

PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ARGUJUDOL ÁCUICO BAJO DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

TANIA SOLEDAD REY MONTOYA¹; FEDERICO ANTONIO PAREDES^{1,2}; HUMBERTO CARLOS DALURZO^{*1};
CAROLINA FERNÁNDEZ LOPEZ¹ & ROBERTO MARTIN KERSTING¹

Recibido: 04-10-16

Recibido con revisiones: 17-11-16

Aceptado: 18-12-16

RESUMEN

El objetivo fue evaluar las propiedades físicas del suelo bajo diferentes sistemas de labranzas y secuencias de cultivos en un Argjudoll Ácuico de Corrientes, a fin de obtener indicadores de calidad. El diseño fue de parcelas completamente aleatorizadas en arreglo factorial (3x4), donde los factores fueron: • Sistemas de labranzas, con tres niveles: convencional (LC), reducida (LR) y siembra directa (SD); y • Secuencias de cultivos, con cuatro niveles: maíz-avena (M-Av), maíz-descanso (M-D), algodón-avena (A-Av) y algodón-descanso (A-D). Los tratamientos fueron 12, con 4 repeticiones y 48 unidades experimentales. En la siembra de maíz y algodón, del cuarto ciclo productivo, se determinó densidad aparente (Da), estabilidad de agregados (EA), Infiltración (Ib) y resistencia mecánica a la penetración (RMP), en condiciones de capacidad de campo (CC). Se aplicó análisis de la varianza con la prueba de Duncan. La RMP fue 0,27 MPa en superficie para SD respecto de LR y LC (0,18 MPa), en cambio en profundidad se revirtió la situación, 0,9 MPa en SD y 1,17 MPa para LC ($\alpha \leq 0,05$). La EA fue 68,3% en SD; 54,8% en LR y 49,5% en LC ($\alpha \leq 0,05$). También aumentó la infiltración bajo SD (2,9 cm h⁻¹), seguidos por LR y LC ($\alpha \leq 0,05$). Los atributos que podrían indicar calidad de suelo serían: a) La RMP disminuyó por el laboreo del suelo en superficie, con LC y LR, pero presentó la mejores condiciones bajo SD en profundidad; b) Las rotaciones que finalizaron con algodón tuvieron menor RMP (7-20 cm) que con cultivos de maíz; c) La EA y la Ib presentaron los mayores valores en SD. Las prácticas que favorecieron la EA colaboraron a una mayor Ib e implicaría una menor escorrentía y erosión hídrica; d) La SD presentó las variaciones más favorables para mantener la calidad del suelo.

Palabras clave. Sistemas de labranzas, secuencias de cultivos, calidad de suelos.

PHYSICAL PROPERTIES OF AN ACUIC ARGUJUDOLL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT

The objective was to evaluate the physical properties of soil under different tillage systems and crop sequences in an Ácuic Argjudoll of Corrientes, to obtain quality indicators. The design was a completely randomized plots in factorial arrangement (3x4), where the factors were: • Tillage system, with three levels: conventional (LC), reduced (LR) and no tillage (SD); • Crop sequences with four levels: corn-oats (M-Av), corn-fallow (M-D), cotton-oats (A-Av) and cotton-fallow (A-D). The treatments were 12, with 4 replicates and 48 experimental units. In the corn and cotton seeding of the fourth production cycle, bulk density (BD), aggregate stability (AS), Infiltration (In) and mechanical resistance to penetration (MRP) were determined under field capacity conditions (CC). Variance analysis was applied with Duncan test. The MRP was higher in SD (0.27 MPa) on the surface than LR and LC (0.18 MPa), while at 7-20 cm this trend was opposite, 0.9 MPa in SD and 1.17 MPa in LC ($\alpha \leq 0, 05$). The AE was 68.3% in SD; 54.8% in LR and 49.5% in LC ($\alpha \leq 0.05$). It also increased infiltration under SD (2.9 cm h⁻¹), followed by LR and LC ($\alpha \leq 0.05$). The soil attributes could indicate soil quality would be: a) The MRP decreased by tilling soil surface with LC and LR, but presented the best conditions under SD in depth b) The rotations that ended with cotton had lower MRP (7-20 cm) than with maize crops; c) AS and In presented the highest values in SD. The practices that favored the AS collaborated to a greater In and would imply a less runoff and water erosion; d) SD presented the most favorable variations to maintain soil quality.

Key words. Tillage systems, crop sequence, soil quality.

1. Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE

2. INTA EEA Corrientes

* Autor de contacto: hcdalurzo@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola de los productores familiares del Norte de Corrientes genera condiciones de manejo que pueden afectar las propiedades físicas del suelo. El laboreo excesivo y la falta de rotación provocan la degradación física de los suelos, especialmente cuando existen limitaciones para la producción o extensa historia agrícola. Los suelos con agricultura de Corrientes, están frecuentemente expuestos a prácticas agresivas que han ocasionado su degradación, como labranzas superficiales, barbechos cortos y baja reposición de nutrientes (Ligier & Kurtz, 2001). Tanto las secuencias de cultivos como el tipo e intensidad de las labranzas modifican directa e indirectamente las propiedades físicas del suelo (Katsvairo *et al.*, 2002), modificando la captación y aprovechamiento del agua.

