y del uso que se haga de ellos, siendo las regiones semiáridas particularmente vulnerables (Pala *et al.*, 2007). La expansión de la agricultura que tiene lugar sobre tierras menos aptas (Hillel, 2011), puede estar acompañada por una importante intensificación en los planteos ganaderos que incide negativamente sobre el balance de materia orgánica (MO). Por ejemplo, la pradera pampeana está experimentando un intenso proceso de agriculturización con cambios estructurales y funcionales importantes en la cubierta vegetal. Asociado con la disminución en el aporte de residuos/cobertura y de los contenidos de MO se estarían produciendo cambios a nivel de macroporosidad (Denef & Six, 2005), los cuales, al limitar la captación del agua de lluvia, favorecen el encharcamiento/escurrecimiento y una menor transitabilidad. La preocupación es que algunos de estos cambios pueden ser irreversibles o condicionar de manera importante la resiliencia de los recursos, con consecuencias ambientales también importantes. Estas relaciones entre el uso de la tierra y su hidrología han sido poco estudiadas. Principalmente porque variaciones en la capacidad de retención de agua (textura y espesor del suelo) conjuntamente con variaciones en las precipitaciones condicionan el régimen hídrico de los suelos incidiendo significativamente sobre la productividad de los cultivos y el balance de carbono (Quiroga *et al.*, 2005).

En relación con la influencia del manejo resulta necesario considerar ciertas características del sistema poroso, dado que no sólo la cantidad total de poros define el comportamiento hídrico del suelo, sino también su tamaño, distribución, orientación, interconexión, tortuosidad y estabilidad. De esta manera y asociado a distintas prácticas de uso pueden variar significativamente propiedades físico – hídricas que condicionan la captación (infiltración, conductividad hidráulica), el almacenaje y la eficiencia de uso

del agua (EUA). La densificación de los suelos puede condicionar la EUA al incidir tanto sobre la dinámica hídrica como sobre el desarrollo de las raíces (Glab, 2014). Por ejemplo, valores de resistencia a la penetración > 2 MPa dieron lugar a una significativa reducción en el desarrollo de raíces y en la concentración de N y K en hoja (Atwell, 1990). Venanzi *et al.* (2002) y Venanzi & Kruger (2004) comprobaron que incrementos en la densidad aparente condicionaron el crecimiento temprano de cereales de invierno, siendo menos evidente en trigo que en avena. No obstante, también se ha comprobado que suelos bien estructurados o con presencia de biocanales no limitan el desarrollo de las raíces a pesar de presentar altos valores de resistencia a la penetración (Lampurlanes & Cantero-Martinez, 2003). Kruger (1996) evaluó los efectos acumulados de cuatro sistemas de labranza sobre indicadores de compactación en Ustoles del sudoeste bonaerense. Mediante test de compactación Proctor comprobó que bajo siembra directa fue menor la probabilidad de alcanzar niveles críticos de densidad aparente que puedan condicionar el crecimiento de los cultivos. Este comportamiento estaría explicado por mayores contenidos de MO en la capa superficial del suelo bajo siembra directa. Quiroga *et al.* (1999) indican que un incremento de aproximadamente 5 g.kg^{-1} en el contenido de MO produce una disminución de $0,06 \text{ g.cm}^{-3}$ en la densidad aparente máxima (DAm). La estrecha relación entre MO y DA (Ball *et al.*, 1996; Thomas *et al.*, 1996; Herencia *et al.*, 2011), entre MO y susceptibilidad a la compactación (Quiroga *et al.*, 1998, 1999) y la alta sensibilidad de la DAm a pequeños cambios en los contenidos de MO (Davidson *et al.*, 1967; Soane 1990; Quiroga *et al.*, 1999) le confieren un importante valor discriminante a los parámetros obtenidos de curvas de compactación Proctor. En base a las mismas se pueden definir umbrales hídricos de cambios de estado de los suelos que resultan dependientes del contenido y mineralogía de las arcillas y también de la fracción orgánica (Faure, 1978). Incrementos en la MO pueden reducir la susceptibilidad a la compactación por incremento en la resistencia a la deformación y/o por incremento en la elasticidad (Soane, 1990).

