



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

MODALIDAD TESINA

Facultad de Ciencias Agrarias
Ingeniería Agronómica

Título:

**“Variables relacionadas al contenido y
movimiento del agua en un Argiudol ácuico bajo
diferentes manejos”**

Alumno:

Rodrigo Jaled SOSA

Director:

Ing. Agr. (M.Sc.) Federico Antonio PAREDES

Lugar de Realización:

INTA Estación Experimental Agropecuaria -Corrientes.
Cátedra de Edafología - Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.

Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. (Dr.) Ramón Jesús HIDALGO
Ing. Agr. (Mgter) Héctor María CURRIE
Ing. Agr. (Mgter.) Mario Antonio SLUKWA

Año 2018

Índice

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS	9
General	9
Específicos	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
Sitio	9
Caracterización climática	9
Caracterización edáfica	9
Diseño experimental y tratamientos	10
Manejo y seguimiento del experimento.....	10
Los cultivos que se emplearon fueron	11
Muestreos y determinaciones a campo.....	11
Infiltración básica (Ib):.....	12
Resistencia mecánica a la penetración en el suelo (RMP):.....	12
Humedad Presente:	13
Tareas de laboratorio.....	13
Humedad equivalente.....	13
Estabilidad de agregados:	14
Densidad aparente.....	14
Análisis de resultados	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Infiltración básica (Ib).....	15
Humedad Presente (HP).....	16
Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP).....	17
Humedad equivalente (HE)	19
Estabilidad de Agregados (EA)	20
CONCLUSIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23

AGRADECIMIENTOS

- Como soy católico, gracias Dios, San Expedito
- A mi madre por darme la oportunidad de estudiar
- A mis amigos, que siempre están en especial a Nahuel Ramos, compañero de facultad que me dio una mano inmensa para poder terminar la carrera
- Al Ingeniero Humberto Dalurzo, Federico Paredes, por la predisposición y tiempo que me dedicaron
- A mi tribunal evaluador del trabajo final de graduación

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de prácticas de manejo contrastantes en las variables físicas de suelo, relacionadas al contenido y movimiento del agua en un Argiudol ácuico. Luego de sostener en el tiempo diferentes sistemas de labranzas y secuencias de cultivos, se evaluó como posibles indicadores de calidad de suelo: infiltración básica (Ib), resistencia a la penetración (RMP), humedad presente (HP), humedad equivalente (HE), estabilidad de agregados (EA), densidad aparente (Da), en un ensayo en la E.E.A. INTA – Corrientes, sobre un Argiudol ácuico (serie Treviño). El diseño experimental fue en parcelas completamente aleatorizadas con arreglo factorial (3x4), donde los tratamientos fueron 12, combinando los factores (sistemas de labranzas-secuencias de cultivos), con cuatro repeticiones en total 48 parcelas de 140 m² cada una. 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 de menor intensidad, un cultivo por año; R2 de intensidad intermedia, dos cultivos por año; R3 de uso de mayor intensidad, (R4) Pasto Cambá FCA (*Paspalum atratum*). Los muestreos y determinaciones a campo se realizaron previamente a la instalación de la siguiente campaña agrícola. Se determinó Ib, RMP, y HP, en campaña, y las otras variables (EA, HE, Da) en laboratorio. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante el análisis de la varianza, aplicando la prueba de Duncan ($P < 0,05$). La SD tuvo una mayor velocidad de entrada del agua en el perfil (Ib), aunque no se observó diferencia significativa en ninguno de los tratamientos. Con respecto a la SC, en la R4 con *Paspalum atratum* la Ib fue mayor, esto se debería a un gran aporte de materia orgánica resultante del sistema radicular de las gramíneas que habría mejorado la estructura del suelo. Para la RMP, los SL en la profundidad de 0-7 cm no presentaron diferencias significativas. Los mayores valores se obtuvieron en LC de 7-20 cm y 20-30 cm, los tratamientos de SD y LR demostraron casi el mismo comportamiento, aunque la SD demostró una ligera compactación superficial de 0-7 cm, en las SC, la R4 con *Paspalum atratum* se registró la menor RMP en las tres profundidades con diferencias significativas con las demás rotaciones. Para la HP (humedad presente a campo), en los SL no se observaron diferencias significativas en ninguna de las profundidades, en las SC el porcentaje de HP mayor se obtuvo en la R4 *Paspalum atratum* con un 25,53%. En la profundidad de 0-7 cm se hallaron los mayores registros de humedad con la rotación R4, los menores valores para R3, y un comportamiento intermedio para R1 con 22,5% y R2 con 22,6% con diferencias significativas solamente del 1% entre rotaciones. Para HE, en los SL no se encontró diferencia significativa entre las mismas, con un leve aumento en SD para la profundidad de 7-20 cm y en las SC tampoco se encontró diferencias en ninguna de las profundidades (0-7 cm a 7-20 cm), si una diferencia mínima en la R4 del 1% de HE con respecto a las demás. En la variable EA, se observó que los mayores valores se dieron en la rotación con *Paspalum atratum* (80,54%) para las dos profundidades analizadas, aunque estas diferencias no fueron significativas en los SL y en las SC en todos los casos. Para la Da, los valores se relacionaron a la clase textural del suelo (franco arenoso) pero no hubo diferencias significativas entre los sistemas de labranzas y entre las secuencias de cultivos.