Tradicionalmente la agricultura se ha realizado con sistemas de labranza convencional, con uso de arados de rejas y vertederas o de discos y rastras con inversión del pan de tierra, dejando los suelos desprovistos de rastrojos en superficie. Este hecho, sumado a la gran cantidad de años de agricultura, contribuyó a que muchos suelos hayan sufrido procesos de degradación muy marcados (Venialgo *et al.*, 2005). Se considera que los procesos de degradación física del suelo afectan desfavorablemente las condiciones edáficas cuando estos cambios disminuyen la producción agrícola o provocan demandas de mayores insumos para mantener su productividad (Venialgo *et al.*, 1999).

Las labranzas y el manejo de rastrojos juegan un rol crucial en el uso sustentable del suelo y del agua debido a sus efectos sobre la mayoría de los indicadores de sustentabilidad (Lal, 1991; Lal & Kimble, 1997; Lattanzi, 1998). Particularmente, la distribución del tamaño de los poros y agregados difiere entre situaciones con y sin laboreo (Pikul *et al.*, 1990). La estructura del suelo define la forma y la distribución del sistema poroso, y es una de las propiedades que puede alterarse fácilmente por las labores agrícolas, actividades ganaderas o cualquier otro tipo de perturbación.

Las labranzas utilizadas por los minifundistas de la región, como la LC producen la ruptura de los macroagregados por acción física directa y originan la pérdida de la materia orgánica (MO) al exponer las fracciones protegidas dentro de éstos (Tisdall & Oades, 1982; Franzluebbers *et al.*, 1995).

La EA es una propiedad importante dado que ayuda a mantener una alta infiltración de agua al resistir la formación de sellos superficiales, favoreciendo la aireación y la

retención de agua para las plantas, (Kladivko, 1994; Unger, 1997). La EA en la región pampeana resultó un buen parámetro para distinguir suelos bajo SD con rotaciones con mayor uso de cultivos de soja y otros con equilibrio entre gramíneas y leguminosas (Castiglioni *et al.*, 2013). También resultó adecuada para discriminar condiciones de uso y manejo en tres Órdenes de suelos (Pelludert Árgico, Ocracualf Vértico y un Argiudol Ácuico), reflejando tendencias al deterioro y a la recuperación. (Gabioud *et al.*, 2011). En suelos del centro sur de la provincia de Córdoba, la EA diferenció situaciones sin disturbar con los sistemas bajo SD y LR pero sin diferencias estadísticas entre ellos (Parrá *et al.*, 2011).

Roldán *et al.* (2014) evaluando la EA en el Sudeste Bonaerense bajo dos sistemas de labranza, hallaron incrementos en superficie con SD respecto a la LC. En cambio en la pampa semiárida, con SD, desmejoró la condición física del suelo con incrementos de la Da y de la RMP, disminuciones de la porosidad total y del volumen de macroporos, y sin aumentos del carbono orgánico en el mediano a largo plazo respecto de LR (Schmidt & Amiotti, 2015).

Las labranzas y las rotaciones de cultivos ejercen una marcada influencia sobre el funcionamiento del suelo y el comportamiento de los cultivos, (Domínguez *et al.*, 2005), modificando la EA, la Da, la distribución del tamaño de los poros, la dinámica del agua y la RMP.

La RMP, medida a campo, es una determinación que integra el grado de compactación del suelo, contenido de humedad, textura y tipo de arcilla, y se constituye en un índice de la resistencia del suelo que involucra tanto a la consistencia como a la agregación del mismo. Los suelos bien estructurados ofrecen óptimas condiciones para la penetración y el crecimiento de las raíces, presentan buena infiltración y capacidad de retención de agua. Por el contrario, al perder la EA, los suelos comienzan a manifestar deficiencia hídrica, problemas de anclaje de raíces e implantación de los cultivos (Ingaramo, 2003). Las labranzas aceleran la descomposición de la materia orgánica y destruyen los agregados estables (Dexter, 1991). La estabilidad de los mismos puede ser uno de los indicadores que permita evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas (Pilatti *et al.*, 1998). Dicha estabilidad está sujeta a cambios por efecto de la alternancia de procesos de humedecimiento-secado siendo la capa superficial la más afectada (Silenzi *et al.*, 1987).

Los distintos manejos de suelos alteran la velocidad de infiltración de agua y con ello la captación de agua en el

perfil, característica física de gran interés agrícola. Cuando las labranzas modifican la distribución del tamaño de los poros en la capa arable, aumenta la infiltración y se produce un incremento en la capacidad del suelo para retener agua a bajas succiones. Los cambios en la geometría del espacio poroso inducidos por las labranzas disminuyen la infiltración y la capacidad de retención de agua por debajo de esta capa (Pla, 1994).

El estudio de los cambios que la agricultura ocasiona en las propiedades físicas y químicas de los suelos han sido evaluadas con un objetivo productivo, y actualmente hay un interés por la caracterización y cuantificación de estos cambios desde el punto de vista ambiental, con un creciente interés en sus consecuencias en la calidad del suelo, el agua y la atmósfera que operan frente a la expansión de diferentes cultivos, y sobre todo de los sistemas de cultivos bajo SD y rotaciones, ya que en una agricultura moderna es fundamental mejorar la calidad de diagnóstico del funcionamiento físico del suelo con la finalidad de elaborar mejores estrategias de manejo. Al mismo tiempo, se necesitan indicadores confiables y prácticos para el estudio de la evolución de los suelos en general, y de la dinámica del agua edáfica en particular (Gil, 2002).