En función de lo expuesto se estableció como objetivo de trabajo evaluar los efectos de diferentes usos sobre propiedades edáficas relacionadas con la compactación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el marco del Programa Nacional de Agua de INTA (PNAgua), mediante la evaluación de indicadores físico-hídricos en sitios de experimentación en gestión del agua que comprenden suelos del sudoeste y centro de la provincia de Buenos Aires, Centro Este de La Pampa, Este de San Luis, Córdoba y Santiago del Estero (Fig. 1). Los mismos fueron agrupados de acuerdo al régimen de humedad en Ústicos (Us) y Údicos (Ud). Se muestrearon 52 suelos con el fin de evaluar propiedades edáficas en los primeros 20 cm del perfil: 26 suelos bajo vegetación natural o gramínea perenne de más de 10 años (V) y 26 suelos bajo secuencia continúa de cultivos anuales, en su mayoría por más de 10 años (A). En suelos Ud se seleccionaron sitios con alta frecuencia de soja en la rotación, mientras que en suelos Us la secuencia se caracterizó por una mayor proporción de gramíneas (cereales invierno, maíz, sorgo) que alternan con oleaginosas (soja, girasol y maní en algunos sitios). En cada sitio se extrajo una muestra compuesta (6 submuestras) de aproximadamente 12 kg de suelo de los primeros 20 cm del perfil. Las mismas fueron secadas al aire y tamizadas por 2 mm para la determinación de textura mediante la técnica de sedimentación (Bouyoucos); materia orgánica (Walkley & Black) y Test Proctor de compactación dinámica a energía constante (método AASHO Standard T-99) utilizando un cubo de 947 cm³ donde fue compactada la muestra previamente humedecida con una energía de 590 Kj.m⁻³. La densidad aparente se determinó mediante el método de los cilindros (244 cm³). A partir de las curvas Proctor, variación de la densidad aparente en función de la humedad del suelo, se obtuvo la densidad aparente máxima (DAm), la susceptibilidad a la compactación (SC) y humedad crítica de mayor sensibilidad a la compactación de cada suelo. Los datos se analizaron mediante modelos de regresión lineal y no lineal utilizando el software InfoStat (Di Rienzo, 2009).

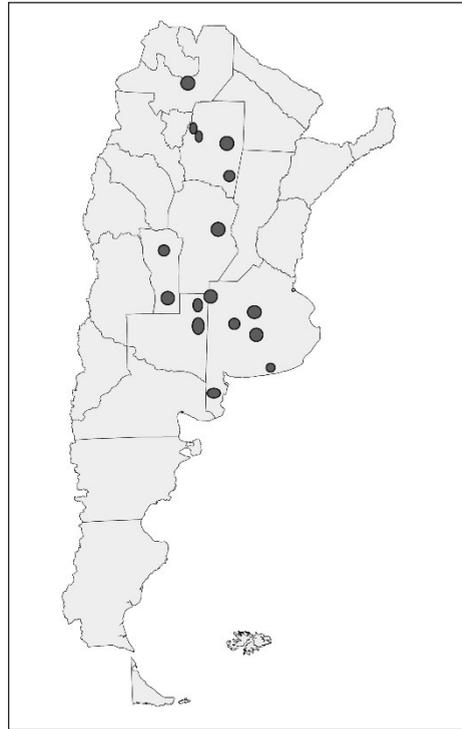


Figura 1: Localización de los sitios evaluados en el marco del Programa Nacional de Agua del INTA

Figure 1: Location of the sites evaluated under the INTA National Water Program

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos con predominio de régimen ustico de humedad.

