



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Modalidad: Tesina

“PROPIEDADES FÍSICAS ANTE DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZAS Y ROTACIONES”

Tesista:

Nelson Omar MASIN

Director:

Ing. Agr. (Dr.) Humberto Carlos DALURZO

Lugar de Realización:

Estación Experimental Agropecuaria INTA – Corrientes.
Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos- Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.

Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. (Dr.) Ramón Jesús HIDALGO
Ing. Agr. (M. Sc.) Ditmar Bernardo KURTZ
Ing. Agr. (Mgter.) Ángela María BURGOS

2016

<u>Índice</u>	Páginas
Agradecimientos.....	3
Resumen.....	4
Introducción.....	5-7
Objetivos.....	8
Materiales y métodos.....	9-11
Tareas de campaña.....	11-12
Tareas de laboratorio.....	12-13
Tareas de Gabinete.....	13
Resultados y Discusión.....	14-22
Conclusiones.....	23
Bibliografía.....	24-27

AGRADECIMIENTOS:

Le agradezco la buena predisposición, la colaboración, los consejos y sobre todo la paciencia que me tuvieron las siguientes personas en este tiempo:

- A Dios
- A mi familia
- A mis amigos
- A mi novia
- Ing. Agr. (Dr.) Dalurzo, Humberto Carlos
- Al tribunal evaluador

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo, infiltración básica (Ib), densidad aparente (Da), resistencia a la penetración (RMP), espacio aéreo (EAer), porosidad total (PT), humedad equivalente (HE), estabilidad de agregados (EA), pH y materia orgánica (MO), bajo diferentes sistemas de labranzas y secuencias de cultivos, como posibles indicadores de calidad de suelo, en un ensayo en la E.E.A. INTA – Corrientes, sobre un Argiudol ácuico (serie Treviño). El diseño experimental fue de parcelas completamente aleatorizadas (DCA) en arreglo factorial (3x4), donde 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 (SC), con cuatro niveles de rotaciones: (R1) Sorgo-Descanso (So-D), (R2) Sorgo-Avena (So-Av), (R3) Sorgo-Caupí-Avena (So-Ca-Av), (R4) Pastura (Past). Los tratamientos fueron doce, con cuatro repeticiones totalizando 48 parcelas. El tamaño de las mismas fue de 140 m². Los muestreos y determinaciones a campo se realizaron previamente a la instalación de la siguiente campaña agrícola. Se determinaron Ib, RMP, y Da, en campaña, y las otras propiedades en laboratorio. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de la varianza, aplicando la prueba de Duncan ($P < 0,05$). La SD presentó la mayor Ib respecto a la LC, mientras que la LR mantuvo un valor intermedio. En cuanto a la SC la rotación R3 fue mayor con diferencias significativas respecto a R1 y la R2, presentando comportamiento intermedio entre ambos grupos la R4. En las muestras superficiales se hallaron diferencias de Da en la primer profundidad (0-7 cm), donde la SD fue mayor con diferencias significativas, no así en la segunda profundidad, ni en las rotaciones evaluadas. Para la RMP el factor SL obtuvo diferencias en todos los niveles de profundidades medidos, siendo mayor para SD de 0-7 cm, disminuyendo en las siguientes profundidades respecto a LC y LR. En las SC de 0-7 cm se encontró que la R4 mantuvo diferencias estadísticas con menor RMP respecto a los otros tratamientos que ofrecieron mayor resistencia; en la segunda profundidad no hubo diferencias significativas, y de 20-30 cm la mayor presentó el tratamiento R1. Para la HE no se detectaron diferencias en ninguna de las SC. En los SL para la segunda profundidad (7-20 cm) se hallaron mayores valores en SD respecto a la LR, y valores intermedios en LC. La EA fue mayor en la superficie (0-7 cm) para todos los SL y SC respecto a la segunda profundidad (7-20 cm). En las SC de 0-7 cm la pastura (R4) fue mayor respecto a las otras rotaciones. La menor EA fue cuantificada para el tratamiento R1 donde presentaron los menores valores de MO. La EA en los SL para la segunda profundidad (7-20 cm) presentó los mayores valores para la LR. El pH tuvo diferencias significativas en la profundidad 7-20 cm en el SL, en donde el tratamiento SD tuvo mayor acidez. Para la SC se encontraron diferencias estadísticas en las dos profundidades evaluadas en donde el tratamiento R4 se diferenció significativamente al presentar menor acidez. En la variable MO no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los factores en estudio (SL y SC), se hallaron contenidos ligeramente mayores para las rotaciones con pasturas perenes y tres cultivos por año. Los indicadores de calidad de suelos en Argiudoles con diferentes prácticas de manejo fueron: La IB diferenció los SL evaluados, con mejor comportamiento en SD > LR > LC. Esta mayor entrada de agua al suelo permitirá disminuir la escorrentía y una posible erosión hídrica. La RMP y la Da fueron ligeramente mayores en superficie para SD respecto a los SL con remoción de suelo, no restrictivos para los cultivos, mejorando las condiciones del suelo a mayores profundidades (7-20 y 20-30 cm) atributos que promueven menores limitaciones para el crecimiento de raíces. La EA fue mayor en superficie (0-7 cm) para SD, sin significación estadística, y en profundidad fue superior, mejorando bajo LR. En las SC, la rotación (R4), presentó el mejor comportamiento en la RMP en superficie y en profundidad (de 20-30 cm) al igual que con la EA, que obtuvo mejor desempeño en muestras superficiales con mejores condiciones del suelo para la R4 > R3.

INTRODUCCIÓN

El suelo constituye un recurso natural no renovable de suma importancia que, al ser destinado a la actividad agrícola sin un adecuado manejo, resulta afectado por la degradación. Las producciones de los cultivos en la mayoría de los países del mundo, se concentraban en la obtención de mayores rendimientos o de retornos económicos, sin considerar las fuentes energéticas ni la sustentabilidad, ignorando los efectos sobre el ambiente. La degradación de los suelos es uno de los principales problemas ambientales que afecta a la humanidad, restringiendo su capacidad productiva y aptitud, disminuyendo en consecuencia las superficies arables y los cultivos a implantar. Daily (1997) calculó que prácticamente la mitad (43%) de la superficie vegetada mundial disminuyó su capacidad de suministrar beneficios a la humanidad, como consecuencia del uso inapropiado de la tierra.

Los campos de la zona núcleo pampeana Argentina se dedicaban tradicionalmente a ganadería y agricultura de manera rotativa, lo que favorecía el mantenimiento de la fertilidad edáfica. Sin embargo, en las últimas décadas, las explotaciones se transformaron casi exclusivamente en sistemas agrícolas. Como resultado de este cambio, se produjeron pérdidas de la calidad de los suelos, principalmente por erosión y disminución en el contenido de materia orgánica, a causa de los laboreos frecuentes (Díaz-Zorita et al., 2004). A principios de la década de 1990 comenzó la difusión de sistemas de labranzas conservacionistas (particularmente la labranza cero o siembra directa) como medida para contrarrestar la erosión del suelo y favorecer la capacidad de retención de agua a través de la cobertura superficial con rastrojos.

Un sistema de manejo de suelo puede considerarse como sustentable cuando mantiene o incrementa su calidad. Doran & Parkin (1994) definieron la calidad de suelo como la capacidad de un suelo a funcionar dentro de los límites del ecosistema para sustentar la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud vegetal y animal. Varias propiedades físicas, químicas y biológicas han sido sugeridas para caracterizar la calidad, las que han sido relacionadas a la productividad del suelo y responden a los cambios en el uso, cobertura vegetal y prácticas agrícolas tales como encalado, fertilización y labranzas (He et al., 2003; Haynes, 2005; Shukla et al., 2006).

La producción minifundista de la Provincia de Corrientes, influye en los suelos agrícolas, reflejando una severa degradación de sus propiedades físicas y químicas, acentuándose por tantos años de producción agrícola realizada tradicionalmente con escasa diversificación y sin rotaciones. Ello afectó, la calidad del suelo y los rendimientos de los cultivos. El manejo adecuado de los suelos permite limitar y balancear los procesos de degradación, con procesos de producción y evitar pérdidas innecesarias. La transición a sistemas de producción más complejos, que incorporan el cambio de uso de la tierra, rotaciones y la asociación de coberturas de plantas anuales y perennes, requerirá del desarrollo de técnicas de análisis del ecosistema y del suelo que permitan un conocimiento más detallado (Tiessen, 2003). Por ello, sería conveniente direccionar trabajos de investigación en temas relacionados a sistemas de labranzas y rotaciones de cultivos para contar con mayor información en dicho sentido.

