

# Cambios en las propiedades físicas de un Argiudol con diferentes sistemas de manejo y rotación de cultivos



## *Physical properties changes of an Argiudoll with different crop rotation and management systems*

**Pilatti, Miguel Ángel**

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina.

mpilatti@fca.unl.edu.ar

/0009-0001-4284-1591

**Felli, Osvaldo Mario**

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina.

ofelli@fca.unl.edu.ar

/0009-0003-7255-4133

**Pozzi, Ricardo**

Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA)  
ricardoluispozzi@gmail.com

**Miretti, María Celeste**

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina.

mmiretti@fca.unl.edu.ar

/0009-0006-7792-3411

**Nicolier, Juan Gabriel**

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Argentina.

juangabrielnicolier@hotmail.com

/0000-0001-8614-2680

**Resumen:** El trabajo se realizó en Las Rosas, Santa Fe, Argentina ( $32^{\circ} 27' 24''$  S;  $61^{\circ} 34' 12,90''$  O) sobre un Argiudol típico en sistema de siembra directa por más de 20 años, siendo los objetivos: (a) cuantificar la línea de base ambiental del suelo natural para atributos físicos y (b) comparar los cambios producidos por distintas rotaciones y manejo del suelo. Los tratamientos fueron: V, prístino; AC, agricultura continua; AG, rotación agrícola ganadera y GA, rotación ganadero agrícola. En el estrato superficial (5 a 10 cm) y subsuperficial (15 a 20 cm) se determinaron el intervalo hídrico óptimo (IHO), estabilidad de agregados (EE), conductividad hidráulica (K), densidad del suelo ( $D_s$ ) y macroporosidad ( $M_a$ ). Se estableció como línea base ambiental a V con  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  para el IHO,  $2,1 \text{ cm h}^{-1}$  de K,  $1,121 \text{ g cm}^{-3}$  de  $D_s$  y de  $0,112 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$   $M_a$  y una EE próxima al ideal. Con el aumento en la intensidad de uso, el suelo se compactó y disminuyó la  $M_a$ , especialmente en AC. El IHO fue mayor en GA y V, es decir en aquellos sin actividad antrópica desde hace varios años. Tanto la EE como K disminuyeron en todos los tratamientos respecto de V, especialmente en AC. El deterioro de estas propiedades en relación a V, evidencia que las funciones que cumple el suelo han disminuído significativamente. No obstante, se comprobó que en las rotaciones (AG y GA) se revierte ese efecto negativo, especialmente en el caso del IHO, con un período con pastura.

**Palabras clave:** Calidad física del suelo, funciones del suelo, degradación, servicios ecosistémicos

**Abstract:** *The work was carried out in Las Rosas, Santa Fe, Argentina ( $32^{\circ} 27' 24''$  S;  $61^{\circ} 34' 12,90''$  W) on a typical Argiudoll, in direct sowing system for more than 20 years. The objectives were: (a) quantify the environmental baseline of the natural soil for physical properties and (b) compare the changes produced by different rotations and soil management. The treatments were: V, pristine; CA, continuous agriculture; GA, pasture and crop mix rotation with 30% of pasture and 70% of crops and; AG, pasture and crop mix rotation with 70% of pasture and 30% of crops. In the superficial (5 to 10 cm) and subsurface (15 to 20 cm) layers, the optimal hydric interval (OHI), aggregate stability (AE), hydraulic conductivity (K), soil bulk density ( $B_s$ ) and macroporosity ( $M_a$ ) were determined. The V treatment was established as a baseline with  $0.10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  for the OHI,  $2.1 \text{ cm h}^{-1}$  of K,  $1.121 \text{ g cm}^{-3}$  of  $B_s$ ,  $0.112 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  of  $M_a$  and AE close to the ideal. With the increase of the use intensity, the soil became*

**Ghiberto, Pablo Javier\***

Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral), Universidad Nacional del Litoral, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNL-CONICET). Facultad de Ciencias Agrarias (FCA-UNL), Esperanza, Argentina.

[pjghiber@fca.unl.edu.ar](mailto:pjghiber@fca.unl.edu.ar)

 /0000-0001-8039-5206

\* Autor para correspondencia: Pablo Ghiberto, E-mail: [pjghiber@fca.unl.edu.ar](mailto:pjghiber@fca.unl.edu.ar)

*compacted and the  $M_a$  decreased, especially in CA. Consequently, the OHI was higher in AG and V, that is, in those without anthropogenic activity for several years. It was proven that the plots that have the same rotation (GA and AG) reverse this negative effect on the OHI with a period with pasture. Both, AE and K, decreased in all treatments compared to V, especially in CA. The degradation of these properties in relation to V shows an alteration in the soil functions.*

*Keywords: Soil physical quality, soil functions, degradation, ecosystems services*

Revista FAVE  
Sección Ciencias  
Agrarias

núm. 24, e0041, 2025

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-E: 2346-9129

Periodicidad: Continua

[revistafave@fca.unl.edu.ar](mailto:revistafave@fca.unl.edu.ar)

Recepción: 14 marzo 2025

Aprobación: 30 abril 2025

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2025.24.e0041>

## Introducción

En el contexto global y regional, estudios recientes confirman que los Molisoles, reconocidos por su alta fertilidad natural, han sufrido un deterioro significativo de sus propiedades físicas debido a prácticas agrícolas inadecuadas. A nivel internacional, se ha documentado que la intensificación agrícola, el uso excesivo de fertilizantes químicos y la labranza intensiva han causado procesos de acidificación, pérdida de materia orgánica y erosión hídrica, comprometiendo su capacidad para sostener sistemas productivos a largo plazo (Li et al., 2022). En particular, se estima que los Molisoles han perdido hasta el 50 % de su carbono orgánico original debido a estos procesos de degradación, lo que pone en riesgo no solo su productividad, sino también su rol como reguladores del ciclo global del carbono (Liu et al., 2012; Labaz et al., 2024).

En la provincia de Santa Fe (Argentina), la degradación de los suelos en las tierras más productivas ha sido documentada durante más de cinco décadas (Orellana y Priano, 1975; Piñeiro et al., 1982; Panigatti et al., 1982; Michelena et al., 1986; INTA, 1989; Senigagliesi, 1991; Pilatti y Orellana, 2012). Esta degradación involucra procesos de compactación, pérdida de estabilidad estructural, disminución de la conductividad hidráulica e, incluso, la erosión hídrica y eólica en casos más graves.