Los contenidos de arcilla + limo (A+L, 9–77 %) y de MO (0,7–4,68%) variaron en un amplio rango entre los suelos estudiados. El contenido promedio de MO en V (3,09%) fue superior respecto de A (1,49%), mientras que los contenidos promedios de A+L resultaron similares (38–44%) entre el uso pastoril y el agrícola. En la medida que los suelos pierden MO se van enriqueciendo proporcionalmente de las fracciones más estables (asociadas a la fracción mineral) y presentan una relación más estrecha con las fracciones granulométricas más finas (Eaton & Lawrence, 2009; Casanovas *et al.*, 1995). En concordancia con estos autores, los suelos A presentaron una relación lineal y positiva entre los contenidos de MO y de A+L ($R^2=0,50$;

$p=0,0006$), mientras que en los suelos V esta relación no fue significativa lo que probablemente estuvo asociado a una mayor proporción de fracciones lábiles de la materia orgánica (Fig. 2a). Esta fracción lábil de la MO resulta clave para interpretar cambios en la fertilidad del suelo y potencialmente puede ser utilizada como un índice de calidad de los mismos (Six & Paustian, 2014; Wang *et al.*, 2014; Veum *et al.*, 2013).

Por otra parte, el contenido de A+L explicó en parte las variaciones observadas en la DAM de los suelos bajo ambos manejos (A: $R^2=0,60$; $p=0,0001$ y V: $R^2=0,44$; $p=0,0016$) (Fig. 2b). Para ambas situaciones la influencia del contenido de A+L sobre la densidad aparente máxima fue similar evidenciando una relación negativa entre ambos parámetros. Además para una misma composición granulométrica, los suelos

V presentaron menor DAM. Similar comportamiento se comprobó cuando se relacionó la DA con los contenidos de MO (Fig. 3a). A partir de dicha relación podría inferirse que a menores contenidos de materia orgánica sería mayor la densidad aparente del suelo, es decir, disminuiría la porosidad total y principalmente los poros de mayor tamaño. Estos cambios posiblemente puedan explicar en gran parte la pérdida de infiltración, mayor encharcamiento y/o escurrimiento de los suelos que bajo determinadas prácticas de uso han perdido MO. Varios autores concluyeron que el máximo en la densidad aparente representaría las condiciones más desfavorables de porosidad del suelo (Naderi-Boldaji & Keller, 2016; Perez Moreira & Díaz Fierros, 1989).

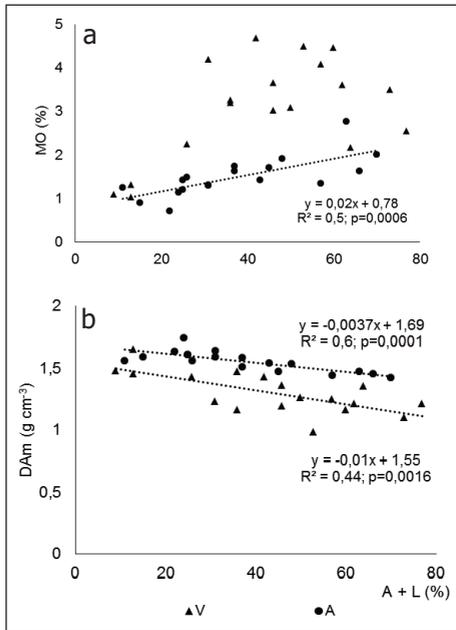


Figura 2: Variación de a) contenido de materia orgánica (MO) y b) densidad aparente máxima (Dam) en función de los contenidos de arcilla + limo (a+l) para suelos bajo usos contrastantes virgen (V) y agrícola (A)

Figure 2: Variation of the a) organic matter contents (MO) and b) maximum bulk density (Dam) in relation to the clay + silt content (a + l) for contrasting virgin (V) and agricultural (A) soils