La correcta elección de una combinación de rotaciones y labranzas puede ser una herramienta útil para reducir la degradación del suelo y para maximizar la producción con el mínimo compromiso para el ambiente. Las interacciones entre los efectos de corto y largo plazo entre rotaciones, labranzas y otras prácticas son tan estrechas y complejas que es generalmente difícil separarlos y analizarlos individualmente. Por esta razón, es preferible analizar los sistemas de cultivo más que las prácticas aisladas, ya que este término las incluye junto con sus interacciones dentro del contexto general del sistema de producción (Studdert & Echeverría, 2000 a). El conocimiento de la dinámica de los parámetros de suelo sensibles al manejo y afectados por distintas rotaciones y sistemas de labranza contribuirá al diagnóstico y a la toma de decisiones respecto a qué prácticas implementar para el logro de una agricultura ambiental, económica y productivamente sustentable.

Como solución a la degradación de los suelos se han propuesto diversas alternativas a las prácticas tradicionales de manejo. Entre ellas están la rotación de cultivos, el empleo de variedades adecuadas al nivel tecnológico, la incorporación de cultivos de cobertura, la disminución del número de operaciones de labranza y la siembra sin remoción (Monegat, 1991; Evers & Agostini, 2001; Erenstein, 2003).

Los efectos de las labranzas en las propiedades de los suelos dependen del tipo y frecuencia de las operaciones. Los sistemas convencionales se basan en diferentes labranzas para proveer condiciones a los cultivos, y los sistemas conservacionistas buscan reducir el número de labores o prescindir de ellas, como en la siembra directa (SD).

Los aportes de rastrojos son fundamentales para una agricultura sustentable (Erenstein, 2003). Una estrategia para el ingreso de biomasa al sistema es con la incorporación de cultivos de cobertura (Monegat, 1991; Ligier & Kurtz, 2001). Estas especies no deben competir con los cultivos de renta, producir muchos rastrojos y no acarrear plagas y enfermedades, y generar beneficios económicos (Snapp et al., 2005). Los aportes de biomasa y la cobertura del suelo contribuyen a atenuar los efectos de la compactación (Hamza & Anderson, 2005) y a la conservación de la humedad (Odhiambo & Bomke, 2007). Estos cultivos cumplen una importante función en el ciclaje de nutrientes, como nitrógeno a través de su descomposición (Sainju & Singh, 2001) y mejorar los aportes de carbono al suelo (Sainju et al., 2002).

Las labranzas modifican algunas propiedades físicas, como la estructura, la densidad aparente, la distribución de poros, la dinámica del agua y la resistencia a la penetración. Las labranzas agresivas como la labranza convencional (LC) producen la ruptura de 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). Según Lal (1982) el surgimiento de daños causados por la erosión en áreas cultivadas no es más que un síntoma de que fueron empleados métodos de cultivo inadecuados para determinada área y su ecosistema.

Existe información con resultados dispares respecto al efecto de los distintos implementos de labranza sobre las propiedades del suelo. El método de labranza puede afectar o no la compactación del suelo. Numerosos autores hallaron valores superiores de densidad aparente, en suelos bajo SD, comparado con suelos bajo labranza reducida (LR) o LC (Ferrerías et al. 2000; Vidal Costa, 1998). Otros autores no hallaron diferencias entre estos sistemas de labranzas o bien la densidad aparente fue menor bajo suelos con residuos en superficie (Kruger, 1996; Sánchez García, 1998).

Grant & Lafond (1993) no hallaron diferencias en resistencia mecánica a la penetración cuando compararon sistemas de labranza conservacionista y convencional. Otros autores encontraron valores mayores en los primeros centímetros de suelo con SD y labranza mínima (LM) que en LC (Taboada et al. 1998; Vidal & Costa, 1998).

Elissondo et al. (2001) observaron que la introducción de labranza vertical (LV) con 3 años de SD no producía deterioro de las condiciones físicas. La densidad aparente y la resistencia (RMP) eran mayores en SD que en LV, pero dichos valores fueron inferiores a los niveles críticos.

Cabria & Culot (2001) mostraron que 17 años de cultivo continuo (trigo-soja-girasol) bajo labranza convencional en Udoles del sudeste bonaerense, provocaban aumento de la densidad aparente y disminución de la MO, principalmente en la fracción lábil.

Abril et al. (2005) encontraron que los suelos de la región semiárida central de la Argentina, bajo SD, presentaban mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno total que aquéllos bajo labranza conservacionista, incrementándose las diferencias observadas con el tiempo.

Las labranzas y el manejo de los 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; Lattanzi, 1998). La disminución de las labranzas contribuye a conservar la continuidad de los macroporos, permitiendo la transferencia de fluidos (agua y aire), facilitando de esta manera el crecimiento de las raíces y la actividad de los microorganismos (Porta, 1999).

Debido a que los procesos de descomposición son llevados a cabo por los microorganismos edáficos, las propiedades biológicas del suelo resultan de importancia fundamental para el entendimiento de las modificaciones que se producen a causa de la deposición superficial de los residuos. Existen numerosos trabajos que evalúan los cambios en el suelo por adopción de la SD aunque no todos ellos tienen resultados coincidentes, particularmente en relación a la inmovilización de nutrientes. Una posible explicación para estas diferencias puede ser el efecto acumulativo de la deposición de residuos (Bertol et al., 2004). Este efecto tiene relación con el tipo y cantidad de cobertura que se forma sobre el suelo, que varía según el cultivo, el clima, el sistema de rotación y la cantidad de años bajo SD (Sisti et al., 2004). Cualquier decisión de manejo que tienda a alterar la dinámica de las fracciones más lábiles de la materia orgánica, tendrá incidencia sobre el ambiente físico, químico y bioquímico del suelo (Studdert & Echeverría, 2000b). La SD

aumenta la estratificación en el perfil de la actividad enzimática probablemente debido a la distribución de los residuos orgánicos y a la actividad microbiana. La LC no produce esta estratificación debido a la mezcla de suelo durante la labranza (Green & Stott, 2007).

Entre otros parámetros edáficos propuestos, para los 10 cm superficiales, se sugieren usar capacidad de campo, porosidad aérea, pH y densidad aparente, y para la profundidad de 10-20 cm el N total y peso del diámetro medio de los agregados.

La mayoría de los trabajos sobre SD en Argentina han sido realizados en la Región Pampeana (Crespo et al., 2001; Gonzalez et al., 2003; Fabrizzi et al., 2003; Ferraro et al., 2003; Díaz-Zorita et al., 2004) y son escasas las referencias para la zona nordeste.

El Proyecto Regional de pequeños y medianos productores durante los años 2005-2008 generó información acerca de diferentes prácticas agronómicas y del equipamiento disponible en base a adecuación de planteos productivos desarrollados con anterioridad (Bogado et al., 2006; Paredes & Bogado, 2008).

OBJETIVO

Identificar los parámetros de suelo que sean posibles indicadores de calidad en Argiudoles ácuicos de Corrientes ante diferentes prácticas de manejo, como ser sistemas de labranzas y secuencias de cultivos para el logro de una producción sustentable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de lograr el objetivo planteado en este trabajo se hizo uso de un ensayo que se comenzó en el año 2007 en la Estación Experimental del INTA - El Sombrerito (latitud 27° 39' S; longitud 58° 46'), sobre un suelo perteneciente a la Serie Treviño, clasificado como Argiudol ácuico, arcilloso fino hipertémico (Ligier et al., 2016).

Tabla 1. Datos del perfil de la serie treviño (Ligier et al., 2016).