La degradación de las propiedades físicas impacta no solo la aptitud productiva del suelo, sino también los servicios ecosistémicos que éste provee. Por ejemplo, la reducción de la estabilidad de agregados y la conductividad hidráulica limita la regulación hídrica, disminuyendo la capacidad del suelo para infiltrar, retener y suministrar agua a los cultivos, a la vez que incrementa el riesgo de escorrentía y erosión. Asimismo, la disminución de la porosidad y el aumento de la compactación restringen el desarrollo radical y el intercambio gaseoso, afectando la productividad y la salud de la biota edáfica, lo cual repercute en el reciclaje de nutrientes y, por ende, en la fertilidad a largo plazo. En conjunto, estas dinámicas comprometen servicios ecosistémicos del suelo (SES) de aprovisionamiento (como la producción de alimentos), de regulación (control de la erosión, regulación hídrica y climática), de soporte (hábitat para microorganismos y raíces) y, en última instancia, la sostenibilidad ambiental de los sistemas productivos (Andrews et al., 2004).

Diversos estudios han demostrado que la degradación del suelo puede revertirse mediante manejos adecuados. En Molisoles de la región Pampeana, la diversificación de rotaciones y la inclusión de pasturas perennes han mitigado la degradación estructural y mejorado la estabilidad del suelo (Fernández et al., 2021). Por otra parte, la incorporación de cultivos de cobertura en siembra directa ha mostrado mejoras en la calidad física, incrementando la disponibilidad de agua, optimizando el índice de Dexter (S), reduciendo la densidad del suelo y favoreciendo la conectividad de macroporos, sin afectar negativamente el rendimiento del maíz ni el contenido hídrico superficial (Villarreal et al., 2021; Villarreal et al., 2022). Estas estrategias no solo contribuyen a la conservación de las propiedades físicas, sino que también refuerzan la provisión de SES, al potenciar la retención y el movimiento del agua, mejorar las condiciones para la actividad biológica y reducir la susceptibilidad a la erosión. Sin embargo, todavía se requieren estudios a largo plazo que evalúen estas prácticas bajo condiciones productivas variadas, ya que las respuestas del suelo y la provisión de servicios ecosistémicos pueden diferir según el tipo de manejo, la secuencia de cultivos y las características agroecológicas locales. Contar con valores de referencia naturales como línea de base ambiental (Karlen et al., 1997) es fundamental para diagnosticar en qué medida las prácticas agrícolas alteran la calidad y la salud del suelo, y por ende, su capacidad de sostener los SES.

Teniendo en cuenta la necesidad de generar información que permita optimizar las estrategias de uso y conservación del recurso suelo, manteniendo y mejorando los servicios ecosistémicos que éste provee en sistemas agrícolas intensivos, los objetivos fueron: (a) determinar la línea de base ambiental de las propiedades físicas del suelo estudiado; y (b) evaluar los cambios inducidos por diferentes condiciones de manejo y rotación de cultivos.

## Materiales y Métodos

### *Delineamiento experimental*

El estudio se realizó en un establecimiento privado en una de las zonas más productivas de Santa Fe (Argentina) ubicado 20 km al sur de Las Rosas (32° 27' 24" S; 61° 34' 12,90" O) a 109 m s. n. m.; en el noroeste de la pampa ondulada. El suelo estudiado se desarrolló a partir del loess pampeano y se clasifica como Argiudol típico Los Cardos. El clima de la región donde se emplazó el experimento es mesotérmico subhúmedo-húmedo (C2B'3rd'), con una temperatura media anual de 16°C en el extremo sur y 21°C en el norte. La precipitación anual varía entre 800 y 1000 mm (INTA, 1980).

Se evaluaron cuatro variantes de uso y manejo ("Tratamientos"): (1) Virgen (V) o cuasi prístino natural, por más de 50 años con vegetación herbácea; (2) Agricultura continua (AC) con más de 40 años en agricultura, rotación maíz (*Zea mays L.*), soja (*Glicine max L., Merrill*) de 1ª, trigo (*Triticum aestivum L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*), soja 2ª; muestreado después de soja de 1ª; (3) Agrícola ganadera (AG) con agricultura de 14 años y 4,5 años de pastura; durante el segundo ciclo de rotación se efectuó el muestreo a los 6 años de agricultura, restaban aún 8 años para iniciar la pastura y (4) Ganadero agrícola (GA) proveniente de agricultura durante 14 años y luego 4,5 años de pastura base de alfalfa (*Medicago sativa L.*) consociada con festuca (*Festuca arundinacea Schreb.*), cebadilla (*Bromus unioloides L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L.*), en este caso se muestreó al finalizar la pastura base alfalfa.

En todos los tratamientos cultivados se utilizó SD los últimos 20 años, durante el período agrícola y antes de soja todos tuvieron cultivos de servicio con vicia (*Vicia villosa L.*) y avena (*Avena sativa L.*). La fertilización incluyó aplicaciones en otoño al voleo con super fosfato simple 140 kg ha<sup>-1</sup> (13,2 kg P; 17 kg S; 25 kg Ca). En trigo y maíz a la siembra se incorporaron entre 240 y 360 kg ha<sup>-1</sup> de urea según disponibilidad de nitratos hasta los 60 cm. Adicionalmente, en las últimas cinco campañas, a la siembra se fertilizó con Microessentials SZ en la línea a razón de 100 kg ha<sup>-1</sup> (10 kg N; 9 kg P; 10 kg S; 1kg Zn), tanto en maíz como en soja de primera.

### *Contenido de materia orgánica y composición granulométrica*

En cada tratamiento se tomaron 5 muestras compuestas por 30 submuestras de 0 a 20 cm (Pilatti et al., 2022, p. 147-180) que se acondicionaron según Instituto argentino de normalización y certificación [IRAM], (2009). Se determinó contenido de materia orgánica (MO) por Walkley-Black y materia orgánica particulada (MO<sub>p</sub>) por tamizado en seco (IRAM, 2016; Andriulo et al., 1991). El análisis granulométrico se realizó mediante el método del hidrómetro Bouyoucos (Gee y Bauder, 1986).