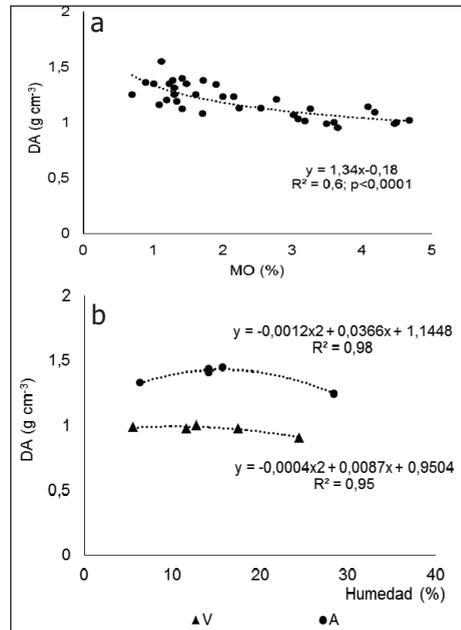


Figura 3: Variación de densidad aparente (DA) en función de a) materia orgánica (MO) b) curvas Proctor correspondientes a suelo virgen (V) y agrícola (A)

Figure 3: Variation of bulk density (DA) in relation to a) organic matter (MO) b) Proctor curves corresponding to virgin (V) and agricultural (A) soil

Kruger *et al.* (2005) señalan que la disminución de la porosidad total del suelo por efecto del pastoreo fue determinada principalmente por la deformación de los macroporos. Estos autores expresan que un leve incremento en los mesoporos y microporos del suelo, a expensas de los macroporos, podría tener implicancias negativas sobre la infiltración. Al respecto Quiroga *et al.* (1999) comprobaron, para suelos de la región semiárida pampeana, que disminuciones significativas en la conductividad hidráulica estuvieron asociadas con menores valores de MO. Similares resultados fueron obtenidos por Glab & Kulig (2008) quienes comprobaron mayores valores en la conductividad hidráulica como consecuencia de incrementos en los contenidos de MO. En la fig. 3b se muestran las curvas de compactación Proctor donde se evidencian importantes diferencias en la DAM, también en la SC dada por la pendiente de la rama ascendente de cada curva. Los resultados muestran que frente a una misma presión, el suelo A que presenta menor contenido de MO (1,34%) es más susceptible a perder porosidad (SC: 1,28), resultando menos resistente y/o resiliente en relación con V que presentó mayor contenido de MO (4,5%) y menor SC (0,42).

Las figs. 4a y 4b muestran la influencia de la MO sobre los indicadores de compactación en suelos Us. Tanto la DAM como la SC tendieron a incrementar en la medida que los suelos perdieron MO. Similares resultados fueron obtenidos por Mettauer *et al.* (1983) sobre suelos limosos, donde la variación de los coloides inorgánico y orgánico explicaron el 31% de la “sensibilidad a la compactación”. Esta influencia se debería a que pérdidas de MO inducen una disminución en la humedad crítica de sensibilidad a la compactación.

En la fig. 5 se observa esta influencia para suelos Ud de distintas granulometrías.

Suelos con predominio de régimen údico de humedad

Los contenidos de A+L (34–82%) y de MO (0,81–5,60%) también variaron en un amplio rango en suelos Ud. El promedio de MO fue superior en V (3,18%) respecto de A (2,21%), mientras que los contenidos promedios de A+L resultaron similares (55–58%) entre ambas prácticas de manejo y en promedio mayores que en

suelos Us (38–44%). En suelos de granulometrías más finas resultaría menor la influencia de cambios en la MO sobre propiedades físicas (Baver *et al.*, 1972), sin embargo, ambos grupos de suelos presentan en promedio similares contenidos de arcilla y las mayores diferencias se encuentran en la fracción limo que resulta mayor en los suelos Ud. Posiblemente esta sea parte de la explicación en la similitud de las curvas Proctor cuando se contrastan suelos con distintos contenidos de MO en ambos regímenes de humedad (Figs. 2b y 4). En todos los casos se comprueba que los suelos V presentan una baja SC que les permitiría mantener un adecuado funcionamiento del sistema poroso, condición necesaria para una mayor eficiencia de captación del agua de las precipitaciones. Quiroga *et al.* (1991) en estudios realizados hace 25 años alertan sobre los efectos negativos que el manejo puede tener en propiedades físico-hídricas. Los