HORIZONTE	Ap	A2	Btss1	Btss2	Btkss	BC
PROFUNDIDAD (cm)	0-18	18-33	33-56	56-73	73-93	93-112
TEXTURA	Fr.Ar	Fr.arc.Ar.	arc.	arc.	arc.	Fr.arc.
ARCILLA (<0,002mm)	19,40	22,40	47,50	48,10	42,30	39,70
LIMO (0,002-0,05-mm)	18,30	19,80	15,60	15,40	18,30	17,50
ARENA MF (0,05-0,10mm)	2,48	1,60	2,46	1,42	1,50	3,68
ARENA F (0,10-0,25mm)	12,66	6,62	6,40	2,24	11,38	14,72
ARENA ME (0,25-0,50mm)	43,70	45,54	24,78	30,20	22,76	22,86
ARENA GR (0,50-1,00 mm)	3,30	3,78	3,12	2,42	3,34	1,24
ARENA MG (1,00-2,00mm)	0,16	0,26	0,14	0,22	0,42	0,30
ARENA TOTAL (%)	62,30	57,80	36,90	36,50	39,40	42,80
CC (%)	21,53	22,44	21,89	26,73	26,87	25,05
PMP (%)	15,41	15,53	13,67	10,78	14,24	15,74
AGUA UTIL (%)	6,13	6,91	8,22	15,95	12,63	9,30
pH 1:2,5	6,00	6,26	6,88	7,84	8,07	7,91
CONDUCTIVIDAD (mmhos cm ⁻¹)	0,02	0,02	0,03	0,06	0,10	0,06
MO (%)	1,38	0,97	0,78	0,61	0,30	0,19
CO (%)	0,80	0,56	0,45	0,36	0,18	0,11
NT (%)	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
CALCIO, Ca ⁺⁺ (cmol kg ⁻¹)	3,00	6,50	9,20	11,40	9,20	7,20
MAGNESIO, Mg ⁺⁺ (cmol kg ⁻¹)	1,00	1,10	4,80	2,80	3,40	3,40
POTASIO, K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,08	0,18	0,13	0,17	0,21	0,16
SODIO, Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	0,22	0,34	0,42	0,48	0,53	0,50
H: ACIDEZ INT. (cmol kg ⁻¹)	3,36	3,20	4,80	-	-	-
S: SUMA BASES (cmol kg ⁻¹)	4,30	8,12	14,55	14,85	13,34	11,26
T:CIC (cmol kg ⁻¹)	7,66	11,32	19,35	14,85	13,34	11,26
V: SAT. BASES (%)	56,14	71,73	75,20	100,00	100,00	100,00
PSI %	2,87	3,00	2,18	3,23	4,00	4,44
P ASIM. (ppm)	T	T	1,40	3,30	3,50	1,10

Referencias: MF: muy fina; F: fina; ME: media; GR: gruesa; MG: muy gruesa; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; MO: materia orgánica; CC: carbono orgánico; NT: nitrógeno total; T: capacidad de intercambio catiónico (suma de S y H); S/T= (V): porcentaje de bases cambiables, cociente entre bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico; PSI: porcentaje de sodio intercambiable, cociente entre sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico; P ASIM: fósforo asimilable.

Diseño experimental y tratamientos.

El diseño utilizado fue en parcelas completamente aleatorizadas (DCA) en un arreglo factorial (3 x 4), correspondiente a un ensayo de larga duración, donde los factores fueron: a) Sistemas de labranzas, con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y siembra directa (SD); y b) Secuencias de cultivos, que se iniciaron en el año 2007 con cuatro niveles de rotaciones

durante cuatro campañas agrícolas sucesivas, combinando maíz amarillo (M), algodón (A), avena negra (Av) y terreno en descanso (D): M-Av-A-Av; M-D-A-D; A-Av-M-Av y A-D-M-D.

El quinto año se sembró Mucuna en todas las parcelas. Durante el sexto año se usaron las siguientes rotaciones:

Rotación 1 (R1) con un cultivo por año: Maíz amarillo-Descanso (Mz-D), rotación 2 (R2) con dos cultivos por año: Maíz amarillo-Avena (Mz-Av), rotación 3 (R3) con tres cultivos por año: Maíz amarillo-Caupí-Avena (Mz-Ca-Av) y la rotación 4 (R4) con una pastura perenne (Past).

En el séptimo año evaluado se usaron las siguientes rotaciones:

Rotación 1 (R1) con un cultivo por año: Sorgo escoba-Descanso (So-D), rotación 2 (R2) con dos cultivos por año: Sorgo escoba-Avena (So-Av), rotación 3 (R3) con tres cultivos por año: Sorgo escoba-Caupí-Avena (So-Ca-Av) y la rotación 4 (R4) con pastura perenne (Past).

Los tratamientos fueron doce (Tabla 2), cada uno con cuatro repeticiones y totalizando 48 unidades experimentales, el tamaño de la parcela que se utilizó fue de 140 m².

Tabla 2. Tratamientos realizados

Sistemas de labranzas	Secuencias	Tratamientos
Labranza convencional	Sorgo-Descanso	LC-S-D (1)
	Sorgo-Avena	LC-S-Av (2)
	Sorgo-Caupí-Avena	LC-S-Ca-Av (3)
	Pastura-Pastura	LC-Past-Past (4)
Labranza Reducida	Sorgo-Descanso	LR-S-D (5)
	Sorgo-Avena	LR-S-Av (6)
	Sorgo-Caupí-Avena	LR-S-Ca-Av (7)
	Pastura-Pastura	LR-Past-Past (8)
Siembra Directa	Sorgo-Descanso	SD-S-D (9)
	Sorgo-Avena	SD-S-Av (10)
	Sorgo-Caupí-Avena	SD-S-Ca-Av (11)
	Pastura-Pastura	SD-Past-Past (12)

Referencias: Labranza Convencional (LC), Labranza Reducida (LR), Siembra Directa (SD), (S) Sorgo, (D) Descanso, (Av) Avena, (Past) Pastura perenne.

Manejo y seguimiento del experimento.

Los sistemas de labranzas que se emplearon fueron:

- **Labranza convencional (LC):** Previamente a la siembra de los cultivos se preparó el suelo con remoción e incorporación mecánica de los rastrojos con una rastra de disco de tiro excéntrico, realizando cuatro pasadas y además una rastra de dientes para la preparación de la cama de siembra.
- **Labranza reducida (LR):** La operación de labranza consistió en la semi- incorporación de rastrojos del cultivo, dejando parte de los mismos en superficie. Esta labor se realizó con dos pasadas sucesivas con una rastra de discos.
- **Siembra Directa (SD):** El manejo de las malezas se realizó con herbicidas dejando los rastrojos en superficie.

Los cultivos que se emplearon fueron:

- **Sorgo escoba** (*Sorghum technicum* L.). Época de siembra: segunda quincena de septiembre, Densidad de siembra: 12 kg de semilla ha⁻¹, sembrado 0,7 m entre líneas.
- **Avena negra** (*Avena strigosa* L.), variedad avena negra. Época de siembra: primera quincena de mayo, al voleo con una densidad de 80 kg de semilla ha⁻¹.

- **Caupí** (*Vigna unguiculata* L.), Época de siembra: primera quincena de noviembre. Densidad de siembra 60.000 semillas ha⁻¹. Espaciamiento: 0,7 m entre líneas.
- **Pasto Cambá** (*Paspalum atratum*) sembrado en líneas, la segunda quincena del mes de Septiembre.

Para la siembra de los cultivos se utilizó una sembradora de grano grueso de 4 hileras. La aplicación de herbicidas se realizó con mochila pulverizadora.

Tareas de Campaña:

La toma de muestras se realizó al momento de haber finalizado la cosecha de la avena del séptimo año del ciclo de producción en septiembre del año 2014, previamente a la campaña del octavo año.

En todas las parcelas se tomaron, dos muestras compuestas de suelo (de tres submuestras cada una) a dos profundidades: 0-7 cm a efectos de evaluar el efecto de la estratificación de la materia orgánica que se genera en los primeros cm del suelo bajo sistemas de siembra directa y además se tomaron muestras de 7-20 cm. En forma simultánea se realizaron las siguientes actividades:

Infiltración básica: Se la realizó por el método de anillos concéntricos (Pla, 1983), este consiste en tomar las medidas durante un determinado tiempo el flujo de agua a través de la superficie del suelo empleando un par de cilindros concéntricos en los que se mantiene una lámina de agua sobre la superficie. Para determinar la lámina de agua ingresada al suelo se tomó la medida en centímetros de la misma en el anillo interno. Primeramente se tomaron las lecturas cada minuto hasta 5 minutos; luego a intervalos de cinco minutos, hasta completar los 30 minutos, finalmente se tomaron las medidas cada diez minutos hasta que el consumo se hizo constante o sea se registraron más de 2 lecturas consecutivas iguales, en este momento corresponde a la infiltración básica (Pla, 1983) o también se puede decir infiltración mínima del agua del suelo. Para la misma se realizaron dos determinaciones por parcela, lo que hace un total de 96 mediciones.

Densidad aparente: para su determinación se utilizó el método del cilindro (Pla, 1983). Se tomaron dos muestras por parcela y profundidad (0-7 cm y 7-20 cm). Para la toma de muestras se usaron cilindros de 99,52 cm³, conectado a dos piezas ensambladas a cada extremo, y al extraerlos del suelo se los emparejó sus extremos llevándolos a laboratorio para tomar el peso seco de los mismos. En total se tomaron 192 muestras.

Resistencia mecánica a la penetración: Se determinó con el penetrómetro de cono (Bradford, 1986 cit. en Klute, 1986). Para ello se utilizó el penetrometro de impacto, que cuenta con un vástago, donde se desplaza una pesa concentrada de 2 kg, con un recorrido de 50 cm. Para la

toma de mediciones se colocó el aparato de forma vertical y se dejó caer libremente la pesa, ésta al golpear contra el tope permite la penetración de la sonda en el suelo y se va registrando la penetración del mismo sobre una cinta de papel que se encuentra de forma vertical al lado del penetrometro. Se tomaron dos muestras simples por parcela para las profundidades de 0-7 cm; 7-20 cm y 20-30 cm, totalizando 288 muestras.