Numerosos autores plantearon los efectos beneficiosos de la SD sobre las propiedades del suelo (Studdert & Echeverría, 2002; Aparicio & Costa, 2007; Roldán *et al.*, 2014) mientras otros, expresaron situaciones contradictorias en dicho sentido (Mc Vay *et al.*, 2006; Álvarez & Steinbach, 2009; Schmidt & Amiotti, 2015). En el presente trabajo se plantea evaluar esta situación en una zona extrapampeana, que cuenta con escasa información en el contexto de una producción de la agricultura familiar.

El objetivo fue evaluar las propiedades físicas del suelo tales como infiltración de agua, estabilidad de agregados, densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración bajo diferentes sistemas de labranzas y secuencias de cultivos en un Argiudol Ácuico de Corrientes, a fin de obtener indicadores de calidad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un ensayo de la EEA Corrientes del INTA (latitud 27°39'S; longitud 58°46'W) sobre un suelo de la Serie Treviño clasificado como Argiudol Ácuico, de familia arcillosa fina hipertérmica (Escobar *et al.*, 1996) de textura franco arenosa en el horizonte A y franco arcillo arenosa en el Bt.

El diseño experimental empleado fue en parcelas completamente aleatorizadas con arreglo factorial (3x4). Los factores fueron: a) Sistemas de labranzas (SL), con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y siembra directa (SD); y b) Secuencias de cultivos (Secuencias), con la combinación de dos cultivos de renta: maíz amarillo (M), y algodón (A), usando en invierno un cultivo de cubierta: avena negra (Av) o dejar el terreno en descanso (D) con presencia de la vegetación espontánea. El primer y segundo años se implantó: M-Av-A-Av; M-D-A-D; A-Av-M-Av y A-D-M-D. El tercer y el cuarto año se repitieron las mismas secuencias de cultivos. Los tratamientos fueron doce, cada uno con cuatro repeticiones (Tabla 2), totalizando 48 unidades experimentales con un tamaño de parcela de 140 m². Los muestreos correspondieron al cuarto ciclo productivo.

Los sistemas de labranza empleados fueron: LC: con remoción de suelo e incorporación de rastrojos por métodos mecánicos. Se utilizó rastra de discos de tiro excéntrico, realizando cuatro pasadas y rastra de dientes para la preparación de la cama de siembra; LR: con dos pasadas consecutivas de rastra de discos con semi-incorporación de rastrojos; SD: aplicando control químico de las malezas, dejando los rastrojos en superficie.

Los cultivos empleados fueron: Maíz (*Zea mays* L.), variedad Amarillo criollo, de ciclo intermedio, sembrado en la primera quincena de septiembre. Densidad de siembra: 55.000 semillas ha⁻¹. Espaciamiento: 0,7 m entre líneas; Algodón (*Gossypium hirsutum* L.) sembrado en la primera quincena de noviembre. Densidad: 180.000 semillas ha⁻¹ (ajustada al poder germinativo). Espaciamiento: 0,7 m entre líneas; Avena negra (*Avena strigosa* L.) sembrada en manto ("al voleo") en mayo.

Infiltración: Se determinó por el método de los anillos concéntricos midiendo el flujo de la lámina agua a través de la superficie del suelo en el anillo interno. Inicialmente las lecturas se realizaron cada minuto hasta los cinco minutos; luego a intervalos de 5 minutos, hasta alcanzar los 30 minutos, y finalmente cada 10 minutos hasta que el ingreso se hizo constante. Al registrarse más de dos lecturas consecutivas iguales, correspondió a la infiltración mínima del agua en el suelo o infiltración básica, aplicando el modelo matemático de Kostiaikov (Pla, 1983). Se realizaron dos mediciones por parcela (n= 96).

Agua retenida en condiciones de capacidad de campo: se realizaron en el mismo lugar donde se efectuaron las mediciones de infiltración, transcurridas 48 horas con el suelo cubierto con un film para evitar pérdidas por evaporación. Se tomaron dos muestras por parcela y profundidad (0-7; 7-20 y 20-30 cm), determinándose el contenido de agua gravimétricamente (Pla, 1983), totalizando 288 muestras.

Resistencia mecánica a la penetración se determinó con un penetrómetro de impacto de punta cónica de 60° con un vástago de 50 cm donde se desplaza una pesa de 2 kg que al

dejarla caer libremente golpea contra el tope y hace penetrar la sonda en el suelo (Pla, 1996). Se hicieron dos mediciones por parcela para los intervalos 0-7 cm, 7-20 cm y 20-30 cm en condiciones de humedad a capacidad de campo. Simultáneamente se tomaron muestras de suelo para determinar humedad gravimétrica totalizando 288 muestras, y calculando la RMP en MPa para cada intervalo mencionado.

Densidad aparente: método del cilindro (Pla, 1983). Se realizó un muestreo independiente de los anteriores, tomándose dos muestras por cada profundidad (0-7 cm y 7-20 cm) y por parcela. El tamaño de los cilindros fue de 99,5 cm³. En el laboratorio se registró el peso seco a 105 °C, totalizando 192 muestras.