### *Intervalo hídrico óptimo, densidad del suelo y macroporosidad*

En cada tratamiento se colectaron muestras no perturbadas superficiales (entre 5 y 10 cm) y subsuperficiales (entre 15 y 20 cm de profundidad), con cilindros de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro (Pilatti et al., 2022, pp. 147-180). Para elaborar la curva de retención hídrica (CRH) las muestras fueron saturadas por elevación gradual de una lámina de agua. Luego se pesaron para obtener el contenido hídrico en saturación ( $\theta_s$ ) y posteriormente se equilibraron en los siguientes potenciales mátricos ( $\psi_m$ ): -3, -6 y -10 kPa en mesa de tensión y -30, -100 y -500 kPa en cámaras de presión de Richards (Klute, 1986, pp. 363-375). El potencial de -1500 kPa fue determinado con el equipo WP4-T (Scanlon et al. 2002, pp. 643-670), usando muestras disturbadas. Una vez que las muestras llegaron al equilibrio, se pesaron y en cada una se midió la resistencia a la penetración del suelo (RP) con penetrómetro electrónico, con cono de 60° de ángulo y 4 mm de diámetro basal para obtener así la curva de resistencia mecánica a la penetración (CRM). A continuación, las muestras fueron secadas en estufa a 105°C para determinar el contenido gravimétrico de agua y la densidad del suelo ( $D_s$ ) (Blake y Hartge, 1986, pp. 363-375). La CRH se ajustó a la ecuación [1]:

$$\theta = \frac{\theta_s}{[1 + \alpha \times |\psi_m|^\beta]} \quad [1]$$

Donde:  $\psi_m$ , es el potencial mátrico (kPa);  $\theta_s$ , contenido hídrico en saturación ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); siendo  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros de ajuste del modelo.

La CRM se ajustó al modelo no lineal propuesto por Busscher (1990) (ecuación 2),

$$RP = a \times \theta^{-b} \times D_s^c \quad [2]$$

Donde: RP, es la resistencia del suelo a la penetración (MPa);  $\theta$ , contenido volumétrico de agua ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $D_s$ , densidad del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ); siendo a, b y c parámetros del ajuste del modelo.

Finalmente, se obtuvo el intervalo hídrico óptimo (IHO) con la ecuación [3] calculando la diferencia entre el límite superior, definido como el menor valor entre  $\theta_a$  y  $\theta_{cc}$ , y el límite inferior, definido como el mayor valor entre  $\theta_{FU}$  y  $\theta_{RP}$ , para cada valor de  $D_s$  (Pilatti et al., 1993; Pilatti et al., 2012).

$$IHO = \text{Mín}(\theta_{cc}; \theta_a) - \text{Máx}(\theta_{FU}; \theta_{RP}) \quad [3]$$

Donde,  $\theta_a$ , contenido de agua donde la aireación no es limitante ( $\theta_a = \theta_s - 0,15$ );  $\theta_{cc}$ , contenido de agua en capacidad de campo considerado como el agua retenida a -33 kPa en la CRH,  $\theta_{FU}$ , contenido de agua fácilmente utilizable retenida a más de -170 kPa en la CRH. La ecuación [2] se utilizó para determinar el contenido hídrico del suelo en que se alcanza un valor de  $RP = 3,3$  MPa ( $\theta_{RP}$ ), considerado restrictivo para el normal crecimiento de las raíces de la mayoría de los cultivos (Pilatti et al., 2012). Se determinó la densidad de suelo crítica cuando IHO es cero ( $D_{scrit}$ ) y la macroporosidad ( $M_a$ ) se calculó como la diferencia entre  $\theta_s$  y el agua retenida a 6 kPa ( $\theta_{6kPa}$ ).

### *Conductividad hidráulica*

En cada tratamiento se midió la conductividad hidráulica (K) utilizando infiltrómetros de tensión en las tensiones ( $\tau$ ) de 0 ( $K_0$ ) y 0,3 kPa ( $K_{0,3}$ ) en superficie y a 15 cm de profundidad, ambas superpuestas para indagar la continuidad. En cada profundidad se realizaron 5 repeticiones para cada tensión siguiendo los procedimientos de Ankeny et al. (1991) y Ghiberto et al. (2007). Las tensiones de 0 y 0,3 kPa fueron aplicadas consecutivamente para excluir del flujo hídrico a los poros de radio equivalente más grandes que 500  $\mu\text{m}$ . Se utilizó la ecuación [4] para evaluar qué porcentaje del flujo de agua ocurre por macroporos mayores a 500  $\mu\text{m}$  de radio equivalente (% flujo) y la ecuación [5] para calcular la disminución de la capacidad de conducción de estos poros (%  $D_{flujo}$ ).

$$\%flujo = 100 - \frac{K_{0,3}}{K_0} \times 100 \quad [4]$$

$$\%D_{flujo} = 100 - \frac{(K_0 - K_{0,3})}{(K_{0V} - K_{0,3V})} \times 100 \quad [5]$$

Donde:  $K_{0V}$  y  $K_{0,3V}$  son las conductividades hidráulicas a 0 y 0,3 kPa en V.

El porcentaje de disminución de  $K_0$  ( $\%D_{K0}$ ) entre tratamientos fue calculado utilizando la ecuación [6].

$$\%D_{K0} = 100 - \frac{(K_0)}{(K_{0V})} \times 100 \quad [6]$$

### *Estabilidad de agregados*

En cada tratamiento se extrajeron 5 muestras no perturbadas compuestas de 15 extracciones cada una una de 0 a 10 cm (retiradas con pala) con un contenido hídrico menor al límite plástico inferior, presentando una consistencia friable, cuidando de no comprimir la muestra (Pilatti et al., 2022, pp. 147-180). Luego se realizó una disgregación manual y secado no forzado, al aire en condiciones de laboratorio. Se evaluó la estabilidad de agregados con

pretratamientos en agua ( $E_a$ ) y en alcohol ( $E_{ol}$ ) y se calculó el Índice de estabilidad relativa ( $E_r$ ) como  $E_r = E_a / E_{av}$ , siendo  $E_{av}$  la estabilidad de agregados en agua del suelo prístino (Hénin et al., 1972, pp. 142-146 y Orellana y Pilatti, 1994).

### Análisis estadístico

En todos los casos se evaluó la normalidad de la distribución usando los test chi-cuadrado de bondad de ajuste, W de Shapiro-Wilks y Z para curtosis y asimetría. Se usó logaritmo natural para normalizar la conductividad hidráulica y  $[\pi/2 \arcsen(x)^{0.5}]$  para el IHO. Posteriormente se identificaron datos atípicos o extraños usando el Rango Intercuartil y puntaje Z. Cuando hubo datos atípicos se los reemplazó por el valor medio obtenido. Para las comparaciones entre tratamientos se usó análisis de varianza y comparación de medias con Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Se utilizaron las funciones disponibles para estadística descriptiva en Microsoft Corporation (2018): análisis de la varianza, error cuadrático medio relativo y comparación de medias. Para  $K_0$  y  $K_{0,3}$  se presentan los valores medios convertidos con la siguiente expresión  $x = \exp(z+0,5 s^2)$  donde “x” es la media aritmética calculada a partir de los valores transformados; “z” la media logarítmica y “s2” la varianza de los datos transformados (Mulla y McBratney, 2000, pp. A321-A349).

### Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se presentan los parámetros de ajuste a los modelos de la CRH (ecuación 1) y de la CRM (ecuación 2), para las dos profundidades evaluadas en los tratamientos. El coeficiente de determinación fue en todos los casos superior a 0,85 y el error cuadrático medio relativo estuvo entre 6 y 10% para CRH y 3 a 8% para CRM, dando intervalos de predicción aceptables. Estos resultados muestran la calidad de las mediciones y de la selección de las ecuaciones de ajuste, imprescindibles para el cálculo del IHO y de la  $M_a$ .

TABLA 1 / TABLE 1

**Tabla 1.** Parámetros de ajuste de la curva de retención hídrica y de la curva de resistencia mecánica del suelo estudiado en los diferentes tratamientos. / **Table 1.** Adjustment parameters of the water retention curve and the mechanical resistance curve in different treatments of the soil studied.

Tratamiento	Estrato	-----CRH-----			-----CRM-----		
		$\theta_s$	$\alpha$	$\beta$	a	b	c
V	5-10	0,541	0,021	0,525	0,330	-1,234	1,582
GA	5-10	0,543	0,025	0,516	0,055	-2,535	2,076
AG	5-10	0,533	0,057	0,376	0,103	-2,090	1,221
AC	5-10	0,497	0,035	0,440	0,603	-0,583	2,893
V	15-20	0,487	0,020	0,512	0,322	-1,382	0,498
GA	15-20	0,528	0,035	0,478	0,113	-1,525	3,842
AG	15-20	0,478	0,029	0,434	0,085	-2,357	2,189
AC	15-20	0,451	0,042	0,353	0,017	-3,025	4,994

Tratamientos: V, prístino; AC, agricultura continua; AG, rotación agrícola ganadera y GA, rotación ganadero agrícola. CRH, curva de retención hídrica;  $\theta_s$ , contenido hídrico en saturación;  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros de ajuste del modelo. CRM, curva de resistencia mecánica; RP, resistencia del suelo a la penetración  $\theta$ , contenido volumétrico de agua; a, b y c parámetros del ajuste del modelo.

Treatments: V, pristine; CA, continuous agriculture; GA, rotation 30% pasture 70% crops; AG, rotation 70% pasture 30% of crops. CRH, soil water retention curve;  $\theta_s$ , soil water content at saturation;  $\alpha$  and  $\beta$  model fitting parameters. CRM, soil mechanical resistance curve; RP, soil resistance to penetration;  $\theta$ , volumetric soil water content; a, b and c, model fit parameters.

### Intervalo hídrico óptimo, densidad del suelo y macroporosidad

Se registró una disminución significativa en el contenido de MO y de  $MO_p$  del horizonte (Tabla 2) y la  $D_s$  se incrementó en ambas profundidades en los diferentes tratamientos con el siguiente orden  $V < GA < AG < AC$  (Tabla 3), a pesar del incremento del contenido de arcilla en AC. La correlación negativa entre MO y  $D_s$  ya fue

observada por Ghiberto et al. (2015) cuando estudiaron la relación entre MO y  $D_s$  de 30 horizontes A y 30 horizontes B de Argiudoles y Hapludoles con una amplia variación de granulometría que incluían la región del presente.

TABLA 2 / TABLE 2

**Tabla 2.** Contenido de materia orgánica y composición granulométrica del suelo estudiado en los diferentes tratamientos. / **Table 2.** Soil organic matter and granulometry composition in different treatments of the soil studied.

Tratamiento	V	AC	AG	GA
MO (g kg <sup>-1</sup> )	69,6c	34,5a	43,8b	49,4b
MO <sub>p</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	23,3d	6,0a	11,2b	15,9c
Arena (g kg <sup>-1</sup> )	114,0a	64,6b	99,0a	96,4a
Limo (g kg <sup>-1</sup> )	634,6a	650,0a	658,6a	649,6a
Arcilla (g kg <sup>-1</sup> )	251,4ab	285,2a	242,2b	253,8ab

Tratamientos: V, prístino; AC, agricultura continua; AG, rotación agrícola ganadera y GA, rotación ganadero agrícola. MO, materia orgánica; MO<sub>p</sub>, materia orgánica particulada. Valores medios seguidos de la misma letra en cada fila no son significativamente diferentes ( $p < 0,05$  prueba de Tukey).

Treatments: V, pristine; CA, continuous agriculture; GA, rotation 30% pasture 70% crops; AG, rotation 70% pasture 30% of crops. MO, organic matter; MO<sub>p</sub>, particulate organic matter. Mean values followed for the same letters in each file are not significantly different ( $p < 0.05$ , Tukey test).

La compactación del suelo tuvo su origen en la degradación de la  $M_a$ . En el estrato superficial, disminuyó con el aumento de la intensidad de uso y en el subsuperficial fue inferior en los tratamientos con actividad antrópica comparados al suelo prístino (Tabla 3). Se puede observar que, en V, la  $M_a$  fue superior a 0,07 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>, valor considerado como óptimo (Reynolds et al. 2009, Ghiberto et al. 2015). Así, con las rotaciones y manejos efectuados en los suelos estudiados, al degradarse la  $M_a$  la capacidad de drenar rápidamente el exceso de agua y permitir la proliferación radical no es óptima, también debido al alto contenido de limo o arcilla, el bajo contenido de arena (Tabla 1) y la presencia de poros ocluidos propios de la matriz de estos suelos (Taboada et al., 2008).

Los cambios en  $D_s$  y  $M_a$  afectaron la amplitud del IHO (Tabla 3). El IHO en superficie (5-10 cm) para todos los tratamientos varió entre 0,08 y 0,11 considerados valores intermedios para esta propiedad según Pilatti y Orellana (2000). En otros Argiudoles en Santa Fe se encontraron valores tan altos como 0,19 (Pilatti y Orellana, 2012). Los lotes difieren significativamente entre los que actualmente tienen agricultura, respecto a V y GA que son similares.

En profundidad (15-20 cm) se encontró compactación, los cambios en el IHO fueron amplios y variaron entre 0,10 y 0,0, frecuente en este tipo de suelos como lo confirman Imhoff et al. (2018, pp. 278-304) y Ramos et al. (2018, pp. 307-325). Los mayores valores en V y GA donde no hubo remoción ni paso de maquinaria por -al menos- 4 años. En cambio, AG y AC denotan un gran deterioro físico en todo el A. El peor tratamiento es AC donde el IHO es cero. Esto significa que a cualquier contenido hídrico las raíces siempre encuentran alguna limitación física: falta de aireación, alta resistencia mecánica y/o el agua no está fácilmente disponible.