Tareas de laboratorio:

En el laboratorio las muestras de suelo fueron acondicionadas (secas al aire, molidas y tamizadas) para ser sometidas a los siguientes análisis:

Espacio aéreo: se lo determinó por cálculo una vez obtenido los datos de densidad aparente, densidad de partícula y la humedad equivalente. La difusión es el mecanismo más importante de intercambio de gases entre el aire del suelo y la atmosfera. La difusibilidad del suelo o sea su capacidad de permitir la difusión depende del espacio aéreo del suelo con continuidad. Si aumenta la humedad en suelos con mal drenaje interno, el espacio aéreo se reduce y en el caso de suelos compactados si su porosidad total se reduce también disminuirá el espacio aéreo.

$$\text{Porcentaje de Espacio aéreo} = 100 - \left[(A \cdot Da) + \frac{100 \cdot Da}{Dr} \right]$$

A= Porcentaje de humedad del suelo

Da= Densidad aparente

Dr= Densidad real

Porosidad total: se la obtuvo por cálculo sobre la base de los datos que se determinaron de densidad aparente y de partículas. Los poros en el suelo se distinguen en macro y micro poros, los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares.

$$\text{Porcentaje de Porosidad} = \frac{Dr - Da}{Dr} \cdot 100$$

Da= Densidad aparente;

Dr= Densidad real

Humedad equivalente: se la determinó por el método de la centrífuga. (Montenegro González et al., 1990). Este se realizó cubriendo con un centímetro de espesor de muestra de suelo sobre la malla de las celdillas, se colocó por duplicado cada muestra, se sumergen en agua durante 24 horas; transcurridas las mismas se las coloca en una centrifuga. Se la hizo funcionar durante 40 minutos a una velocidad de 2440 rpm (velocidad equivalente a 1000 veces la fuerza de la gravedad = 1 atm de presión).

Estabilidad de agregados: Método de Kemper y Rosenau (1986) cit. en Klute, 1986. Para su determinación se usaron agregados mayores a 2 mm, humedecidos previamente por capilaridad. Se emplearon tamices de 0,5 mm, colocados en un equipo para la medición de estabilidad, el cual realiza movimientos oscilatorios ascendentes, cuya longitud del recorrido de los tamices fue de 13 mm, con una frecuencia de 35 veces por minuto. El recorrido de estos fue siempre dentro del agua, durante 5 minutos. Los agregados que soportaron el tamizado fueron secados a estufa a 105 °C por 24 hs y luego pesados. Seguidamente se cubrieron estos agregados con OHNa 0,5 N, se dispersaron los agregados con varilla de vidrio y se pasaron nuevamente por los filtros. El remanente retenido se lo colocó nuevamente en el pesafiltro correspondiente y se llevó a estufa por 24 hs a 105 °C, luego fueron pesados para obtener el valor de su fracción de arena y hacer las correcciones por este factor.

pH: se lo determinó potenciométricamente en relación 1:2,5 en KCl 0,1 M. (Dewis y Feitas, 1970). Para su determinación se pesaron 10 g de suelo en recipientes y se agregaron 25 ml de KCl, se mezcló con varilla de vidrio con reposo de 30 minutos.

Materia orgánica: Método de Walkley y Black modificado. (Nelson & Sommers, 1996 cit. en Page, 1982). Se tomaron 0,30 g de suelo, pasado previamente por un tamiz de 1 mm. Luego se añadieron por medio de una pipeta 2,5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N sobre el suelo, mezclando ambos mediante un movimiento de giro imprimido al matraz. Se añaden seguidamente 5 ml de H_2SO_4 concentrado y se sigue mezclando mediante un giro suave durante 1 minuto para asegurar el contacto íntimo del reactivo con el suelo, con cuidado para evitar que el suelo quede adherido a las paredes del matraz fuera del contacto con el reactivo. Se deja la mezcla en reposo durante 30 minutos. Seguidamente se lo diluye con 80 ml de agua destilada y se añaden 5 ml de H_3PO_4 al 85% y 5 ml de difenilparasulfonato de Ba. Se valora la solución por retroceso con reductor "sal de Mohr" agregado gota a gota hasta que el color vire a verde brillante.

Tareas de Gabinete:

Los resultados obtenidos se evaluaron para ver si existen diferencias en 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 ($P < 0,05$) para ello se utilizó el software Statistical Analysis System (SAS) .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente (Da):

En las profundidades evaluadas la Da no mostró interacción entre los factores (SL y SC), ver Tabla 3. En el factor secuencias de cultivos se observó que no hubo diferencias significativas para la variable en estudio, sin embargo para los sistemas de labranzas se halló diferencia significativa en la superficie, donde la Da fue mayor en el tratamiento sin remoción de suelo (SD), que en los que se realizó el mismo (LC y LR), esto se debió a la falta de modificación de las condiciones físicas del suelo comparativamente con los otros tratamientos que no presentaron diferencias significativas entre sí.

En la profundidad de 7-20 cm (Tabla 3) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

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

Densidad Aparente (Da)		(g cm ⁻³)			
Factor		0-7 cm	7-20 cm		
SL	Labranza convencional (LC)	1,42	b	1,53	ns
	Labranza reducida (LR)	1,41	b	1,51	
	Siembra directa (SD)	1,51	a	1,53	
SC	R1: So-D	1,44		1,51	ns
	R2: So-Av	1,45	ns	1,53	
	R3: So-Ca-Av	1,44		1,55	
	R4: Past-Past	1,44		1,51	
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	6,05	***	1,12	ns
	Secuencias	0,07	ns	1,81	
	SLxSC	0,46	ns	0,90	
Coeficiente de variación (%CV)		8,24		4,73	
n		95		92	

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

La Da es una de las mediciones más comúnmente usadas para caracterizar las condiciones físicas de los suelos por la aplicación de prácticas de labranza (Strudley et al., 2008). Los resultados obtenidos para la Da en el presente trabajo, a pesar de tratarse de leves incrementos (pero significativos), coinciden con lo citado por (Vidal & Costa 1998; Barrios et al., 2016) en donde determinaron que los suelos manejados bajo SD suelen presentar aumento de la Da en los primeros 10 cm de profundidad. De la misma manera (Steinbach et al., 2006), encontraron que la densidad aparente promedio bajo SD fue mayor respecto de las situaciones bajo LC en diferentes tipos de suelo de la región pampeana.

Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP):

En estas determinaciones en ninguna de las tres profundidades se registraron interacciones entre los SL y SC (Tabla 4). Para el tratamiento SL obtuvo diferencias en todos los niveles de profundidades medidos, mientras que en las secuencias de cultivos se registraron diferencias en las profundidades de 0-7 cm y 20-30 cm. El tratamiento SD en superficie registró la mayor resistencia a la penetración (0,24 MPa) respecto de las otras labranzas (entre 0,2 y 0,21 MPa), en cambio en la segunda profundidad 7-20 cm los tratamientos con remoción de suelo resultaron con valores mayores de RMP (1,02 MPa) respecto del tratamiento sin labranza (0,9 MPa). De 20-30 cm hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos LC (1,65 MPa) y SD (1,28 MPa) respectivamente relacionándose los mayores valores en LC con cierta compactación subsuperficial. En esta profundidad LR no presentó diferencias significativas.

El Soil Survey Division Staff (1993), considera que la compactación del suelo se determina rutinariamente midiendo la resistencia de la penetración del suelo o la resistencia a la deformación. La resistencia a la penetración es "la capacidad del suelo en su estado confinado para resistir la penetración por un objeto rígido" (Soil Survey Division Staff, 1993, citado por Lal & Shukla, 2004). Para las secuencias de cultivos en la profundidad 0-7 cm se encontró que la R4 mantuvo diferencias estadísticas con menor RMP (0,18 MPa) con respecto a los otros tratamientos que ofrecieron mayor resistencia y sin diferencias estadísticas entre ellos. Ello podría relacionarse a la mayor cantidad de raíces de la gramínea perenne en los estratos superficiales del suelo durante dos campañas sucesivas. En la segunda profundidad no hubo diferencias entre los tratamientos, en cambio de 20-30 cm la mayor resistencia la presentó el tratamiento R1 y se diferenció estadísticamente con R3 y R4, no así con R2. Los tratamientos R3 y R4 no tuvieron diferencias estadísticas entre sí.