Estabilidad de agregados: se utilizaron dos muestras compuestas por tres submuestras por parcela y por profundidad (0-7 cm y 7-20 cm), extraídas con pala, seleccionando los agregados comprendidos los tamices con mallas entre 3,36-2 mm. Para la determinación se humedecieron por capilaridad. Se emplearon tamices de 0,5 mm, colocados en un equipo para la medición de estabilidad (Kemper & Rosenau, 1986), el cual realiza movimientos oscilatorios ascendentes, cuya longitud del recorrido de 13 mm, y una frecuencia de 35 veces por minuto. Los agregados que soportaron el tamizado fueron secados a estufa a 105 °C por 24 hs y luego pesados. Seguidamente los agregados se dispersaron, pasando la suspensión nuevamente

por los filtros. Los remanentes retenidos se secaron y pesaron para hacer las correcciones de la fracción de arena.

La cobertura vegetal se obtuvo con una regla rígida con marcas a intervalos regulares, con cuatro repeticiones por parcela. El porcentaje de cobertura del recuento de los puntos interceptados con suelo cubierto.

Los resultados se analizaron estadísticamente para determinar diferencias de las variables de suelo entre tratamientos mediante el análisis de variancia. Las comparaciones de las medias de tratamientos se realizaron por la Prueba de rangos múltiples de Duncan ($\alpha \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La RMP medida en condiciones de capacidad de campo tuvo diferencias entre los niveles de SL en las profundidades de 0-7 cm y 7-20 cm, como en las secuencias de cultivos de 7-20 cm y no tuvo interacción entre SL x Secuencias en los tres espesores (Tabla 1).

La RMP es una variable altamente dependiente del contenido de agua en el suelo al momento de la medición, por lo cual se determinaron a capacidad de campo, que corresponde a la máxima cantidad de agua retenida en el suelo que podría ser aprovechada por las plantas, descon-

Tabla 1. Análisis de la varianza de la resistencia mecánica a la penetración (RMP) medida en condiciones de humedad a capacidad de campo, interacción de los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos.

Table 1. Analysis of variance of mechanical penetration resistance, measured in conditions of humidity at field capacity, interaction of factors and means by tillage systems (SL) and sequences of crops.

RMP (MPa) en condiciones de humedad a capacidad de campo				
Factor	0-7 cm	7-20 cm	20-30 cm	
Labranza convencional (LC)	0,18 b	1,17 a	1,99	
Labranza reducida (LR)	0,18 b	1,09 a	2,06	ns
Siembra directa (SD)	0,27 a	0,92 b	1,38	
M-Av-A-Av	0,23	1,02 ab	1,93	
M-D-A-D	0,18 ns	0,90 b	1,48	ns
A-Av-M-Av	0,21	1,15 a	1,63	
A-D-M-D	0,23	1,17 a	2,21	
Sistemas de Labranza	15,07 ***	7,35 ***	3,02	
“F” Secuencias	2,35 ns	5,63 **	1,71	ns
SLxSecuencias	0,50 ns	2,18 ns	0,69	
Coefficiente de variación	36,99	24,26	67,19	
Número de observaciones	96	96	96	

M: maíz; Av: avena negra; A: algodón; D: descanso; Letras diferentes en una misma profundidad indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo.

tada el agua retenida por debajo del Punto de Marchitez Permanente. Los datos de humedad obtenidos en condiciones de CC al determinar la RMP variaron de 15 al 17% sin diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 2).

Los valores promedios de RMP registrados hasta los 20 cm, al momento de la siembra, fueron menores a los 2 MPa considerados como limitantes para el normal desarrollo de las plantas. Según Greacen & Sands (1980) el punto crítico para el crecimiento limitado de la raíz corresponde de 1,67 a 2,45 MPa. Considerando el espesor 0-7 cm, lugar donde se deposita la semilla, la RMP fue baja, variaron de 0,18 para LC y LR hasta 0,27 MPa para SD ($\alpha \leq 0,05$) sin alcanzar valores de 0,5-0,9 MPa, condicionantes para la normal emergencia del maíz y algodón (Pla Sentis & Ovalles, 1993).

De 7-20 cm esta tendencia se revirtió, aumentando con LC y LR quienes no presentaron diferencias estadísticas entre si y superaron a la SD.

En la profundidad de 20-30 cm no hubo efecto de SL ni de secuencias, ni interacción entre ambos factores. En esta profundidad se registraron los mayores valores de RMP cercanos a los límites para el desarrollo de los cultivos.

Ello podría relacionarse a los aportes de rastrojos, ya sean incorporados (LC), semi incorporados (LR) o bien mantenidos en superficie (SD). La descomposición de los rastrojos al ser incorporados por la LC en un medio anaerobio generan alcoholes, ácidos orgánicos, metano y minerales sin beneficiar a la bioestructura, en cambio al quedar en superficie, como en SD, la descomposición se efectúa en medios aerobios produciendo ácidos urónicos y poliurónicos que favorecen a la agregación del suelo (Primavesi, 1984).

En la profundidad de 20-30 cm no se obtuvieron diferencias entre los niveles de ambos factores y se registraron los mayores valores de RMP, cercanos a los límites para el desarrollo de los cultivos (LC y LR) y los menores valores para SD.

En la profundidad de 7-20 cm, hubo efecto de las secuencias de cultivos (Tabla 1) donde los tratamientos que terminaron con maíz, como cultivo de renta en la última campaña, tal el caso de las secuencias: A-D-M-D (1,17 MPa) y A-Av-M-Av (1,15 MPa) presentaron mayor RMP que los que terminaron con algodón como las secuencias M-D-A-D (0,90 MPa) o M-Av-A-Av (1,02 MPa). Esto podría estar relacionado con una mayor capacidad exploratoria de las

Tabla 2. Análisis de la varianza de los contenidos de agua en condiciones de capacidad de campo (CC), interacción de los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos.