INTRODUCCIÓN

En un principio la agricultura se ha realizado con sistemas de labranza convencional (LC), utilizando 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, estos cambios disminuyen la producción agrícola o provocan demandas de mayores insumos para mantener su productividad (Venialgo et al., 1999).

El arado de reja y vertedera, tanto como el arado de disco y la rastra de disco son utilizados en un sistema de LC. El mal uso de estos implementos, al labrar con contenidos de humedad inadecuados y a la misma profundidad genera compactación del suelo. A su vez, al laborear un suelo con aradas profundas o a diferentes profundidades y en condiciones de baja humedad es más difícil compactarlo y generar un piso de arado (Venialgo, 1999).

La Labranza reducida (LR) deriva de las labranzas conservacionistas, donde se usan rastras livianas de dientes, rotativas y escardillos, el rastrojo que queda en superficie reduce la posibilidad de formación de costras y reduce la erosión (Venialgo, 2004).

En la siembra directa (SD), en cambio, se remueve mínimamente el suelo, se utiliza solo una sembradora especial. El uso de esta tecnología trata de conservar la estructura del suelo y la protección del mismo impidiendo la erosión hídrica e eólica. Si el suelo está compactado no se genera los efectos esperados como mejor rendimiento y sustentabilidad. Al tener cobertura de rastrojos se evita la pérdida de agua y facilita la infiltración. Esto funciona siempre si hay retorno continuo de materia orgánica o un cultivo protector (Primavesi, 1984).

La siembra directa nació como una tecnología de cultivo que reduce la degradación de los suelos, con mejor aprovechamiento del agua de lluvia, económicamente más eficiente y con una mejora en los rendimientos. Actualmente en Argentina la SD abarca el 92% del área cultivable (33 millones de hectáreas). La tecnología no solo implica sembrar un cultivo sin labranza previa, sino que a diferencia de otros sistemas implica sembrar sobre la cobertura de residuos e involucra un paquete tecnológico de buenas prácticas agrícolas como rotación de cultivos, fertilización, manejo integrado de plagas con un manejo eficiente y cuidadoso de fitosanitarios y otros agroinsumos (Bragachini et al., 2015).

Argentina es pionera en siembra directa desde el año 1977 en Córdoba, Aapresid cuenta con una superficie sembrada en SD 31.027.918 has campaña 2014-2015 (www.aapresid.org.ar).

El laboreo excesivo y la falta de rotación provocan la degradación física de los suelos, especialmente cuando existen limitaciones para la producción o situaciones con una 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.