Tabla 4: Análisis de la varianza de la resistencia mecánica a la penetración medida en condiciones de humedad a capacidad de campo y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

RMP (MPa) en condiciones de humedad a capacidad de campo							
Factor		0-7 cm		7-20 cm		20-30 cm	
		RMP(MPa)					
SL	Labranza convencional (LC)	0,20	b	1,02	a	1,65	a
	Labranza reducida (LR)	0,21	b	1,02	a	1,38	ab
	Siembra directa (SD)	0,24	a	0,90	b	1,28	b
SC	R1: So-D	0,21	ab	1,04	ns	1,76	a
	R2: So-Av	0,23	a	0,97		1,47	ab
	R3: So-Ca-Av	0,23	a	0,99		1,31	b
	R4: Past-Past	0,18	b	0,94		1,21	b
Pr>F	Sistemas de Labranza	6,43	***	3,95	**	3,68	**
	Secuencias	4,60	***	1,18	ns	4,25	***
	SLxSC	1,65	ns	1,64	ns	0,98	ns
Coeficiente de variación (%CV)		23,94		20,13		39,53	
n		96		96		96	

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

La resistencia mecánica a la penetración también es utilizada como variable que describe el estado físico del suelo en forma compleja, sigue siendo un método rápido y preciso para determinar la compactación, se reportan valores limitantes para el desarrollo de raíces de 0,8 – 5,0 MPa (Pla Sentís & Ovalles, 1993).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el trabajo realizado, estos se asemejan a los encontrados por Venialgo et al. (2004) en donde los valores del índice de cono determinados en el sistema de siembra directa, son mayores a los valores de los demás tratamientos en el espesor 0-20 cm, pero menores comparativamente a los hallados con sistemas de labranza convencional en monocultivos de algodón, en el espesor de 20-30 cm. Lo mismo ocurrió para (Barrios, 2011; Álvarez, 2013) donde observaron que los suelos de la pampa húmeda manejados con SD presentaron valores de resistencia a la penetración más elevados que en los suelos bajo labranza convencional.

La SD, provocó en la primera profundidad un aumento significativo en la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración, sin llegar a valores restrictivos que impidan la emergencia de plántulas y crecimiento de raíces. La RMP en profundidad (de 7-20 y 20-30 cm) bajo SD disminuyó y revirtió la situación, favoreciendo la exploración de raíces en dichos espesores de suelo, frente a los tratamientos de LC y LR, donde habría una mayor compactación subsuperficial, especialmente, en el tratamiento LC, que pudo ser ocasionada por un mayor movimiento del suelo, el paso de las herramientas y el tránsito de la maquinaria.

Espacio aéreo (EAer):

Al determinar esta variable se observó que en ninguna de las dos profundidades se registró interacciones entre los SL y SC. En cuanto al factor SC no se obtuvo diferencias significativas entre sus tratamientos en ninguna de las profundidades. En el SL sí se tuvo diferencia estadística en la primera profundidad 0-7 cm, con una menor aireación en el tratamiento SD que en los que se realizó remoción de suelo (LC y LR). Esto podría deberse a que la remoción del suelo e incorporación parcial de los rastrojos habrían sido favorables para aumentar la aireación.

Tabla 5. Análisis de la varianza del espacio aéreo e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

Espacio aéreo (EAer)				
Factor		0-7 cm	7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	21,80	a	16,77
	Labranza reducida (LR)	24,01	a	16,26
	Siembra directa (SD)	17,82	b	16,89
SC	R1: So-D	21,14		17,09
	R2: So-Av	20,08	ns	15,96
	R3: So-Ca-Av	21,44		16,48
	R4: Past-Past	22,69		16,98
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	6,09	***	0,19
	Secuencias	0,43	ns	0,31
	SLxSC	0,48	ns	2,15
Coeficiente de variación (%CV)		32,79		26,11
n		95		91

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0.05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

En cuanto a los resultados observados para el EAer, para el presente análisis hay autores que tuvieron resultados similares, menor porosidad de aireación bajo SD respecto al sistema LC, pero con rendimientos mayores de maíz al sostener la SD durante 6 años (Silva et al., 2004). Estos datos coinciden con lo encontrado por (Castiglioni et al., 2010) en un Argiudol vértico de Pampa Ondulada, donde los poros de mayor tamaño fueron los que se vieron más afectados al sostener la SD.

Porosidad total (PT):

En las determinaciones de la PT se observó que en ninguna de las dos profundidades se registró interacciones entre los SL y SC. En cuanto al factor SC no se registraron diferencias en ninguna de las dos profundidades, no así, en el factor SL para la primera profundidad donde se registraron diferencias significativas para el tratamiento sin remoción de suelo respecto a los otros dos tratamientos con labranza y sin diferencias en la segunda profundidad. Esto concuerda con varios estudios que señalan que en suelos compactados se produce una disminución de macroporos observarse diferencias en la porosidad total (Amiotti et al. 2012; Schmidt & Amiotti, 2015).

Tabla 6. Análisis de la varianza de la porosidad total e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

Porosidad Total (PT)				
Factor		0-7 cm	7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	42,85	a	38,22
	Labranza reducida (LR)	43,54	a	39,26
	Siembra directa (SD)	39,48	b	38,48
SC	R1: So-D	42,23		39,45
	R2: So-Av	41,51	ns	38,17
	R3: So-Ca-Av	41,95		37,76
	R4: Past-Past	42,23		39,34
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	6,47	***	1,10
	Secuencias	0,11	ns	1,93
	SLxSC	0,45	ns	0,83
Coefficiente de variación (%CV)		11,37		7,50
n		95		92

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

Generalmente, los suelos bajo sistemas de producción agrícola intensiva tienden a compactarse, y al reducir su porosidad pierden parte de su potencialidad de producción. Las labranzas buscan por métodos mecánicos romper las capas densas y crear poros que permitan el ingreso de las raíces (Shaxson & Barber, 2005). En cuanto a los valores de porosidad que se obtuvieron son semejantes a los obtenidos por Rawls et al., (1982) en suelos franco arenosos de regiones templadas, en donde menciona que la PT adquiere valores entre 35,1% y 55,5%, con promedio de 45,3%. Estos resultados son concordantes con suelos de texturas más bien gruesas ricos en macroporos, los cuales permiten un rápido pasaje del agua, pero tienen una baja capacidad de retención hídrica, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden manifestar una escasa aireación, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua.

Humedad equivalente (HE):

La capacidad de campo es el contenido máximo de agua que puede retener el suelo cuando la mayoría de la macroporosidad está ocupada por aire y se estima a partir del contenido de agua que retiene una muestra de suelo en equilibrio con una presión de 33 kPa, en un equipo de presión y su determinación se denomina humedad equivalente. Esta información se emplea para el cálculo de la clasificación biológica del agua del suelo que considera como disponible para las plantas el agua retenida entre dichas situaciones, la “capacidad de campo” y el “punto de marchitamiento permanente” resultando un concepto útil que es el de la capacidad de retención de agua disponible para las plantas (Porta et al., 1999).

En las determinaciones de la variable HE se observó que en ninguna de las dos profundidades se registraron interacciones entre los SL y SC. En cuanto las SC no se obtuvo diferencias significativas en ninguna de las rotaciones en las diferentes profundidades.

Los SL de las muestras superficiales no presentaron diferencias entre tratamientos. Igual comportamiento de dicha variable fueron obtenidos por Prause et al., (2005) en un Durustol éntico del nordeste del país evaluando labranza convencional y siembra directa.

En el factor SL para la segunda profundidad (7-20 cm), se hallaron diferencias significativas con mayor HE en el tratamiento SD respecto de la LR y un valor medio el tratamiento LC.

Tabla 7. Análisis de la varianza de la Humedad equivalente e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

Humedad equivalente (HE)					
Factor		0-7 cm		7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	14,58		14,67	ab
	Labranza reducida (LR)	13,53	ns	13,45	b
	Siembra directa (SD)	13,95		15,17	a
SC	R1: So-D	13,63		14,34	
	R2: So-Av	14,91	ns	15,18	ns
	R3: So-Ca-Av	13,58		14,89	
	R4: Past-Past	13,94		13,31	
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	0,79		2,75	*
	Secuencias	0,80	ns	1,84	ns
	SLxSC	1,49		3,20	ns
Coeficiente de variación (%CV)		24,09		20,82	
n		96		95	

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor “F”.