Debe advertirse que al comparar los lotes con sistemas combinados (AG y GA) con pasturas en pastoreo directo durante algunos años se revierte la reducción del IHO, es una práctica de manejo con efectos deseables en todo

plan de rotación. La inclusión de gramíneas en rotaciones en SD mejora la conductividad hidráulica y el IHO, fue comprobado por Pilatti et al. (1988) e Imhoff et al. (2010) en Argiudoles con similar granulometría que en esta Región de estudio.

**TABLA 3 / TABLE 3**

**Tabla 3.** Propiedades físicas del suelo en los diferentes tratamientos. /  
*Table 3.* Soil physical properties in the different treatments.

Tratamiento	Estrato cm	D <sub>s</sub> g cm <sup>-3</sup>	θ <sub>s</sub>	M <sub>a</sub>	θ <sub>a</sub>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>				D <sub>scrit</sub> g cm <sup>-3</sup>
						θ <sub>cc</sub>	θ <sub>RP</sub>	θ <sub>FU</sub>	IHO	
V	5-10	1,121a	0,541	0,112a	0,391	0,376	0,178	0,274	0,10ab	1,45
GA	5-10	1,192b	0,543	0,078b	0,393	0,358	0,229	0,253	0,11a	1,48
AG	5-10	1,270c	0,533	0,103a	0,383	0,355	0,218	0,276	0,08b	1,44
AC	5-10	1,281c	0,497	0,066b	0,347	0,343	0,183	0,258	0,09ab	1,43
V	15-20	1,218A	0,528	0,114A	0,378	0,338	0,179	0,237	0,10A	1,41
GA	15-20	1,314B	0,487	0,053B	0,337	0,348	0,204	0,254	0,08A	1,50
AG	15-20	1,414C	0,478	0,077B	0,328	0,352	0,291	0,276	0,04B	1,43
AC	15-20	1,440C	0,451	0,058B	0,301	0,34	0,320	0,286	0,00C	1,56

Tratamientos: V, prístino; AC, agricultura continua; AG, rotación agrícola ganadera y GA, rotación ganadero agrícola. D<sub>s</sub>, densidad de suelo; M<sub>a</sub>, macroporosidad; θ<sub>s</sub>, contenido de agua en saturación; θ<sub>a</sub>, contenido de agua donde la aireación no es limitante; θ<sub>cc</sub>, contenido de agua en capacidad de campo; θ<sub>RP</sub>, contenido hídrico restrictivo para crecimiento de raíces; θ<sub>FU</sub>, contenido de agua fácilmente utilizable; IHO, intervalo hídrico óptimo; D<sub>scrit</sub>, densidad de suelo crítica. Para cada estrato, en cada columna, valores medios seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes (p < 0,05 prueba de Tukey).

Treatments: V, pristine; CA, continuous agriculture; GA, rotation 30% pasture 70% crops; AG, rotation 70% pasture 30% of crops. D<sub>s</sub>, soil bulk density; M<sub>a</sub>, macroporosity; θ<sub>s</sub>, soil water content at saturation; θ<sub>a</sub>, soil water content at air capacity; θ<sub>cc</sub>, soil water content at field capacity; θ<sub>RP</sub>, restrictive soil water content for root growth; θ<sub>FU</sub>, soil water easily available by crops below which water stress begins; IHO, optimal hydric interval; D<sub>scrit</sub>, critical soil bulk density. For each stratum, in each column, mean values followed for the same letters are not significantly different (p < 0.05, Tukey test).

Nótese que el límite superior e inferior del IHO en superficie (ecuación 3) lo establece θ<sub>cc</sub> y θ<sub>FU</sub> respectivamente, lo que indica que es el agua fácilmente utilizable (la diferencia entre ambos, AFU) la que controla la magnitud del IHO. AFU varía entre 0,08 y 0,11 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> valores frecuentes para diversidad de texturas y niveles de degradación, excepto en los arenosos donde suele ser la mitad (Pilatti y Orellana, 2012). En los lotes bajo cultivo, en profundidad, el límite superior lo establece siempre θ<sub>a</sub>: es la aireación a la que hay que mejorar con el manejo. Para el límite inferior se alternan θ<sub>FU</sub> y θ<sub>RP</sub> siendo aquél en “V” y “GA” y este en los que están con manejo agrícola surge así la necesidad de descompactar.

### *Conductividad hidráulica*

En la Tabla 4 se presenta información referida al flujo de agua evaluado con tensioinfiltrómetros.

TABLA 4 / TABLE 4

**Tabla 4.** Conductividad hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ ) del horizonte A del Argiudol típico Los Cardos en lotes con diversos usos y manejos del suelo | **Table 4.** Hydraulic conductivity ( $\text{cm h}^{-1}$ ) for the A horizon of the typical Argiudol Los Cardos with different soil uses and management.

Tratamiento	-----Superficial-----					-----Subsuperficial-----				
	$K_0$	$K_{0,3}$	% flujo	% $D_{\text{flujo}}$	% $DK_0$	$K_0$	$K_{0,3}$	% flujo	% $D_{\text{flujo}}$	% $DK_0$
V	2,1a	1,1a	47,6	--	--	0,7a	0,4a	42,9	--	--
GA	1,1b	0,7b	36,4	60	47,6	0,5a	0,3a	40,0	33	28,6
AG	1,2b	0,6b	50,0	40	42,9	0,6a	0,3a	50,0	0	14,3
AC	0,6c	0,3c	50,0	70	71,4	0,6a	0,4a	33,3	33	14,3

Tratamientos: V, pristino; AC, agricultura continua; AG, rotación agrícola ganadera y GA, rotación ganadero agrícola.  $K_0$  y  $K_{0,3}$  conductividad hidráulica en 0 y 0,3 kPa de tensión; % flujo, porcentaje del flujo por macroporos mayores a  $500 \mu\text{m}$  de radio; %  $D_{\text{flujo}}$ , disminución de la capacidad de conducción de estos poros; % $DK_0$ , porcentaje de disminución de  $K_0$ . Letras diferentes (en columnas) tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$  prueba de Tukey).