Así, LC deja el suelo desnudo por la inversión completa del pan de tierra, en cambio bajo LR la inversión del pan de tierra es incompleta dejando una 30% del rastrojo en superficie, mientras que en SD no hay inversión del pan de tierra el suelo queda cubierto totalmente por el rastrojo del cultivo anterior (Mulin & Álvarez, 2004).

El principio de la rotación, está conforme a la manera en que el cultivo actúa sobre los factores del suelo y el cultivo siguiente, efecto sobre la estructura, exigencia de nutrientes, efectos de sus excreciones radiculares, agotamiento del agua, enfermedades y plagas

desarrolladas por el cultivo, el valor económico del mismo que forma parte de una rotación (Primavesi, 1984).

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 estabilidad de los agregados (EA), la densidad aparente (D_a), la distribución del tamaño de los poros, la dinámica del agua y la resistencia mecánica a la penetración de las raíces (RMP).

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).

Los suelos Argiudoles en Corrientes de los albardones del Río Paraná y sectores con pendientes suaves son Udoles con horizontes argílicos, enriquecidos con arcilla iluvial, el horizonte superficial es mólico oscuro y el argílico es parduzco.

La capacidad de uso es III, estos suelos presentan limitaciones que restringen la elección de plantas o requieren prácticas especiales de conservación; entre los factores limitantes se pueden citar: susceptibilidad a la erosión hídrica, permeabilidad moderada del subsuelo, exceso de humedad, con encharcamientos después de las lluvias (Escobar, 1994).

A pesar que son suelos moderadamente bien drenados, durante los meses de escasas precipitaciones y con elevadas temperaturas del verano pueden manifestar síntomas de deficiencia hídrica. Por ello el correcto manejo del agua en agricultura y en la gestión del medio ambiente requiere conocer su comportamiento (Porta, 2003).

La humedad equivalente, expresa el agua que se aproxima a capacidad de campo que 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. 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).

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 Sentis, 1994).

La infiltración tiene interés en proyectos de regadíos, transformaciones en cultivos de secano a regadío, selección de equipos de riego, manejo del agua de riego, determinación de la pluviometría del riego por aspersión, también tiene interés en estudios medioambientales como degradación de suelo por erosión hídrica, determinación del caudal de aguas residuales que es capaz de infiltrar un suelo, mejora de suelos afectados por salinidad y estudio del ciclo hidrológico (Porta et al., 1999).

La velocidad de infiltración depende de muchos factores, como ser el espesor de agua empleado para el riego o lluvia, la temperatura del agua y el suelo, la estructura y la compactación, textura, estratificación, contenido de humedad, agregación y actividades microbianas (Gavande et al. 1972). Además, los distintos manejos que se le imponen al suelo modifican a estos factores y por ende las labranzas modifican la velocidad de entrada de agua al perfil de suelo. Cuando las labranzas modifican la distribución del tamaño de los poros, en la capa arable, se produce un incremento en la capacidad del suelo para retener agua a bajas succiones lo que hace que incremente la infiltración, por debajo de la capa arable la capacidad de retención de agua es menor por lo que hace disminuir la infiltración, esto es debido a los cambios en la geometría del espacio poroso (compactación, piso de arado) inducidos por las labranzas (Pla Sentis, 1994).

La resistencia a la penetración (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 estabilidad de agregados (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).

Se entiende por estabilidad de agregados del suelo a la capacidad de los agregados para resistir a la destrucción por el choque de los implementos de labranza, de las gotas del agua de lluvia o del agua que corre, de modo que la penetración del agua, la aeración y la penetración de las raíces se mantengan a niveles favorables. La EA también implica la retención del agua y la trabajabilidad del suelo, que en gran medida depende la textura del suelo (Baver, 1973).

La estabilidad de agregados (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).

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 (Schmidt & Amioti, 2015).