Estabilidad de Agregados (EA):

En la Tabla 8 se muestran los promedios obtenidos para la EA, donde se observó que en los dos factores evaluados SL y SC en la superficie (0-7 cm) fue mayor respecto a la segunda profundidad 7-20 cm. No se hallaron interacciones entre SL y SC, pero sí entre SC en el primer espesor 0-7 cm. La pastura perenne (R4) tuvo un 90% de EA con diferencia significativa respecto a la R1 con 75 % y 80% para R2, no así con R3 que mantuvo un valor intermedio. El empleo de una

gramínea en el sistema de rotaciones genera un elevado aporte de raíces y mucílagos que contribuyeron a mejorar los contenidos orgánicos del suelo (aunque no se hallaron diferencias significativas respecto a otras rotaciones) y habían colaborado en incrementar la agregación del suelo. Para el factor SL se tuvo diferencia estadística en la segunda profundidad (7-20 cm) donde la LR presentó la mayor EA.

Tabla 8. Análisis de la varianza de la estabilidad de agregados e interacciones entre los factores interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

Estabilidad de Agregados (EA) (%)					
Factor		0-7 cm		7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	79,28		67,52	b
	Labranza reducida (LR)	82,19	ns	76,41	a
	Siembra directa (SD)	83,84		70,86	b
SC	R1: So-D	75,07	c	70,82	
	R2: So-Av	80,00	cb	70,07	
	R3: So-Ca-Av	81,85	b	70,56	ns
	R4: Past-Past	90,16	a	74,90	
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	1,94	ns	5,80	***
	Secuencias	10,81	***	1,08	ns
	SLxSC	2,31	ns	2,86	ns
Coeficiente de variación (%CV)		11,44		14,71	
n		96		95	

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

El grado de agregación y la estabilidad de los agregados de los suelos están influenciados por su textura y en muchos de ellos, por el contenido de MO (Six et al., 2004; Novelli et al., 2011). Los resultados obtenidos en el presente trabajo no coinciden con lo hallado por Roldán et al., (2014) en donde concluyó que tanto la distribución como la estabilidad de cada fracción de agregados en los primeros 5 cm de suelo, fueron fuertemente influenciadas por el sistema de labranza, y la mayor estabilidad de los macroagregados en superficie fue bajo siembra directa que con labranza convencional.

Para la profundidad de 7-20 cm la estabilidad de agregados presentó el mejor comportamiento bajo LR frente a los otros sistemas de labranza ($P < 0,004$).

pH:

En la Tabla 9 se presenta el pH, donde en superficie, fue mayor para los dos factores evaluados con respecto a la segunda profundidad. No hubo interacción entre SL y SC como en los anteriores atributos del suelo. Para el factor SL se encontró diferencias significativas en la segunda profundidad 7-20 cm, en donde el tratamiento SD tuvo mayor acidez con valores promedios de MO inferiores a la LC. En cuanto al factor SC se encontraron diferencias estadísticas en las dos

profundidades evaluadas, donde el tratamiento R4 con contenidos de MO promedios superiores a los otros tratamientos presentó diferencias significativas con menor acidez que los demás tratamientos (Tabla 9).

El pH de los suelos es una de las propiedades químicas más relevantes que controla la movilidad de iones, precipitación y disolución de minerales, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. La remoción de bases (Ca, Mg, K), sin reposición de las mismas, conlleva a una disminución de la saturación del complejo de intercambio y acidificación de los suelos (Vázquez, 2005). Por otra parte, la aplicación frecuente de fertilizantes también contribuye a la disminución de pH del suelo (Liebig et al., 2002). En el presente trabajo los resultados para SL en la segunda profundidad (7-20 cm), no coinciden con lo reportado por Díaz Zorita (1999) que con LR se incrementó la acidez del suelo y resultó frecuentemente modificada por las prácticas de labranzas. En cambio, Barrios et al. (2016) encontraron que después de varios años de rotación el pH no se alteró por los sistemas de labranza.

Tabla 9. Análisis de la varianza del pH e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

		pH			
Factor		0-7 cm		7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	5,69		5,80	a
	Labranza reducida (LR)	5,68	ns	5,81	a
	Siembra directa (SD)	5,67		5,73	b
SC	R1: So-D	5,64	b	5,74	b
	R2: So-Av	5,63	b	5,70	b
	R3: So-Ca-Av	5,68	b	5,78	b
	R4: Past-Past	5,77	a	5,90	a
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	0,28	ns	3,35	**
	Secuencias	5,69	***	10,67	***
	SLxSC	1,03	ns	0,77	ns
Coeficiente de variación (%CV)		2,24		2,21	
n		96		95	

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

Materia orgánica (MO):

En la siguiente variable en estudio (MO), no se encontraron interacciones entre SL y SC, ni diferencias significativas en ninguno de los factores en estudio, podemos observar que la misma siempre fue mayor en la primera profundidad 0-7 cm.

Sin embargo, se hallaron contenidos ligeramente mayores para las rotaciones con tres cultivos por año y cuando se usó pasturas perennes.

La MO afecta a numerosos procesos del suelo y propiedades de este que la hacen de carácter de importancia ya sea aumentando la estabilidad de los agregados, la infiltración, la humedad del suelo, la porosidad total, disminuyendo la resistencia mecánica.

Algunos autores expresaron que la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas produjeron un deterioro de los niveles de MO, dependiendo del tipo de suelo y textura, llegando solo al 50 % de su niveles originales (Álvarez, 2001; Lavado, 2006). Sin embargo, en el presente ensayo si bien no se observaron diferencias significativas entre tratamientos y secuencias de cultivos en las profundidades evaluadas, partiendo de valores iniciales de MO de 1,74 (en el año cero) aumentaron a valores que fluctuaron de 1,93 a 2% de MO al séptimo año de evaluaciones. Coincidiendo con lo publicado por Laguzzi et al. (2014) donde en siembra directa hubo una mayor concentración de materia orgánica (MO), no siempre significativa, respecto a la labranza mínima realizadas con discos y la labranza convencional, principalmente en los primeros centímetros del suelo.

Tabla 10. Análisis de la varianza de la Materia orgánica e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

Materia orgánica (MO) (%)				
Factor		0-7 cm	7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	1,98		1,56
	Labranza reducida (LR)	1,94	ns	1,50
	Siembra directa (SD)	2,04		1,54
SC	R1: So-D	1,97		1,54
	R2: So-Av	1,92	ns	1,53
	R3: So-Ca-Av	2,02		1,52
	R4: Past-Past	2,03		1,55
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	1,24		0,79
	Secuencias	0,74	ns	0,10
	SLxSC	1,41		1,42
Coefficiente de variación (%CV)		13,49		14,07
n		96		95

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

Infiltración básica (Ib):

En esta variable, medida a campo, se observó que no hubo interacción entre SL y SC, pero hubieron diferencias significativas en ambos factores evaluados. La SD presentó la mayor Ib ($3,11 \text{ cm h}^{-1}$) con respecto a la LC ($2,03 \text{ cm h}^{-1}$), mientras que la LR mantuvo un valor intermedio ($2,57 \text{ cm h}^{-1}$). González et al., (2004) hallaron que el laboreo convencional excesivo puede afectar la estructura, la compactación de capas sub-superficiales y por lo tanto provocar cambios en los contenidos de humedad en la zona radical de las plantas cultivadas debido a una menor entrada de agua.

En cuanto a la SC la rotación R3 tuvo la mayor Ib ($3,32 \text{ cm h}^{-1}$) con diferencias significativas respecto a R1 y la R2, presentando comportamiento intermedio entre ambos grupos la R4, que correspondió a una pastura perenne, donde se hubiese esperado mayores valores que con la R3 de tres cultivos por año. Estos resultados no coinciden con los estudios presentados por Álvarez et

al. (en prensa) donde encontraron que en diferentes sistemas de producción de la región pampeana, presentaron un 30% más de infiltración en las rotaciones con gramíneas.

Los valores en la Tabla 11 para la Ib concuerdan con los obtenidos por Hook & Gascho (1998) quienes concluyeron que la siembra directa y la labranza vertical resultaron ser las técnicas conservacionistas más utilizadas y difundidas por la mejora en la infiltración de agua y la retención de humedad que esta provoca al suelo, lo que implica un mejor aprovechamiento de la misma para el cultivo. Conant et al., (2007) hallaron resultados dispares de infiltración, relacionados a que las evaluaciones de labranzas no siempre funcionan como se esperan, y pueden presentar resultados discordantes.

Una parte fundamental al realizar el laboreo mecánico del suelo, es el efecto de la labor sobre la porosidad y la conductividad hidráulica, ya que el movimiento del agua en el perfil del suelo al punto de saturación se relaciona con la porosidad, encontrándose mayor significancia para la velocidad de infiltración en estratos con profundidades mayores de ocho centímetros (López-Santos et al., 2012).