Treatments: V, pristine; CA, continuous agriculture; GA, rotation 30% pasture 70% crops; AG, rotation 70% pasture 30% of crops.  $K_0$  y  $K_{0,3}$  hydraulic conductivity at 0 and 0,3 kPa; % flujo, percentage of flow through macropores greater than  $500 \mu\text{m}$ ; %  $D_{\text{flujo}}$ , decreased conduction capacity of these pores; % $DK_0$ , percentage decrease in  $K_0$ . Different letters (in columns) have significant differences ( $p < 0.05$ , Tukey test).

En superficie  $K_0$  y  $K_{0,3}$  es mayor en V; los tratamientos GA y AG son similares y el mayor deterioro de la K se registró en el manejo de AC. En el estrato subsuperficial la K fue baja sin mostrar diferencias entre tratamientos. La  $K_0$ , equivale a la conductividad hidráulica saturada en campo ( $K_s$ ) y se corresponde con lo sugerido por Food and Agriculture Organization [FAO] (1979) y por Rawls et al. (1998) quienes indican valores de  $K_s$  de 0,4 y 2,3  $\text{cm h}^{-1}$  para el cuartil inferior y superior; con valor medio de 0,8  $\text{cm h}^{-1}$  en suelos franco limosos, similares al horizonte donde se hicieron las mediciones.

En superficie, el flujo de agua (%flujo) por los macroporos de radio equivalente mayor a  $500 \mu\text{m}$  que se produce entre las tensiones de 0 y 0,3 kPa, representa una gran proporción respecto del total. Asumiendo que el flujo preferencial ( $F_p$ ) se da por poros mayores a  $500 \mu\text{m}$  de radio equivalente, la diferencia entre  $K_0$  y  $K_{0,3}$  representaría en superficie un  $F_p$  en V de 1  $\text{cm h}^{-1}$  y de 0,3  $\text{cm h}^{-1}$  en AC y en profundidad de 0,3  $\text{cm h}^{-1}$ . Se puede inferir de este estudio que la AC alteró negativamente la trama porosa en superficie, en los lotes bajo cultivo se redujo  $K_0$  a la mitad y ninguno de ellos se muestra con capacidad para recuperarla en los sistemas de rotación AG y GA. Por otra parte, en el horizonte superficial, % $D_{\text{flujo}}$  y % $DK_0$  evidenciaron el deterioro de la conductividad hidráulica especialmente en el tratamiento AC respecto de V.

A los 15 cm de profundidad K fue baja en todos sin haber diferencias significativas entre tratamientos. A esta profundidad, la baja diferencia entre los valores de  $K_0$  y  $K_{0,3}$  en cada tratamiento, sugiere que habría pocos poros de radio equivalente mayor a  $500 \mu\text{m}$ , debido a la relación exponencial que existe entre K y el aumento del tamaño de poros. La degradación de la calidad física en estos suelos exacerba estos problemas como se evidencia en Argiudoles y Hapludoles regados con aguas sódicas-bicarbonatadas y en Argiudoles cuando se aplicaron sistemas de labranza convencional o SD sin la inclusión de gramíneas en la rotación de cultivos (Pilatti et al., 2006; Ghiberto et al., 2007; Imhoff et al., 2010).

### Estabilidad de agregados

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 5. En general la estabilidad de agregados es alta. No hay diferencias en el grado de agregación ( $E_{ol}$ ), pero la  $E_a$  desciende significativamente en los planteos agrícolas (AC y AG); siendo notable cómo se incrementa el efecto de estallido en AC lo que revela menor macroporosidad e

interconexiones intragregados. La  $E_r$  fue superior a 0,54 en todos los casos indicando una buena condición estructural, propia de la elevada CS del suelo estudiado. Según Orellana y Pilatti (1994), analizando muestras de toda la provincia de Santa Fe, interpretaron que para  $E_r < 0,19$  indica suelo degradado; entre 0,19 y 0,54 transición; a partir de  $< 0,34$  señal alarma de degradación y  $> 0,54$  deterioro admisible, teniendo este valor estrecha relación con el contenido de MO del suelo.

**TABLA 5 / TABLE 5**

**Tabla 5.** Estabilidad de agregados del horizonte A del Argiudol típico Los Cardos en lotes con diversos usos y manejos del suelo. | **Table 5.** Aggregate stability for the A horizon of the typical Argiudol Los Cardos with different soil uses and management.

Tratamientos	$E_{ol}$	$E_a$	Estallido	$E_r$
	----- (%) -----			
V	81a	75a	6	0,93
GA	80a	71a	9	0,89
AG	76a	65b	11	0,86
AC	78a	47c	31	0,60

Tratamientos: V, prístino; AC, agricultura continua; AG, rotación agrícola ganadera y GA, rotación ganadero agrícola.  $E_a$ , estabilidad de agregados con pretratamiento en agua;  $E_{ol}$ , en alcohol;  $E_r$ , índice de estabilidad relativa. Letras diferentes (en columnas) tienen diferencias significativas ( $p < 0,05$  prueba de Tukey).

Treatments: V, pristine; CA, continuous agriculture; GA, rotation 30% pasture 70% crops; AG, rotation 70% pasture 30% of crops.  $E_a$ , aggregate stability with pretreatment in water;  $E_{ol}$ , aggregate stability with alcohol pretreatment;  $E_r$ , relative stability index. Different letters (in columns) have significant differences ( $p < 0.05$ , Tukey test).

Mejora en la estabilidad estructural a corto plazo fue asociada a la utilización de cultivos de cobertura en Argiudoles abrupticos de textura franco limosa y con un contenido medio de carbono superficial de  $19,0 \text{ g kg}^{-1}$ , de la región Pampeana. Este efecto se atribuyó a la acción de las raíces, la descomposición de los rastrojos y su contribución al mantenimiento de la materia orgánica, variando según las especies utilizadas (avena, vicia o combinaciones gramíneas-leguminosas), lo que subraya el potencial de esta práctica en sistemas de siembra directa (Castiglioni y Kraemer, 2019).

Los valores de los atributos del V (Tablas 2, 3, 4 y 5) pueden considerarse como referencia de la CS prístino y ser utilizados para el diagnóstico su degradación, para así evaluar en qué medida se alejan de la condición óptima para brindar servicios ecosistémicos. En particular, la CS natural del Argiudol típico Los Cardos con  $69,6 \text{ g kg}^{-1}$  de MO en superficie, establece como referencia un valor de  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  del IHO. La  $K_s$ ,  $F_p$ ,  $D_s$  y  $Ma$  fue de  $2,1 \text{ cm h}^{-1}$ ,  $1 \text{ cm h}^{-1}$ ,  $1,121 \text{ g cm}^{-3}$  y  $0,112 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  respectivamente. Para  $E_a$  define un valor de 75%, superior a los lotes en agricultura y un  $E_r$  de 0,93; próximo al ideal. En los lotes cultivados es la  $E_a$  la que mostró mayor sensibilidad; dejando en evidencia que a mayores años de agricultura menor estabilidad; lo inverso ocurre con  $K_s$ ,  $F_p$  y  $Ma$  que no detectan diferencia entre esos tratamientos. El IHO y  $D_s$  indican que los lotes con agricultura (AC y AG) deterioran estas propiedades, pero con un período de pasturas se recupera parcialmente.