La densidad aparente, describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expandentes (Taboada & Alvarez, 2008). Tiene interés desde el punto de vista de manejo de suelo ya que informa

sobre la compactación de cada horizonte, y permite inferir las dificultades para la emergencia del enraizamiento y la circulación del agua y del aire. La densidad aparente resulta indispensable para referir el volumen de suelo y está muy relacionada con la estructura (Porta et al., 1999). La densidad aparente se usa para calcular el peso de la hectárea, la lámina de agua para riego, estudios de impactos ambientales como degradación si el suelo está compactado, determinación de porosidad, usos de implementos de labranza (Porta et al., 1999).

OBJETIVOS

General

Analizar el efecto de prácticas de manejo contrastantes en las variables físicas de suelo relacionadas al contenido y movimiento del agua en un Argiudol ácuico del Departamento de Empedrado, Corrientes.

Específicos

Evaluar los cambios producidos luego de sostener en el tiempo diferentes sistemas de labranza y secuencia de cultivos sobre:

- la humedad equivalente;
- la infiltración básica;
- la densidad aparente;
- la resistencia mecánica a la penetración de raíces y la humedad presente; y
- la estabilidad de agregados al agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio. Se empleó un ensayo implantado en el año 2007 en la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (latitud 27° 39' S; longitud 58° 46' W), en el Departamento Empedrado, Provincia de Corrientes.

Caracterización climática. El clima de la Provincia es subtropical sin estación seca, con una temperatura media anual de 21°C, con abundantes precipitaciones, entre 1400 mm y 1900 mm anuales, con escasas variaciones diarias y estacionales, sobre todo en el noroeste. El mes de enero es el que presenta los días más cálidos del año, con temperaturas que alcanzan los 34°C como media en los últimos tres años. Los inviernos se caracterizan por ser los más fríos, con 12°C promedio.

Caracterización edáfica. El suelo representativo del área del ensayo pertenece a la Serie Treviño clasificado como Argiudol ácuico arcilloso fino hipertérmico (Ligier et al., 2016). Los datos modales del perfil se muestran en el Tabla 1.

Tabla 1. Datos analíticos del perfil de suelo bajo estudio.

2. Datos analíticos del perfil de suelo bajo estudio:															
Horizonte	Profundidad (cm)	MO	Granulometría					Ca	Mg	K	Na	H*	T**	S/T***	PSI****
			Arcilla	Limo	Arena										
					Fina	Gruesa									
							pH								
			%												%
A ₁₁	0 - 17	1,7	11,6	21,5	64,7	2,2	5,6	3,5	2,9	0,1	0,3	1,0	6,8	100	3,8
A ₁₂	17 - 30	1,1	13,7	21,4	63,1	1,8	5,8	5,7	2,4	0,1	0,4	1,0	7,3	100	4,1
BA _t	30 - 39	1,2	20,0	22,3	55,4	2,3	6,0	8,9	2,9	0,1	0,5	2,6	13,9	89	3,3
B _{t11}	39 - 66	0,9	32,6	16,1	49,6	1,7	6,3	13,9	3,9	0,2	0,8	3,2	20,2	93	3,6
B _{t12}	66 - 87	0,7	32,9	16,6	48,4	2,1	7,0	14,6	4,0	0,3	0,7	1,4	20,8	94	3,3
B _{tk}	87 - >	0,3	30,5	16,6	51,4	1,5	7,4	14,2	4,1	0,3	0,7	1,5	18,6	100	3,3

Referencias: * H=acidez intercambiable. ** T=capacidad de intercambio catiónico, suma de S y H. *** S/T=porcentaje de saturación de bases, cociente entre bases intercambiables y capacidad de intercambio catiónico x 100. S=bases intercambiables, suma del calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables. **** PSI=porcentaje de sodio intercambiable, cociente entre el sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico x 100.