Tabla 11. Análisis de la varianza de la Infiltración básica e interacción de los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

Infiltración básica (Ib)		
	Factor	Ib (cm h⁻¹)
SL	Labranza convencional (LC)	2,03 b
	Labranza reducida (LR)	2,57 ab
	Siembra directa (SD)	3,11 a
SC	R1: So-D	2,30 b
	R2: So-Av	2,08 b
	R3: So-Ca-Av	3,32 a
	R4: Past-Past	2,60 ab
Pr>F	Sistemas de Labranza (SL)	4,91 ***
	Secuencias	3,72 **
	SLxSC	0,78 ns
Coefficiente de variación (%CV)		53,58
n		96

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; S: sorgo; D: descanso; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pasto cambá; n: número de observaciones; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0,05$); *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; ns: sin diferencias significativas; Pr>F: probabilidad del valor "F".

Las actividades agrícolas consumen una gran cantidad de agua, por lo cual en las regiones donde ésta escasea, se requieren soluciones prácticas e innovadoras para su captación y manejo (Santos-Pereira et al., 2009).

En la SD la Ib fue mayor que en la LC mejorando la entrada de agua al suelo y las reservas hídricas, ya que en la segunda profundidad la SD tubo mayor HE que los otros tratamientos. En contraposición la PT, y el EAer, fueron mayores con remoción del suelo. La mayor Ib sin laboreo, podría haberse debido a que hubo una mayor cantidad de bioporos de la fauna edáfica y de raíces muertas atribuidas a los cultivos previos que habrían generado una mayor porosidad con conexión vertical, colaborando al ingreso del agua al perfil. Otros factores que apoyarían o habrían favorecido este comportamiento bajo SD, podrían ser los mayores valores de EA y MO, que si bien no tuvieron diferencias significativas con respecto a los otros sistemas de labranza (LC y LR), podrían haber contribuido a un mejor movimiento del agua.

CONCLUSIONES

Los indicadores de calidad de suelos en Argiudoles ácuicos de Corrientes, ante diferentes prácticas de manejo, como ser sistemas de labranzas y secuencias de cultivos fueron:

- La infiltración básica permitió diferenciar los sistemas de labranzas evaluados, hallando los mejores comportamientos para siembra directa > labranza reducida > labranza convencional. Esta mayor entrada de agua al suelo permitirá disminuir el agua de escorrentía y la posible generación de erosión hídrica.
- La resistencia mecánica a la penetración y la densidad aparente fueron ligeramente mayores en superficie para siembra directa respecto a los sistemas de labranza con remoción de suelo, aunque no fueron restrictivos para los cultivos, y mejoraron las condiciones de suelo a mayores profundidades (7-20 y 20-30 cm) atributos del suelo que promueven menores limitaciones para el crecimiento de raíces.
- La estabilidad de agregados fue mayor en superficie (0-7 cm) para siembra directa, sin significación estadística, y en profundidad fue superior, mejorando bajo labranza reducida.
- En las secuencia de cultivos, la rotación con pastura perenne (R4), presentó el mejor comportamiento en la resistencia mecánica a la penetración en superficie y en profundidad (de 20-30 cm) al igual que con la estabilidad de agregados, que obtuvo mejor desempeño en muestras superficiales con mejores condiciones del suelo para la R4 > rotación con tres cultivos por año (R3).

Bibliografía:

- Abril A., Salas P., Lovera E., S. Kopp y N. Casado-Murillo. 2005. Efecto acumulativo de la SD sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de la Argentina. *Ciencia del Suelo* 23 (2) 179-188.
- Álvarez C. 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: caracterización, génesis y su manejo. *Información Agronómica de Hispanoamérica (IAH)* 10:2-9.
- Álvarez C., M. Barraco, C. Cazorla, J. C. Colazo, J. de Dios Herrero, A. Lardone, P. Girón, S. Restovich & S. Rillo. 2016. Mejora de propiedades edáficas con inclusión de cultivos de cobertura en agroecosistemas pampeanos. En prensa Congreso Ciencia del Suelo 2016.
- Álvarez, R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soil of the Argentine Pampa using the Century Model. *Soil Use and Management* 17:62-66..
- Amiotti, N.M., M.B. Villamil & R.G. Darmody. 2012. Agronomic and Taxonomic Consequences of Agricultural Use of Marginal Soils in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76 (2). 558-568.
- Barrios M. B., A. C. Sokolowski, J. De Grazia, H. A. Rodríguez, S. P. Debelis, M. C. Gagey, A. D. Blasón & A. Buján. 2016. Análisis de Componentes Principales sobre Propiedades Físicas y Químicas del Suelo en dos Sistemas de Labranza. XXV CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. ISBN 978-987-688-173-9. 26 pp.
- Barrios, M. B. 2011. Efecto del laboreo sobre el desarrollo de raíces y productividad. Editor R. A Grande. Editorial Académica Española. ISSN: 978-3-8443-4125-6. 206 pp.
- Bertol I., D. Leite & W.A. Zoldan Jr. 2004. Corn crop residue decomposition and related parameters. *R Bras Ci Solo* 28: 369-375.
- Blake, G.R. & K.H. Hartge. 1986. Pycnometer Method.. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* ASA and SSSA, Madison, WI. p. 377-381.
- Bogado, H.R., F.A. Paredes & S.L. Esparza. 2006. Principales Problemas en Sembradoras no Tractorizadas para siembra directa para la Pequeña Agricultura Familiar en la Provincia de Corrientes, Argentina. 233-238. En: Díaz Rossello, R. & C. Rava (eds.) *Aportes de la Ciencia y la Tecnología al Manejo Productivo y Sustentable de los Suelos del Cono Sur.* Montevideo: IICA, PROCISUR. 262 p.
- Cabria F.N. & J.P. Culot. 2001. Efecto de las agricultura continua bajo labranza convencional sobre características físicas y química en Udoles de sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 19 (1): 1-10.
- Castiglioni, M; D. Mazzoni; C.I. Chagas; E. Palacín; O. Santanatoglia & M. Massobrio. 2010. Distribución de Poros en una Ladera de Pampa Ondulada Cultivada con Siembra Directa. *Ci. Suelo* 28(2):243-248.
- Conant, R., M. Easter, K. Paustian, A. Swan & S. Williams. 2007. Impacts of Periodic Tillage on Soil C Stocks: A Synthesis. *Soil and Tillage Research.* Vol. 95, pp. 1-10.
- Crespo L., L. Picone, E. Andreoli & F. García. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistemas de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19: 30-38.
- Daily G.C. 1997. Valuing and safeguarding earth's life-support systems. In: Daily, G.C., Editor. *Nature's Services Societal Dependence on Natural Ecosystems*, Island Press, Washington, DC, pp. 365–374.
- Dewis J. & F. Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. *Boletín sobre suelos* Nº10. FAO. Roma. 36-57 p.
- Díaz-Zorita, M. 1999. Efecto de seis años de labranza en un Hapludol del nordeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 17:31-36.
- Díaz-Zorita, M., M. Barraco & C. Alvarez. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un Haplustol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22: 11-18.
- Doran J.W., M. Sarrantonio & R. Janke. 1994. Strategies to promote soil quality and health. In: C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, and P.R. Grace (eds.) *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems.* p. 230-237. CSIRO, Australia.
- Doran, J.W. & T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran et al (ed.) *Defining soil quality for a sustainable environment.* p. 3-21
- Erenstein, O. 2003. Smallholder Conservation Farming in the Tropics and Sub-tropics: A Guide to the Development and Dissemination of Mulching with Crop Residues and Cover Crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100:17-37.