Table 2. Analysis of variance of water content measured at field capacity conditions (CC), interactions between factors and means by tillage systems (SL) and sequences of crops.

Contenidos de agua gravimétrica en condiciones de Capacidad de Campo (CC)					
Factor	0-7 cm		7-20 cm	20-30 cm	
Labranza convencional (LC)	17,30		15,24	15,40	
Labranza reducida (LR)	17,41	ns	15,13	14,83	ns
Siembra directa (SD)	16,36		15,38	15,57	
M-Av-A-Av	16,86		15,47	15,21	
M-D-A-D	18,00	ns	15,47	15,82	ns
A-Av-M-Av	16,65		15,40	15,52	
A-D-M-D	16,60		15,00	14,50	
Sistemas de Labranza (SL)	1,97		0,22	1,44	
“F” Secuencias	1,93	ns	0,85	2,51	ns
SLxSecuencias	0,38		0,70	1,04	
Coefficiente de variación	13,71		9,13	11,31	
Número de observaciones	96		96	96	

M: maíz; Av: avena negra; A: algodón; D: descanso; Letras diferentes en una misma profundidad indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo.

raíces pivotantes del algodón que las del maíz, hasta los 20 cm de profundidad. Ello mejoraría las condiciones para el desarrollo radical en dichas secuencias y espesores de suelo.

Los coeficientes de variación fueron altos para todas las profundidades (mayores de 25%) como fue informado por Hillel (1998) para esta variable y para infiltración.

La Da no mostró interacción entre los factores en los dos espesores evaluados (Tabla 3). El factor SL tuvo diferencias significativas. La Da fue mayor bajo SD ($1,5 \text{ g cm}^{-3}$) respecto a los tratamientos labrados ($1,4 \text{ g cm}^{-3}$), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí y no serían restrictivos. En la profundidad de 7-20 cm no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos en estudio. Los valores óptimos de DA varían de acuerdo a las clases texturales. Para texturas franco arenosas la DA media es de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ (Junta de Extremadura, 1992; Porta *et al.* 2003) y un rango para un crecimiento adecuado de raíces fluctúa entre 0,7 a $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (Lal & Shukla, 2004).

Estos resultados son coincidentes con lo encontrado por otros autores (Vidal & Costa, 1998; Ferreras *et al.*, 2000) con valores superiores de Da en suelos bajo SD en comparación con LR o LC, quienes expresaron que el método

de labranza puede afectar o no la compactación del suelo. Sin embargo, Krüger (1996); Ferreras, (1996) y Pikul & Aase (1995) no obtuvieron diferencias entre estos sistemas de labranzas o bien, la Da del suelo fue menor con residuos en superficie.

Los valores de RMP y Da mostraron luego de cuatro años de evaluar SD respecto a tratamientos con labranzas, un ligero incremento en los valores sin que lleguen a ser restrictivos para la emergencia de la plántula o para la exploración de raíces, igualmente Vidal y Costa (1998) hallaron que luego de cuatro años de aplicación de SD, se observó un incremento en la compactación del suelo, manifestado por los aumentos de Da y RMP en los primeros centímetros, pero sin afectar los rendimientos.

La EA de 0-7 cm fue mayor que la de 7-20 cm. Se encontraron diferencias significativas entre SL en ambas profundidades, pero no hubo diferencias entre Secuencias, ni interacción SL x Secuencias (Tabla 4).

La EA de 0-7 cm mostró diferencias ($P < 0,001$) entre SL siendo mayor en SD que en LR y en ésta que en LC y estuvo en relación con la cobertura vegetal que varió entre 70-85%, de 50-60% y entre un 10-40% para cada sistema de labranza, respectivamente (Paredes, 2013). De igual

Tabla 3. Análisis de la varianza de la densidad aparente (DA) e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos.

Table 3. Analysis of variance of bulk density (BD) and interactions between factors and means by tillage systems (SL) and sequences of crops.

Factor	Densidad Aparente (g cm^{-3})	
	0-7 cm	7-20 cm
Labranza convencional (LC)	1,41 b	1,53
Labranza reducida (LR)	1,40 b	1,57 ns
Siembra directa (SD)	1,50 a	1,61
M-Av-A-Av	1,46	1,61
M-D-A-D	1,41 ns	1,57 ns
A-Av-M-Av	1,45	1,60
A-D-M-D	1,42	1,49
Sistemas de Labranza (SL)	13,07 ***	1,03
“F” Secuencias	1,17 ns	1,54 ns
SLxSecuencias	1,92 ns	1,07
Coefficiente de variación	5,63	11,77
Número de observaciones	96	96

M: maíz; Av: avena negra; A: algodón; D: descanso; Letras diferentes en una misma profundidad indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo.

modo, la mayor cantidad de residuos resultantes de la SD y las rotaciones en Illinois favoreció la EA, y hubo una disminución de la RMP (Villamil *et al.*, 2005).