Diseño experimental y tratamientos. El diseño utilizado fue en parcelas completamente aleatorizadas en un arreglo factorial (3 x 4), correspondiente a un ensayo de larga duración, donde los factores considerados fueron: sistemas de labranza combinando con secuencias de cultivos, dando un total de 12 tratamientos. Antes de empezar el tratamiento en el año 2006 se pasó rastra en todas las parcelas, luego se sembró *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) en las mismas. El tratamiento empieza en el año 2007. El año en estudio fue la campaña 2016-2017.

Sistemas de labranzas, con tres niveles: labranza convencional (LC), labranza reducida (LR) y siembra directa (SD) las cuales se combinaron con;

Secuencias de cultivos, que se iniciaron en el año 2007 con cuatro niveles de rotaciones.

Rotación uno: un cultivo por año de uso meno intensivo con más descanso, se realizaron 11 cultivos hasta la actualidad;

Rotación dos: dos cultivos por año, uso intermedio se realizaron 15 cultivos hasta la actualidad.

Rotación tres: tres cultivos por año, mayor intensidad se realizaron 21 cultivos hasta la actualidad.

Tabla 2 Tratamientos analizados

Los tratamientos fueron doce, cada uno con cuatro repeticiones totalizando 48 unidades experimentales, el tamaño de la parcela de 140 m². La campaña analizada fue 2016-2017.

Tratamiento			Campaña																														
	SL	Sec	2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017								
1	LC	R1	LC	Mu	Mu	Mz	Mz		A	A		Mz		A	A		Mu	Mz			So			Zp			Ca			Mz			
2	LC	R2	LC	Mu	Mu	Mz	Mz	Av	A	A	Av	Mz		Av	A	A	Av	Mu	Av	Mz		Av	So		Av	Zp		Av	Ca	Av		Av	Mz
3	LC	R3	LC	Mu	Mu	A	A	Av	Mz	Mz	Av	A	A	Av	Mz	Mz	Av	Mu	Av	Mz	Ca	Av	So	Ca	Av	Zp	Ca	Av	Ca			Mz	
4	LC	R4	LC	Mu	Mu	A	A		Mz	Mz		A	A		Mz	Mz		Mu		Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	
5	LR	R1	LC	Mu	Mu	Mz	Mz		A	A		Mz			A	A		Mu		Mz			So			Zp			Ca			Mz	
6	LR	R2	LC	Mu	Mu	Mz	Mz	Av	A	A	Av	Mz		Av	A	A	Av	Mu	Av	Mz		Av	So		Av	Zp		Av	Ca	Av		Av	Mz
7	LR	R3	LC	Mu	Mu	A	A	Av	Mz	Mz	Av	A	A	Av	Mz	Mz	Av	Mu	Av	Mz	Ca	Av	So	Ca	Av	Zp	Ca	Av	Ca			Mz	
8	LR	R4	LC	Mu	Mu	A	A		Mz	Mz		A	A		Mz	Mz		Mu		Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	
9	SD	R1	LC	Mu	Mu	Mz	Mz		A	A		Mz			A	A		Mu		Mz			So			Zp			Ca			Mz	
10	SD	R2	LC	Mu	Mu	Mz	Mz	Av	A	A	Av	Mz		Av	A	A	Av	Mu	Av	Mz		Av	So		Av	Zp		Av	Ca	Av		Av	Mz
11	SD	R3	LC	Mu	Mu	A	A	Av	Mz	Mz	Av	A	A	Av	Mz	Mz	Av	Mu	Av	Mz	Ca	Av	So	Ca	Av	Zp	Ca	Av	Ca			Mz	
12	SD	R4	LC	Mu	Mu	A	A		Mz	Mz		A	A		Mz	Mz		Mu		Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	

Referencias: SL: sistema de labranza; Sec: secuencia de cultivos; LC: labranza convencional; LR: Labranza reducida; SD: Siembra Directa; Mz: Maíz; "celda vacía": descanso; A: algodón; Av: avena negra; Ca: caupí; Past: pastura Pasto Cambá; Mu: mucuna blanca; So: sorgo escoba; Zp: zapallo tetsukabuto.