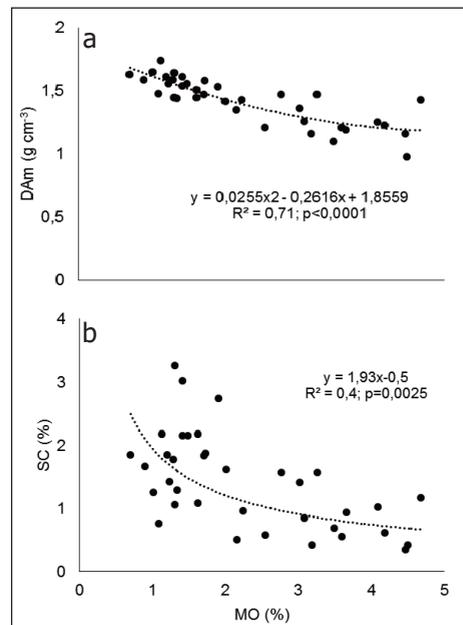


Figura 4: a) Densidad aparente máxima (DAM) y b) susceptibilidad a la compactación (SC) por efecto de variaciones en los contenidos de materia orgánica (MO)

Figure 4: a) Maximum bulk density (DAM) and b) susceptibility to compaction (SC) due to variations in the content of organic matter (MO)

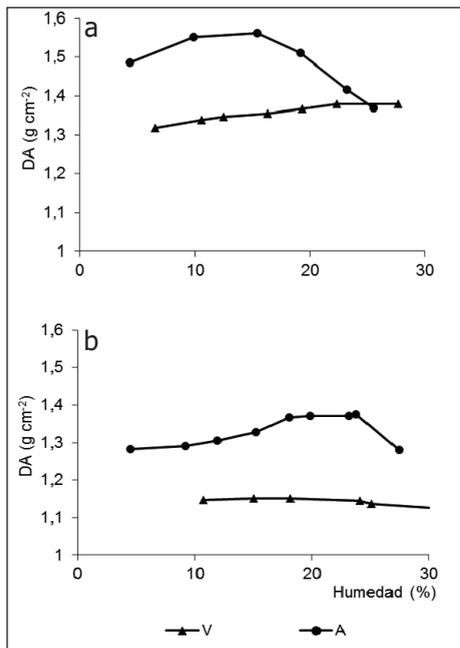


Figura 5: Curvas Proctor correspondientes a suelos virgen (V) y agrícola (A) en Hapludoles, a) Bolívar y b) 9 de Julio

Figure 5: Proctor curves corresponding to virgin (V) and agricultural (A) Hapludols, a) Bolívar and b) 9 de Julio

autores señalan que en la región semiárida pampeana central se observa una presencia generalizada de compactaciones superficiales y subsuperficiales en correspondencia con condiciones edáficas (alta proporción de la fracción granulométrica de 2 a 74 μm) y de manejo (agricultura continua y sobrepastoreo de rastrojos y pasturas) que favorecerían el desarrollo de las mismas. Las figs. 5 a y b muestran como asociado con la disminución en los contenidos de MO se han modificado, en suelos de distintas granulometrías, los contenidos de humedad al cual los suelos son más sensibles a compactarse (ofrecen menor resistencia). Al respecto, Blanco Canqui *et al.* (2008) también comprobaron estrecha relación entre el aumento en la DAM, la disminución en la humedad crítica y la pérdida de MO de suelos franco limoso como se evidencia en las figs 6 a y b. Aragón *et al.* (2000) comprobaron que además de los efectos de la MO, la variación en los contenidos de limo también resultó principal determinante de la DAM.