En la profundidad de 7-20 cm la mayor EA correspondió para los tratamientos conservacionistas con SD y LR, los cuales no difirieron estadísticamente entre sí, y superaron al de LC (á d» 0,001). Este comportamiento podría relacionarse a los mayores contenidos de materia orgánica hallados por Paredes *et al.* (2014) superficialmente en SD con 2,1%, respecto a LR y LC con 1,51 y 1,69% respectivamente ($\alpha \leq 0,005$).

Los valores obtenidos en el presente trabajo coinciden con lo hallado por Colombani *et al.* (2002) quienes encontraron mayor estabilidad de agregados en SD respecto a LC y LR en un Argiudol Típico del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Hernanz *et al.* (2002) obtuvieron mayor porcentaje de macro agregados estables en siembra directa con respecto a labranza mínima y convencional en un ensayo de larga duración de un suelo franco con bajos contenidos de materia orgánica de la región central de España.

El promedio general de Ib fue de 1,99 cm h⁻¹, con un coeficiente de variación de 40,2% (Tabla 5). No se registraron interacciones entre SL y Secuencias. Los valores de Ib correspondieron a velocidades de infiltración modera-

das, coincidentes con las características del suelo empleado para el ensayo (Escobar *et al.*, 1996).

El valor "A" de la ecuación indica la lámina inicial infiltrada durante el proceso, que depende de la estructura y de las condiciones superficiales del suelo como compactación y humedad iniciales. No se registró interacción entre los factores, ni diferencias significativas en esta variable para ambos factores, por lo cual no habría condiciones de una compactación superficial del suelo que afecte la entrada inicial de agua en el suelo.

El valor "n" representa la tasa de infiltración, relacionado a los cambios texturales del perfil del suelo y de la estructura por humedecimiento. Esta variable mostró diferencias significativas para el factor SL (Tabla 5), con mayor velocidad de entrada del agua en SD, relacionada a la mayor EA que mantuvo los agregados intactos con el avance del frente de humedecimiento, y permitió que la porosidad del suelo continúe cumpliendo su función de conducción del agua.

La variable Ib no registró diferencias entre sus niveles en el factor secuencias, lo que permitió suponer que durante los primeros años del empleo de alternancia con algodón, maíz, avena y descanso, no afectó significativamente la Ib. En cambio, el factor SL, mostró efectos sobre

Tabla 4. Análisis de la varianza de la estabilidad de agregados (EA) e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos.

Table 4. Analysis of variance of aggregate stability (EA) and interactions between factors and means by tillage systems (SL) and sequences of crops.

Estabilidad de Agregados (%)				
Factor	0-7 cm		7-20 cm	
Labranza convencional (LC)	49,52	c	45,99	b
Labranza reducida (LR)	54,82	b	53,61	a
Siembra directa (SD)	68,30	a	51,07	a
M-Av-A-Av	59,18		50,22	
M-D-A-D	54,90	ns	49,84	ns
A-Av-M-Av	56,82		48,75	
A-D-M-D	59,29		52,09	
Sistemas de Labranza (SL)	40,78	***	7,22	***
"F" Secuencias	1,44	ns	0,70	ns
SLxSecuencias	1,31	ns	1,26	ns
Coefficiente de variación	21,08		22,97	
Número de observaciones	96		96	

M: maíz; Av: avena negra; A: algodón; D: descanso; Letras diferentes en una misma profundidad indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo.

la infiltración de agua en el suelo, con la mayor lb ($\alpha \leq 0,05$) bajo SD (Tabla 5) donde el mayor contenido de rastros en superficie podría haber evitado la formación de sellos superficiales y favorecido la formación de poros por la actividad biológica, como lo señalaron Kay y Vandenbygaart (2002). Dichos autores afirmaron que la porosidad edáfica puede ser influenciada por factores abióticos como las labranzas, el tránsito de maquinarias, el proceso de contracción-expansión del suelo, por la actividad biológica (crecimiento, descomposición de las raíces y la actividad de las lombrices).

La resistencia del suelo a la deformación y disgregación es importante para el laboreo, el crecimiento de las raíces de las plantas, se relaciona con la compactación, el encharcamiento de la superficie, la erosión y la capacidad portante para el tránsito y los animales. En seco, los agregados del suelo se comportan como sólidos quebradizos, que se rompen con deformaciones despreciables, pero al aumentar el contenido de humedad la resistencia a la rotura usualmente decrece y aumenta la deformación plástica (Payne, 1992).

La SD se presentó como una labranza conservacionista con problemas regulares para la exploración radical, y algunos problemas incipientes de compactación superficial

y la LR presentó valores intermedios de EA, RMP, manifestando su capacidad mejoradora del suelo o como una alternativa superadora para ayudar a la infiltración del agua de lluvia. Esto coincide con lo observado por Venialgo *et al.* (2004), quienes hallaron en suelos no labrados una RMP mayor de 0 a 20 cm y menor de 20 a 30 cm, lo cual concuerda con los valores hallados y presentados en este trabajo.

CONCLUSIONES

Al emplear diferentes sistemas de labranzas y secuencias de cultivos en un Argiudol Ácuico de Corrientes, se concluyó que los atributos que podrían indicar calidad de suelo serían:

- La RMP que presentó mayores valores en SD (0-7 cm), con respecto a los tratamientos labrados, sin alcanzar valores condicionantes para el normal desarrollo de los cultivos y se favoreció la situación a mayor profundidad con las menores resistencias del ensayo. La RMP en las rotaciones que finalizaron con algodón presentó menores valores (de 7-20 cm) que con cultivos de maíz, relacionada a una mayor capacidad exploratoria de las raíces pivotantes del algodón y mejoraron las condiciones en dichos espesores de suelo.