Manejo y seguimiento del experimento.

A continuación, se mencionan las prácticas generales de manejo aplicadas a cada nivel de los factores:

Labranza convencional (LC), previamente a la siembra de los cultivos se preparó el suelo con remoción e incorporación mecánica de los rastros 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:

Maiz (*Zea mays*). Variedad: amarillo criollo. Época de siembra: primera quincena de septiembre. Densidad de siembra: 4 semillas por metro lineal distanciados a 0,7 m entrelíneas.

Avena (*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.

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 siembra directa de grano grueso de cuatro cuerpos, marca Dolzani. La aplicación de herbicidas se realizó con mochila pulverizadora.

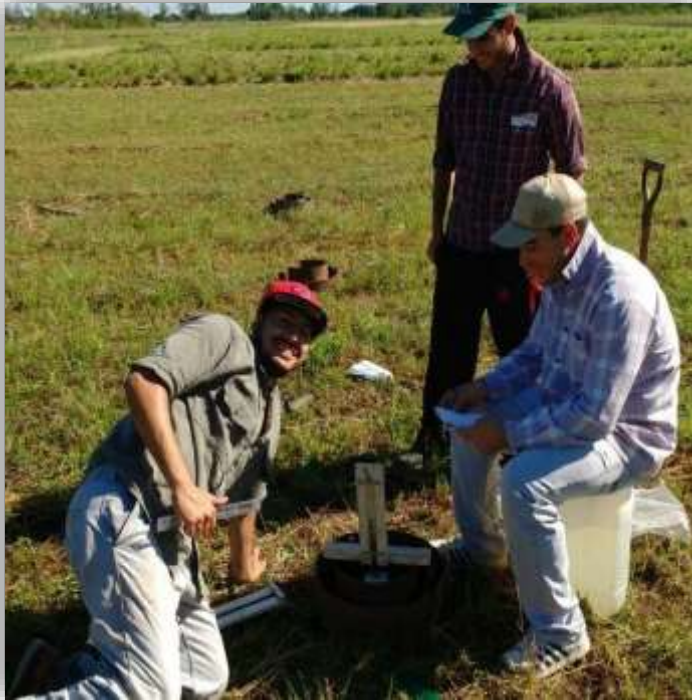


Muestreos y determinaciones a campo.

La toma de muestras se realizó al final de la interrupción del ciclo de la avena negra (cultivo de cobertura invernal) del décimo año de producción, en septiembre del año 2016 a marzo del año 2017.

En todas las parcelas se tomaron, dos muestras compuestas de suelo (tres submuestras cada una) a dos profundidades: 0-7 cm y 7-20 cm. En forma simultánea se realizaron las siguientes actividades:

Infiltración básica (Ib): se determinó por el método de los anillos concéntricos o del doble anillo, este método 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 milímetros de la misma en el anillo interno con una regla de 30 cm.



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). Para la misma se realizaron dos determinaciones por parcela, lo que hace un total de 96 mediciones.

Para los cálculos se empleó el modelo empírico propuesto por Kostiakov (Fernández et al., 1971) para interpretar el movimiento vertical del agua en el suelo y obtener el valor de infiltración básica.



Resistencia mecánica a la penetración en el suelo (RMP): después de 48 hs pasadas de la medición de Ib, en el mismo lugar se procede a medir las RMP por el método del penetrometro de impacto de punta cónica (Black, 1965;

Bradford. cit. en Klute, 1986). Para ello se utilizó el penetrometro de impacto, que cuenta con un vástago, donde se desplaza una pesa concéntrica 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. Una vez obtenida la medición en la cinta de papel se registran los valores en una planilla Excel y por medio de una formula se expresan los valores en Megapascals (MPa).