- Evers, G. & A. Agostini. 2001. No-tillage Farming for Sustainable Land Management: Lessons from the 2000 Brazil Study Tour. FAO - Investment Centre. Occasional Paper Series N° 12. 26 pp.
- Fabrizzi K.P., Morón A. & F.O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 1831-1841.
- Ferraro D.O., C.M. Ghersa. & G.A. Schnaider. 2003. Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina. 96: 1-18.
- Ferreras L.A., J. Costa, F. 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.
- González, C.G., I. Sánchez-Cohen & D. García-Arellano. 2004. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. *Terra Latino*. Vol. 22, pp. 279-287.
- Grant C.A. & G.P. Lafond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73:223-232.
- Green V.S. & D.E. Stott. 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol *Soil Till. Res.* Vol 92: 114-121
- Hamza, M.A. & W.K. Anderson. 2005. Soil Compaction in Cropping Systems. A Review of the Nature, Causes and Possible Solutions. *Soil Till. Res.* 82:121-145.
- Haydée S. Steinbach & Roberto Alvarez. 2006. ¿Afecta el sistema de labranza las propiedades físicas de los suelos de la Región Pampeana?. Facultad de Agronomía, UBA. Argentina. 6p.
- Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy* 85: 221-268.
- He, Z.L., X.E. Yang, V.C. Baligar & D.V. Calvert. 2003. Microbiological and biochemical indexing systems for assessing quality of acid soils. *Advances in Agronomy* 78: 89-138.
- Hook, J.E. & J.G. Gascho. 1998. Multiple Cropping for Efficient Use of Water and Nitrogen. In *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen*. Hrgrofe, W.L. (editor). Madison, USA: ASA Special Publication. America Society of Agronomy, Inc. Vol. 51, pp. 7-20.
- Krüger, H. 1996. Labranzas en la región semiárida-subhúmeda bonaerense sur. In: D.E. Buschiazzo, J.L. Panigatti & F.J. Babinec (eds.) *Labranzas en la región semiárida argentina*. INTA y SAPyA, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. p. 67-79
- Laguzzi F. F., R. Osinaga, J. L. Arzeno, A. R. Becker & T. Rodríguez. 2014. Fraccionamiento y mineralización de la materia orgánica en distintos sistemas de labranza en un Inceptisol de Salta. *Ciencia del Suelo* vol.32 no.1.
- Lal, R & M.K. Shukla. 2004. *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, Inc. (Ed.) New York • Basel. 699 p.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. *Soil and Tillage. Research* 20: 133-146.
- Lal, R., 1982: Management of clay soils for erosion control. *Tropical Agric.*, 59 (2), 133 - 138.
- Lattanzi, A., 1998. La siembra directa y la agricultura sustentable En: J.L. Panigatti (ed). *Siembra Directa*. Secretaria de Agricultura Pesca y Alimentación – INTA: 29-34.
- Lavado, R., 2006. La región pampeana: Historia, características y uso de sus suelos. En: *Materia Orgánica "valor agronómico y dinámica de suelos pampeanos"* (ed. R. Álvarez) Editorial. Facultad de Agronomía, universidad de Buenos Aires. pp. 1-12.
- Liebig, M.A., G.E. Varvel, J.W. Doran, & B.J. Wienhold. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:596-601.
- Ligier H. D., H. Matteio, O. Vallejos, J. Garay, D. Kurtz, D. Ybarra, R. Barrios, S. Perucca, C. Fernández López, T. Rey Montoya, A. Perucca, M. Sanabria, S. Kaneoya, P. Matteio, L. Flores, M. Falcón & R. Falcón. 2016. RELEVAMIENTO DE SUELOS Y APTITUD DE TIERRAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE MONTE CASEROS Y EMPEDRADO. INTA. EEA. Corrientes, grupo de Recursos Naturales. 346 p.
- Ligier, H.D., & D.B. Kurtz. 2001. Agricultura de Bajos Insumos en Minifundios de Corrientes: Estrategias para una Agricultura Sustentable. Pp. 363:370. En: *Siembra Directa II*. Panigatti, J.L.; H. Buschiazzo & H. Marelli (eds). Ediciones INTA. Buenos Aires. 377 pp.
- López-Santos, A., G. González-Cervantes, M. Cadena-Zapata, & J.L. González-Barrios. 2012. Effect of primary Tillage on the Physical Quality of Soil, as Evaluated by Disk Permeameter. *Water Technology and Sciences*. Vol. 3, No. 4, pp. 127-141.

- Monegat, C., 1991. Plantas de Cobertura do Solo: Características e Manejo em Pequenas Propiedades. Chapecó (SC). Ediciones del autor. 337 pp.
- Montenegro González, H., D. Malagón Castro & L. Guerrero. 1990. Propiedades Físicas de los suelos. Subdirección Agrológica. I.G.A.C. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Bogotá, Colombia. 813 p.
- Nelson, D.W. & L.E. Sommers., 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter In J.M. Bigham (ed.). Methods of soil analysis Part 3. Chemical Methods. ASA and SSSA, Madison, WI. p. 961-1010.
- Novelli L.E., O.P. Caviglia & R.M. Melchiori. 2011. Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma* 167-168: 254-260.
- Odhambo, J.O. & A.A. Bomke. 2007. Cover Crop Effects on Spring Soil Water Content and the Implications for Cover Crop Management in South Coastal British Columbia. *Agric. Water Management J.* 88. 1-3. 92- 98.
- Page, A.L., R.H. Miller & Keeney. 1982. Methods of soil analysis, Chemical and microbiological properties, Second edition, ASA and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA. Part 2, p. 727-728.
- Paredes, F.A. & H.R. Bogado. 2008. Informe Final Actividad N°2: Desarrollo de Tecnologías Agrícolas Sustentables para Pequeños Productores. Proyecto Regional de Pequeños y Medianos Productores de Corrientes. Documento interno.
- Pla Sentís, I. & F. Ovalles. 1993. Efectos de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. FONAIAP. 35p.
- 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. Alcances N°32. Maracay (Venezuela). 90 pág.
- Porta, J.M., M. Lopez-Acevedo & C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. España, 849 pags.
- Prause, J., C. Fernández López, & H.C. Dalurzo. 2005. Propiedades físicas de un Durustol Entico bajo labranza convencional y siembra directa. Jornadas de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE. Resumen A 064.
- Rawls, W.J., D.L. Brakensiek & K.E. Saxton. 1982. Estimation of Soil Water Properties. *T ASAE* 25(5):1316-1320 y 1328.
- Roldán M, G. Studdert, C. Videla, S. San Martino2 & L. Picone., (2014). Distribución del tamaño y estabilidad de agregados en Molisoles bajo labranzas contrastantes. *Ciencia del Suelo* vol.32 no.2
- Sainju, U.M. & B.P. Singh. 2001. Tillage, Cover Crop, and Kill-Planting Date Effects on Corn Yield and Soil Nitrogen. *Agron. J.* 93:878-886.
- Sainju, U.M.; B.P. Singh & W.F. Whitehead. 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils of Georgia, USA. *Soil Till. Res.* 63:167-179.
- Sánchez A.H., & J.R. García. 1998. Efecto del laboreo en algunas propiedades físicas de un Haplustol Típico y en el rendimiento de la soja. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Carlos Paz, Córdoba. p. 267-268.
- Santos-Pereira L.A., I. Cordery, & I. Iacovides. 2009. Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges. The Netherlands: Springer Science and Business Media B.V.
- Schmidt, E.S. & N.M. Amioti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur. *Ciencia del Suelo* 33 (1), 79-88.
- Shaxson F. & R. Barber. 2005. Optimización de la Humedad del Suelo para la Producción Vegetal. El Significado de la Porosidad del Suelo. Boletín de Suelos de la FAO N° 79. Roma, Italia, 129 pp.
- Shukla M.K., R.Lal & M. Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research* 87, 2: 194-204.
- Silva, A.P, S. Imhoff & B. Kay. 2004. Plant Response to Mechanical Resistance and Air-Filled Porosity of Soils under Conventional and No-Tillage System. *Sci. Agric.* 61(4):451-456.
- Sisti, C.P., H.P. dos Santos, R. Kohhlann, B. Alves, S. Urquiaga & R.M. Boddey. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil Till Res* 76: 39-58.
- Six J, H Bossuyt, S. Degryze & K. Denef. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31.
- Snapp, S.S., S.M. Swinton, R. Labarta, D. Mutch, J.R. Black, R. Leep, J. Nyiraneza & K. O'Neil. 2005. Evaluating Cover Crops for Benefits, Costs and Performance within Cropping System Niches. *Agron. J.* 97:322-332. SSSA Special Publ. 35. SSSA and ASA. Madison, WI.

- Strudley M.W., T.R. Green & J.C. Ascough. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil Till. Res.* 99:4–48.
- Studdert, G. A. & H.E. Echeverría. 2000 b. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 64:1496-1503.
- Studdert, G.A. & H.E. Echeverría. 2000 a. Soja, girasol y maíz en los sistemas de cultivo del sudeste bonaerense. Pp. 407-437. En: Andrade F.H. & V. Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA - Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). Advanta Semillas SAIC.
- Taboada M.A., F.G. Micucci, D.J. Consentino & R.S. Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.* 49:57-63.
- Tiessen, H. 2003. Ciclado y disponibilidad de fósforo: manejando procesos y cantidades. Simposio "El fósforo en la Agricultura Argentina". Rosario. Argentina. p. J. 48:853-858.
- Tisdall, J. & J. Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soils Sci.* 33:141-163.
- Vázquez, M. 2005. Calcio, magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En: Fertilidad del Suelo y Fertirrigación de Cultivos (ed. Echeverría HE y FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires. Argentina. pp 161-188.
- Venialgo, C.A., O. Ingaramo, S. Ibaló, M. Roldán, G. Banzhaf & N.C. Gutierrez. 2004. Índice de cono, humedad presente y densidad aparente en diferentes labranzas y rotaciones. UNNE. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen: A-076.
- Vidal C.M., & J.L. Costa. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. *RIA Vol* 29. p. 211-212.