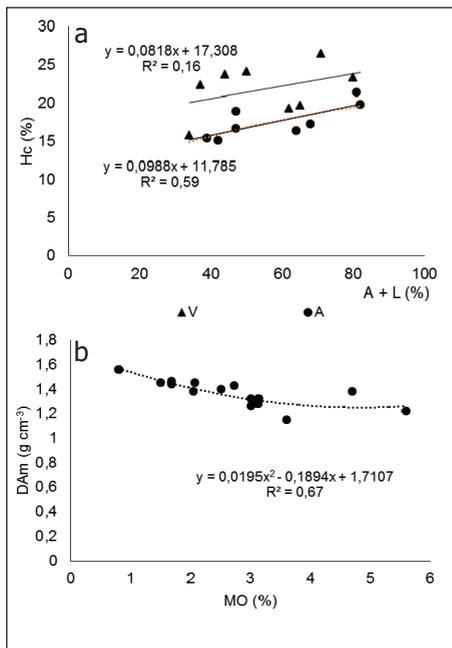


Figura 6: a) Humedad crítica (Hc) a la que se alcanza la densidad aparente máxima en suelos vírgenes (V) y agrícolas (A) en función a arcilla + limo (A+L) y b) Densidad aparente máxima (DAm) en función de los contenidos de materia orgánica (MO)

Figure 6: a) Critical water content (HC) at the maximum bulk density (DAm) in virgin (V) and agricultural (A) soils of different grain sizes and b) variation of DAM depending on the contents of organic matter (MO)

CONCLUSIONES

Se concluye que, si bien estos resultados son preliminares y parciales de una amplia zona de estudio, los mismos ponen en evidencia la importante influencia que la MO posee sobre la sostenibilidad de los suelos al incidir (en interacción con la granulometría) sobre propiedades físicas como densidad aparente y susceptibilidad a la compactación, tanto en regímenes de humedad Údicos como Ústicos.

El incremento de la susceptibilidad a la compactación y de la potencialidad de los suelos a perder macroporosidad, por mayor densidad aparente máxima y disminución en la humedad crítica, abre interrogantes sobre las consecuencias que estos cambios tendrán sobre la eficiencia en

el uso del agua. Limitaciones crecientes en la captación del agua acentuarán los problemas de encharcamiento, escurrimiento y de estrés hídrico.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo se financió en el marco del Programa Nacional de Agua de INTA, en este contexto se están abordando problemáticas estableciendo nodos de capacitación/experimentación en gestión del agua, identificando, jerarquizando, categorizando e integrando distintos factores que condicionan su eficiencia de uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragón A., M. García, R. Filgueira & A. Pachepsky. 2000. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor Test: The relationship with organic carbon and water content. *Soil Till. Res.* 56: 197-204.
- Atwell B. 1990. The effect of soil compaction on wheat during early tillering. I. Growth, development and root structure. *Nex Phytol.* 115: 29-35.
- Ball B., W. Cheshire, E. Robertson & E. Hunter. 1996. Carbohydrate composition in relation to structural stability, compactability and plasticity of two soils in a long-term experiment. *Soil Till. Res.* 39: 143-160.
- Baver L. & W. Gardner. 1972. *Soil Physics*. (Ed. J. Wiley and Sons). NY, 529 p.
- Blanco-Canqui H., L. Stone, A. Schlegel, D. Lyon, M. Vigil, M. Mikha, P. Stahlman & C. Rice. 2008. No till induced increase in organic carbon reduces maximum bulk density of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73(6): 1871-1879.
- Casanovas E., H. Echeverría & G. Studdert. 1995. Materia orgánica del suelo bajo rotaciones de cultivos. Contenido total y distintas fracciones. *Ciencia del Suelo* 13: 16-20.
- Davidson J., F. Gray & D. Pinson. 1967. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agron. J.* 59: 375-378.
- Denef K. & J. Six. 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *Eur. J. Soil Sci.* 56: 469-479.
- Di Rienzo J., F. Casanovas, M. Balzarini, L. Gonzales, M. Tablada & C. Robledo. 2009. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nac. Córdoba, Argentina.
- Eaton J. & D. Lawrence. 2009. Loss of carbon sequestration potential after several decades of shifting cultivation in the Southern Yucatán. *For. Ecol. Manage.* 258: 949-958.
- Faure A. 1978. Comportement des sols au compactage: Role de l'argille et conséquences sur l'arrangement des grains. *Univ. Sci. Grenoble.* 179 p.
- Głab T. 2014. Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward. *Soil Till. Res.* 144: 8-19.
- Głab T. & B. Kulig 2008. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). *Soil Till. Res.* 99: 169-178.
- Herencia J., P. Garcia-Galavis & C. Maqueda. 2011. Long-term effect of organic and mineral fertilization on soil physical properties under greenhouse and outdoor management practices. *Pedosphere* 21: 443-453.
- Hillel D. 2011. An overview of soil and water management: the challenge of enhancing productivity and sustainability. pp. 3-11. *En: Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture* (J.L. Hatfield & T.J. Sauer Eds.). Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Kruger H. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste Bonaerense bajo cuatro sistemas de labranza. *Ciencia del Suelo* 14: 104-106.
- Kruger H., S. Venanzi & E. Sa Pereira E. 2005. Efecto del pisoteo por animales en planteos de siembra directa. *En: Indicadores de Calidad de Suelos*, Bol. Téc. EEA INTA Villegas, 4: 27-30.
- Lampurlanes J. & Cantero Martinez. 1996. Evolución de la densidad aparente de un suelo cultivado bajo distintos sistemas de laboreo en condiciones semiáridas del Valle del Ebro. CNAC, España 167-173 pp.
- Mettauer H., Y. Tual, Ch. Huck & R. Trendel. 1983. De la connaissance du comportement physique et mecanique des sols de l'Est de la France. *Agronomie* 3, 141-152.
- Naderi-Boldaji M. & T. Keller. 2016. Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil Till. Res* 159:

- 41-46.
- Pala M., J. Ryan, H. Zhang, M. Singh & H. Harris. 2007. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. *Agr. Water Manage.* 93: 133-144.
- Perez Moreira R. & F. Díaz Fierros. 1989. Resistencia del suelo y susceptibilidad a la compactación en terrenos de monte sometidos a pastoreo. *An. Edafol. Agrobiol.* pp. 547-560.
- Quiroga A., D. Buschiazzo & E. Adema. 1991. Características edáficas y de manejo en relación con la compactación de los suelos de la región semiárida pampeana central. X CAPE-RAS, Bahía Blanca.
- Quiroga A., D. Buschiazzo & N. Peinemann. 1999. Soil compaction is related to management practices in the semiarid Argentine pampas. *Soil Till Res.* 52: 21-28.
- Quiroga A., D. Buschiazzo & N. Peinemann. 1998. Management of discriminant properties in semiarid soils. *Soil Sci.* 163(7): 591-597.
- Quiroga A., B. Lejarraga, R. Fernández & D. Funnaro. 2005. Aspectos del manejo del agua en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. En *Indicadores de Calidad de Suelos*, Bol. Téc. EEA INTA Villagas, 4: 19-26.
- Salvador V. 2010. Evaluación de la dinámica hidrológica en respuesta a cambios en el uso de la tierra. Tesis de Maestría, UNMdP.
- Six J. & K. Paustian. 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biol. Biochem.* 68, A4–A9.
- Soane B. 1990. The role of organic matter in soil compactability: A review of some practical aspects. *Soil Till Res.* 16: 179-201.
- Thomas G., G. Hazler & R. Blevins. 1996. The effects of organic matter and tillage on maximum compactability of soils using the proctor test. *Soil Sci.* 161(8): 502-508.
- Venanzi S. & H. Kruger. 2004. Crecimiento del cultivo de avena en función de la densidad aparente del suelo. IV Congreso Nacional Trigo, Bahía Blanca.
- Venanzi S., A. Vallati & Kruger H. 2002. Crecimiento temprano del trigo en función de la densidad aparente del suelo. XVIII Congreso AACS, Chubut.
- Veum K., K. Goyné, R. Kremer, R. Miles & K. Suduth. 2013. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. *Biogeochemistry* 117: 81–99.
- Wang Q., Y. Wang, Q. Wang & J. Liu. 2014. Impacts of 9 years of a new conservation agricultural management on soil organic carbon fractions. *Soil Till. Res.* 143: 1–6.
- Walkley A & I.A. Black. 1934. An examination of the Dejtjareff method for determining soil matter and a proposed modification of the chromic acid triation method. *Soil Sci.* 37: 29-38.