Humedad Presente: simultáneamente después de la RMP, se tomaron muestras con un barreno tipo calador a dos profundidades de 0-7 cm y 7-20 cm luego se la envolvió en papel aluminio y se la conservó en una conservadora para que no pierda humedad hasta



que llegue al laboratorio. La determinación del contenido de agua presente se efectuó por el método gravimétrico, que expresa la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo en porcentaje. Una vez en el laboratorio, la muestra se pesa (peso húmedo) y luego se lleva a estufa considerando la pérdida de peso tras mantener la muestra a 105°C durante 48 hs, hasta peso constante (Dewis, 1970).

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:

Humedad equivalente: Expresa el agua que se aproxima a capacidad de campo, se la determinó por el método de la centrifuga. (Montenegro González et al., 1990). Para esta se cubrió las celdillas de bronce con un papel de filtro, se introdujo en las mismas 30 g de suelo seco al aire (de manera de obtener aproximadamente una capa de un centímetro de espesor). Cada muestra, por duplicado, se sumergieron en agua durante 24 horas; luego de escurrir unos minutos sobre un trapo húmedo se colocaron en la centrifuga enfrentando los duplicados de cada muestra. La centrifuga se mantuvo durante 40 minutos a una velocidad de 2440 rpm (velocidad equivalente a 1000 veces la fuerza de la gravedad = 1 atm de presión). Luego se colocó una porción de suelo en un pesafiltro previamente tarado y se pesó (peso húmedo). Posteriormente se llevó a estufa a 105 °C, por 24-48 horas hasta peso constante. Los pesafiltros se retiraron de la estufa y se colocaron en un desecador, para luego de enfriados, obtener el peso seco y calcular su relación.



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.

Densidad aparente: Se empleó el método de la probeta, en muestras alteradas con una probeta de 100 cm³ previamente tarada. Con suelo seco al aire se llena hasta la marca de la probeta luego pesándola cuidadosamente. Se deja caer la probeta cinco veces de una altura de 10-15 cm aproximadamente, sobre un paño para amortiguar el golpe. Se lee el volumen ocupado luego de reacomodarse el suelo en la probeta, repetimos el proceso tres veces para cada muestra, realizamos un promedio del peso (g) dividido el volumen de la probeta (cm³) y se obtiene la densidad aparente. Se corrige el peso del suelo, a suelo seco a 105 °C, utilizando un coeficiente de ajuste por humedad, o restándole la cantidad que corresponde de la humedad determinada (Forsythe, 1975).



Análisis de resultados. Los datos obtenidos para cada variable se analizaron estadísticamente para determinar diferencias entre tratamientos mediante el análisis de la varianza empleando un $\alpha=0,05$ y la Prueba rangos múltiples de Duncan para la comparación de las medias de los tratamientos, para ello se utilizó el software Statistical Analysis System (SAS). Donde en el análisis estadístico se compara valores entre distintos factores (sistemas de labranzas y secuencia de cultivos), de manera individual por columna.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Infiltración básica (lb)

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 tabla 3 se presentan los promedios de lb determinados a campo. En cuanto a los tratamientos de labranzas, la SD tuvo una mayor velocidad de entrada del agua en el perfil (lb), aunque no se observó diferencia significativa en ninguno de los tratamientos. Respecto a los parámetros de la ecuación de Kostiacov "A", o sea la entrada de agua en el momento inicial del proceso, fue mayor con SD, sin diferencias significativas y en las secuencias de cultivos, los mayores valores se obtuvieron en R3 y R4. 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 no mostró diferencias significativas para los SL (tabla 3). Con respecto a la SC, en la R4 con pasturas perennes, la lb fue mayor, de 13,86 mm h⁻¹ (P <0,05), esto se debería a un gran aporte de materia orgánica resultante del sistema radicular de las gramíneas que habría mejorado la estructura del suelo.

Tabla 3. Análisis de la varianza de la Infiltración básica e interacción de los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

La interpretación de los análisis estadísticos, es por columna para lb (infiltración básica), A (Infiltración inicial), n (tasa de infiltración). comparando con los distintos factores.