Tabla 5. Análisis de la varianza de la Infiltración básica (lb), de los parámetros "A: infiltración inicial" y "n: tasa de infiltración", interacción de los factores y medias por sistemas de labranzas (SL) y secuencias de cultivos.

Table 5. Analysis of variance of basic Infiltration (lb), of the parameters "A: Initial infiltration" and "n: infiltration rate" interaction of factors and means by tillage systems (SL) and sequences crops.

Factor	Infiltración		
	lb	A	n
Labranza convencional (LC)	1,85 b	1,62	0,37 b
Labranza reducida (LR)	1,83 b	1,67 ns	0,37 b
Siembra directa (SD)	2,89 a	1,46	0,42 a
M-Av-A-Av	2,01	1,55	0,39
M-D-A-D	1,93 ns	1,59 ns	0,38 ns
A-Av-M-Av	1,91	1,63	0,38
A-D-M-D	2,11	1,56	0,4
Sistemas de Labranza (SL)	3,15 *	1,08 ns	3,54 *
"F" Secuencias	0,28 ns	0,07	0,42 ns
SLxSecuencias	1,06 ns	1,11	1,78 ns
Promedios	1,99	1,58	0,38
Coefficiente de variación	40,24	36,54	21,46
Número de observaciones	96	96	96

lb: infiltración básica (cm h⁻¹); A: infiltración inicial (cm h⁻¹); «n»: tasa de infiltración; M: maíz; Av: avena negra; A: algodón; D: descanso; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo.

- La EA, que diferenció los sistemas de labranza (SD>LR>LC) en ambas profundidades evaluadas.
- La lb que fue mayor en SD comparativamente a la LR y a la LC, esto podría atribuirse a la cobertura de los rastrojos en superficie, que habrían influido en la formación de bioporos y a su mayor estabilidad. Toda práctica que favorece a la estabilidad de los agregados colabora a una mejor infiltración del agua del suelo (SD>LR>LC) e implicaría una menor escorrentía y erosión hídrica.
- Los sistemas de labranzas fueron más sensibles a manifestar cambios en las variables evaluadas respecto de las secuencias de cultivos y el tratamiento que presentó las variaciones más favorables para la mantener la calidad del suelo en estudio fue la SD.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste y a INTA AUDEAS CONADEV por el financiamiento de la presente publicación.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R & HS Steinbach. 2009. A review of the effects of tillage systems on some physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.* 104: 1-15.
- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Sil Till. Res.* 96: 155-165.
- Castiglioni, MG; F Behrends Kraemer & HJM Morrás. 2013. Efecto de la secuencia de cultivos bajo siembra directa sobre la calidad de algunos suelos de la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo*. Vol. 31 N.1. Pág. 93-105.
- Colombani, EN; JL Costa; GA Studdert & E Suero. 2002. Evaluación de propiedades físicas de suelos del sudeste bonaerense bajo distintos manejos. *En: CD*, 6 pág., en: Actas «XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo», Puerto Madryn, Chubut, Argentina. 16 al 19 de abril de 2002.
- Dexter, AR. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil Till. Res.* 20: 87-100.
- Domínguez, GF; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. *En: Echeverría, HE & FO García. (eds) Fert. de Suelos y Fertiliz. de Cult. Ediciones INTA*. Buenos Aires. pp 207-229.
- Escobar, EH; HD Ligier; R Melgar; H Matteio & O Vallejos. 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes 1:500.000. EEA INTA Corrientes, Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales. Corrientes, Argentina. 218 p.
- Ferreras, L. 1996. Efecto de los sistemas de labranza sobre las propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense. Tesis de Magister Scientiae. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. 75 pp.
- Ferreras, LA; JL Costa; FO García & C Pecorari. 2000. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern «Pampas» of Argentina. *Soil & Till. Res.* 54: 31-39.
- Franzluebbers, A; F Hons & C Zuberer. 1995. Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1618-1624.
- Gabioud, EA; MG Wilson & MC Sasal. 2011. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonais en tres órdenes de suelos. *Ciencia del Suelo* Vol. 29 (2). Pág. 129-139.
- Gil, RC. 2002. El comportamiento físico-funcional de los suelos. Buenos Aires: Instituto de Suelos. INTA Castelar, 19 p.
- Greacen, EL & R Sands. 1980. *Compaction of forest soil. Aust. J. Soil Res.* 18: 163-171.
- Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. San Diego, California. US. 771 p.
- Hernanz, JL; R López; L Navarrete & V Sánchez-Girón. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Till. Res.* 66: 129-141.
- Ingaramo, OE. 2003. Indicadores físicos de la degradación del suelo. Tesis doctoral. Universidade da Coruña. España. 341 pp.
- Junta de Extremadura. 1992. Interpretación de análisis de suelos, foliares y de agua de riego. Consejo de Abonado. Normas Básicas. Coed. Junta de Extremadura. Consejería de Agric. y Comercio. Ed. Mundi Prensa. 280 pp.
- Katsvairo, T; WJ Cox & H van Es. 2002. Tillage and Rotation Effects on Soil Physical Characteristics. *Agron. J.* 94: 299-304.
- Kay, BD & AJ Vandenbygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Till. Res.* 66: 107-118.
- Kemper, WD & RC Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. 425-441 p. *In: A. Klute (ed) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Kladivko, EJ. 1994. Residue effects on soil physical properties. *In: Managing Agricultural Residues*. Paul Unger Ed. Lewis Publishers. 123-142 p.
- Krüger, HR. 1996. Compactación en Haplustoles del sudoeste bonaerense (Argentina) bajo cuatro sistemas de labranzas. *Ciencia del Suelo* 14: 104-106.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil & Till. Res.* 20: 133-146.
- Lal, R & JM Kimble. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 49: 243-253.
- Lal, R & MK Shukla. 2004. Principles of Soil Physics. Marcel Dekker, Inc. (ed) New York. 699 pp.
- Lattanzi, A. 1998. La siembra directa y la agricultura sustentable. 29-34 p. *En: Panigatti JL, H Marelli, D Buschiazzo & R Gil (eds) Siembra Directa*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación-INTA.
- Ligier, HD & DB Kurtz. 2001. Agricultura de Bajos Insumos en Minifundios de Corrientes: Estrategias para una Agricultura Sustentable. 363-370. *En: Siembra Directa II*. Panigatti, JL; H Buschiazzo & H Marelli (eds). Ediciones INTA.