## Conclusiones

Los valores de las propiedades físicas evaluadas en superficie son mejores en V respecto a los otros tratamientos y pueden tomarse como línea base ambiental de referencia para la CS del Argiudol típico Los Cardos para los indicadores considerados. Entre tratamientos cultivados se destaca GA sobre los otros mostrando el efecto benéfico de la pastura polifítica durante 4 o más años, deseable en todo plan de manejo y rotación. Ese efecto desaparece en AG después de 6 años de agricultura y AC originó la mayor degradación a pesar de haber sido manejado en SD. Es importante destacar la importancia de la determinación de rutina de los indicadores utilizados por su sensibilidad para detectar diferencias entre tratamientos, como por la posibilidad de interpretar esos datos en términos de calidad física del suelo como el grado de degradación.

## Agradecimientos

A la empresa de Las Magnolias por su interés en esta problemática y apoyo económico durante la administración von Buch y al Ing. Agr. E. Tecco. A la UNL (CAI+D 2020; 50620190100042) por el apoyo. Al Ing. Agr. E. Gasparotti por su constante ayuda y buena predisposición. A los Ing. Agr. T. Landucci y P. Tatare y a los estudiantes de Agronomía (FCA, UNL) J. Walter, L. Manero y R. Falchini por su colaboración incondicional en la toma de muestra y procesamiento.

## Referencias

- Andrews, S.S., Karlen, D.L., & Cambardella, C.A. (2004). The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of American Journal*, 68(6), 1945-1962. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>
- Andriulo, A.; Galantini, J., Pecorari, C., & Torioni, E. (1991). Materia orgánica del suelo en la región Pampeana Argentina: un método de fraccionamiento por tamizado. *INTA EEA Pergamino. Informe Técnico N°250*.
- Ankeny, M.D., Ahmed M., Kaspar, T.C., & Horton, R. (1991). Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of American Journal*, 55(2), 467-470. <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500020028x>
- Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Bulk density (pp. 363-375). En A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis - Physical and Mineralogical Methods*. America Society of Agronomy.
- Busscher, W. J. (1990). Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 33(2): 519-524.
- Castiglioni, M.G., & Kraemer, F.B. (2019). Short-term effect of cover crops on aggregate stability assessed by two techniques. *Ciencia del Suelo*. 37(2): 298-314.
- Fernández, R.; Lucas, M.M.R.; Painemilla, L.A., & Quiroga, A. (2021). Efecto de las pasturas perennes en la estructura de Molisoles, de la región semiarida pampeana. Parte II. *Ciencia del Suelo*, 39 (2): 285 -306.
- Food and Agriculture Organization. (1979). Soil Survey Investigations for Irrigation. *FAO Soil Bull.* 42.
- Gee, G. W., & Bauder, J. C. (1986). Particle size análisis (pp. 383-411). En A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods* (2.ª ed.). America Society of Agronomy.
- Ghiberto, P.J., Pilatti, M., Imhoff, S., & Orellana, J.A. de. (2007). Hydraulic conductivity of Molisolls irrigated with sodic-bicarbonated waters in Santa Fe (Argentina). *Agricultural Water Management*, 88(1-3), 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.013>
- Ghiberto, P.J., Libardi, P.L., Imhoff, S., Silva da, A.P., Tormena, C.A., & Pilatti, M. A. (2015). Soil physical quality of Mollisols quantified by a global index. *Scientia Agricola*, 72(2): 167-174. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0414>
- Hénin, S., Gras, R., & Monnier G. (1972). *El perfil cultural* (pp. 142-146). Mundi Prensa.
- Imhoff, S., Ghiberto, P.J., Grioni, A., & Gay, J.P. (2010). Porosity characterization of Argiudolls under different management systems in the flat Pampas of Argentina. *Geoderma*, 158(3-4), 268-274. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.005>
- Imhoff, S., Pilatti, M.A., Carrizo, M.E., Masola, M.J., Marano, R.P., & Felli, O. (2018). *Compactación en suelos del centro y norte de Santa Fe*. En C.R., Alvarez & P.A. Imbellone (Eds.), *Compactaciones naturales y antrópicas en suelos argentinos* (pp. 278-304). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. <https://www.suelos.org.ar/sitio/nuevo->