- Mc Vay KA; JA Budde; K Fabrizzi; MM Mikha; CW Rice; AJ Schlegel; DE Peterson; DW Sweeney & C Thompson. 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 434-438.
- Paredes, FA. 2013. Sistemas de labranzas y secuencia de cultivos sobre propiedades físicas de suelos de Corrientes. Tesis de Magister Scientiae. Escuela Para Graduados. Universidad de Buenos Aires. 171 pp.
- Paredes, FA; MG Tellería & HC Dalurzo. 2014. Carbono orgánico y sustancias húmicas de un Argiudol Hipertérmico bajo diferentes manejos. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina.
- Parra, BJ; AR Becker & MP Cantú. 2011. Condición física de suelos en diferentes sistemas de manejo agrícolas del centro sur de Córdoba. *Ciencia del Suelo* Vol. 29 N.2. Pág. 241-251.
- Payne, D. 1992. Estructura del suelo, laboreo y comportamiento mecánico. pp 421-441. *En: Wild, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell.* Ediciones Mundi-Prensa.
- Pikul, JL; JF Zuzel & RE Ramig. 1990. Effect of tillage-induced soil macroporosity on water infiltration. *Soil and Till. Research* 17: 153-165.
- Pikul, JL Jr & JK Aase. 1995. Infiltration and soil properties as affected by annual cropping in the Northern Great Plains. *Agron. J.* 87: 656-662.
- Pilatti, MA; JA Orellana & O Felli. 1998. Indicadores edáficos en agricultura sostenible. II) Idoneidad de variables edáficas para evaluar sostenibilidad en agroecosistemas, 15 p. XVI Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. Carlos Paz. p 235.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Publ. Rev. Agron. Alcance* n° 32. Maracay (Venezuela). Pp 90.
- Pla, I. 1994. Curso sobre efectos de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto de Suelos. C.I.R.N. INTA Castelar. Capítulo II, Labranzas y Propiedades Físicas de los Suelos. Pp. 23.
- Pla, I. 1996. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on Steep land in the tropics. *Soil Tech.* 11(2): 1-13.
- Pla Sentís, I. & F. Ovalles. 1993. Efectos de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. FONAIAP. Pp 35.
- Porta, J; M Lopez Acevedo & C Roquero. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. 929 pp.
- Primavesi, A. 1984. Manejo Ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. El Ateneo Ed. Buenos Aires. 499 pp.
- Roldán, MF; GA Studdert; C Videla; S San Martino, & L Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. *Ciencia del suelo* Vol. 32, (2), págs. 247-257.
- Silenzi, J; AM Moreno & J Lucero. 1987. Variaciones temporales de la estabilidad estructural de un suelo no disturbado. *Ciencia del Suelo* Vol. 5 N° 1:1-7pp.
- Schmidt, ES & NM Amiotti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ciencia del Suelo* 33(1): 79-88.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2002. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudoeste bonaerense. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn. Actas en CD.
- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Unger, PW. 1997. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of Torretic Paleustoll. *Soil & Till. Res.* 42: 95-113.
- Venialgo, C; A Sosa; NC Gutiérrez; A Corrales & C Briend. 1999. Densidad aparente y resistencia a la penetración en diferentes sistemas de manejo de suelos en plantaciones de yerba mate en el Nordeste de Corrientes. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 1999. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. www.unne.edu.ar/investigacion/com1999/CA-web/wCA_057.pdf (accessed Mar 2013).
- Venialgo, CA; O Ingaramo; S Ibaló; MF Roldán; G Banzhaf & N Gutiérrez. 2004. Índice de cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes labranzas y rotaciones. UNNE. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen: A-076.
- Venialgo, C; N Gutiérrez; A Corrales; D Drganc & A Asselborn. 2005. Estabilidad de agregados y resistencia a la penetración en series de suelos con distintos usos en el Sudoeste del Chaco. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. Resumen A-079.
- Vidal, CM & JL Costa. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *RIA* Vol 29. p. 211- 212.
- Villamil, MB; GA Bollero; RG Darmody; FW Simmons & DG Bullock. 2006. No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1936-1944.