libro-aacs-on-line-compactaciones-naturales-y-antropicas-en-suelos-argentinos/

- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1980). Carta de suelos provincia de Santa Fe. Hoja las Rosas 3363-12. INTA, Rafaela.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1989). Degradación de suelos por intensificación de la agricultura. INTA, Rafaela.
- Instituto argentino de normalización y certificación. (2009). Calidad ambiental - Calidad del suelo. Pretratamiento de muestras de suelo de uso agropecuario para análisis físicos y químicos con secado en estufa. *IRAM/SAGyP*, 29578. <https://iramcoleccion.org.ar/norma.aspx?ID=8538>
- Instituto argentino de normalización y certificación. (2016). Calidad ambiental. Calidad de suelo. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 3 Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, microescala. *IRAM/SAGyP*, 29571(3), 2016. <https://iramcoleccion.org.ar/norma.aspx?ID=9611>
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 4-10.
- Klute, A. (1986). Water retention: Laboratory Methods (pp. 635-660). En A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis - Physical and Mineralogical Methods*. America Society of Agronomy.
- Labaz, B., Hartemink, A. E., Zhang, Y., Stevenson, A., & Kabala, C. (2024). Organic carbon in Mollisols of the world: A review. *Geoderma*, 447, 116937. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116937>
- Li, N., Li, L.-J., Zhu-Barker, X., Cheng, Y., Liu, J.-J., & Chang, S. X. (2022). Foreword: Degradation and evolution of Mollisols under different management practices and climate change. *Soil Science Society of America Journal*, 86(6), 1379–1382. <https://doi.org/10.1002/saj2.20481>
- Liu, X., Burras, C. L., Kravchenko, Y. S., Duran, A., Huffman, T., Morras, H., Studdert, G., Zhang, X., Cruse, R. M., & Yuan, X. (2012). Overview of Mollisols in the world: Distribution, land use and management. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(3), 383–402. <https://doi.org/10.4141/CJSS2010-058>
- Michelena, R.O., Iruiria, C., Vavruska, F., Mon, R., & Pittaluga, A. (1986). Degradación de suelos en el norte de la región Pampeana. *INTA*, Pub. Téc. 6.
- Microsoft Corporation. (2018). Microsoft Excel. Recuperado de <https://office.microsoft.com/excel>
- Mulla, D.J. & McBratney, A.B. (2000). Soil Spatial Variability. En M.E. Sumner (Ed.) *Handbook of Soil Science* (pp. A321-A349). CRC Press.
- Orellana, J.A. de, & Priano, L. (1975). La erosión en Santa Fe. *Ciencia e Investigación*, 30(11-12), 290-297.
- Orellana, J.A. de, & Pilatti, M.A. (1994). La estabilidad de agregados como indicadores edáficos de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo*, 12(2), 75-80. <https://www.suelos.org.ar/sitio/volumen-12-numero-2-diciembre-1994/>
- Panigatti, J.L., Weber, J.A., & Pilatti, O. (1982). Estado actual y futuro de los problemas de suelos en Santa Fe. *Consejo de Tecnología Agropecuaria de la provincia de Santa Fe*.
- Pilatti, M.A., Orellana, J.A. de, Priano, L., Felli, O., & Grenón, D. (1988). Manejos tradicionales y conservacionistas: Incidencia sobre propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estudio de casos sobre Argiudoles del sur de Santa Fe. *Ciencia del Suelo*, 6(2), 19-29. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_6n1/Pilatti.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_6n1/Pilatti.pdf)
- Pilatti, M. Á., & de Orellana, J. A. (2000). The ideal soil. II: Critical values of the ideal soil, for Mollisols in the north of the Pampean Region (in Argentina). *Journal of Sustainable Agriculture*, 17(1), 89-111.
- Pilatti, M.A., Imhoff, S., Ghiberto, P., & Felli, O. (19 al 22 de setiembre de 2006). *Cambios por el uso en Argiudol típico, sur de Santa Fe. 2) Evolución propiedades físicas: 1983 a 2003*. XX Congreso Argentino de la Ciencia del

Suelo, Salta, provincia de Salta, Argentina.

- Pilatti, M.A., Imhoff, S., Ghiberto, P.J., & Marano, R.P. 2006. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma*, 133(3-4), 431-443. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.08.007>
- Pilatti, M.A., & Orellana, J.A. de. (2012). Suelos ideales para agricultura sostenible. *Revista FAVE sección Ciencias Agrarias*, 11(1), 65-87. <https://doi.org/10.14409/fa.v11i1>
- Pilatti, M.A., Orellana, J.A. de, Imhoff, S., & Silva, A.P. da (2012). Review of the critical limits of the optimal hydric Interval. *Ciencia del Suelo*, 30(1), 9-21. [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_30n1/Pilatti%20et%20al%20pp-09-21.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_30n1/Pilatti%20et%20al%20pp-09-21.pdf)
- Pilatti M.A., Alesso, C., Felli, O., & Miretti, M. (2022). Toma de muestras en suelos. En M.A., Pilatti P.J. Ghiberto & J.A. de, Orellana (Eds.), *Diagnóstico edafológico: Mirando al suelo con ojos de planta* (p.147-180). Ediciones UNL. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/6714>
- Piñeiro, A., Pilatti, M.A., & Mistrorigo, D. (1982). Degradación del recurso natural suelo y la consecuente disminución de la productividad de la región noreste de Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Santa Fe.
- Ramos, J., Pilatti, M.A., Felli, O., & Imhoff, S. (2018). *Biosensores de la resistencia mecánica: aspecto de las raíces a la compactación*. En C.R., Alvarez & P.A. Imbellone (Eds.), *Compactaciones naturales y antrópicas en suelos argentinos* (pp. 307-325). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. <https://www.suelos.org.ar/sitio/nuevo-libro-aacs-on-line-compactaciones-naturales-y-antropicas-en-suelos-argentinos/>
- Rawls, W. J., Gimenez, D., & Grossman., R. (1998). Use of soil texture, bulk density, and slope of the water retention curve to predict saturated hydraulic conductivity. *Transactions of the ASAE*, 41(4), 983-988. <https://doi.org/10.13031/2013.17270>
- Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., & Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152(3-4), 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009>
- Scanlon, B.R., Andraski, B.J., & Bilskie, J. (2002). Miscellaneous methods for measuring matric or water potential (pp. 643-670). En J.H., Dane, & C., Topp (Eds.), *Methods of soil analysis. Part IV: Physical methods*. American Society of Agronomy.
- Seniglagliesi, C. (1991). Estado actual y manejo de los recursos naturales, particularmente el suelo, en el sector norte de la pampa húmeda. En *Juicio a nuestra agricultura. Hacia el desarrollo de una agricultura sostenible* (pp. 31-49). Editorial Hemisferio Sur.
- Taboada, M.A., Barbosa, O.A., & Cosentino, D.J. (2008). Null creation of air-filled structural pores by soil cracking and shrinkage in silty loamy soils. *Soil Science*, 173(2), 130-142. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e31815d8e9d>
- Villarreal, R., Lozano, L. A., Polich, N. G., Salazar, M. P., Barraco, M., & Soracco, C. G. (2022). Cover crops effects on soil hydraulic properties in two contrasting Mollisols of the Argentinean Pampas region. *Soil Science Society of America Journal*, 86(6), 1397-1412. <https://doi.org/10.1002/saj2.20373>
- Villarreal, R., Lozano, L. A., Melani, E., Polich, N., Salazar, M. P., Bellora, G., & Soracco, G. (2021). Short-term effects of cover crop inclusion under no-tillage management on soil physical quality. *Ciencia del Suelo*, 39(2), 233-252.

## AmeliCA

AmeliCA  
Ciencia Abierta para el Bien Común

Pilatti, Miguel Ángel; Felli, Osvaldo Mario; Pozzi, Ricardo; Miretti, María Celeste; Nicolier, Juan Gabriel; Ghiberto, Pablo Javier

Cambios en las propiedades físicas de un Argiudol con diferentes sistemas de manejo y rotación de cultivos  
*Physical properties changes of an Argiudoll with different crop rotation and management systems*

*Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias*  
núm. 24, e0041, 2025  
Universidad Nacional del Litoral, Argentina  
revistafave@fca.unl.edu.ar

**ISSN:** 2346-9129  
**ISSN-E:** 2346-9129

**DOI:** <https://doi.org/10.14409/fa.2025.24.e0041>