Infiltración (lb) mm h ⁻¹						
Factor		lb		A		n
SL	Labranza convencional (LC)	6,42		3,83		0,70
	Labranza reducida (LR)	7,94	ns	4,41	ns	0,50 ns
	Siembra directa (SD)	8,38		4,98		0,54
SC	R1	6,07	b	2,17	b	0,51
	R2	5,77	b	2,35	b	0,55
	R3	4,61	b	7,07	a	0,70 ns
	R4	13,86	a	6,03	ab	0,56
"F"	Sistemas de Labranza (SL)	0,53	ns	0,81	ns	1,42
	Secuencias	0,001	*	2,98	*	0,58 ns
	SL x Secuencias	0,57	ns	0,37	ns	2,35
Coeficiente de variación		74,5		84,54		62,2
Número de observaciones		96		96		96

lb: infiltración básica (mm h⁻¹); A: infiltración inicial (mm h⁻¹); "n": tasa de infiltración; SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; CV (%): coeficiente de variación; Letras diferentes en un mismo momento indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo; *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; Pr>F: probabilidad del valor "F".

Conant et al. (2007) halló resultados dispares de infiltración, informando que las evaluaciones de labranzas no siempre funcionan como se esperan, y pueden presentar resultados discordantes. En el presente trabajo, los sistemas de labranza empleados no mostraron diferencia significativa. Aunque bajo SD la lb fue mayor, donde el contenido de rastrojo en superficie podría haber ayudado. Posiblemente, la ausencia de estas

diferencias significativas se deba al elevado CV, como fue informado por Hillel (1998) para esta variable, ya que los valores fueron progresivamente mejores en cuanto a la lb a medida que se redujeron las operaciones de labranza en los tratamientos.

Kay y Vandenbygaart (2002) 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. La actividad biológica (crecimiento, descomposición de las raíces y la actividad de las lombrices) podría ser una de las causas de la lb en pastura, un mayor contenido de rastrojo en superficie evitando la formación de sellos superficiales y favoreciendo a la formación de poros por la actividad biológica. La pastura a diferencia de los cultivos anuales, tienen menos remoción de suelo y la renovación de raíces deja poros de drenaje que favorecen el movimiento del agua en el perfil.

Humedad Presente (HP)

En la tabla 4, se presentan los resultados de la humedad presente del suelo en el momento de determinación de la RMP. En los SL no se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en ninguna de las profundidades.

La ausencia de diferencias significativas en la HP entre tratamientos en el momento de la lectura de la variable RMP permitió analizar dicha variable. Como la RMP es dependiente del contenido de humedad al momento de su medición, las diferencias encontradas se pueden atribuir a la resistencia propia ofrecida por el suelo y no al contenido de agua presente.

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

La lectura del análisis estadístico en humedad presente, se realiza por columna con respecto a las profundidades de 0-7 y 7-20 cm. Comparando con distintos factores (sistemas de labranzas y secuencias de cultivos).

Factor		0-7 cm	7-20 cm
		H P (%)	
	Labranza convencional (LC)	22,67	19,51
SL	Labranza reducida (LR)	24,54 ns	20,11 ns
	Siembra directa (SD)	22,45	20,69
SC	R1	22,53 ab	19,93
	R2	22,59 ab	19,16 ns
	R3	22,23 b	20,14
	R4	25,53 a	21,19
"F"	Sistemas de Labranza	1,55	0,47
	Secuencias	2,11 ns	0,7 ns
	SL x Secuencias	0,54	1,36
Coeficiente de variación		22,53 ns	24,31 ns
Número de observaciones		96	96

HP: humedad presente SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; R: rotación; 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 las SC el porcentaje de HP mayor se obtuvo en la R4 (pastura perenne) con un 25,53%, la cual podría deberse a la cobertura generada por la pastura perenne, que disminuyó la pérdida de humedad en el perfil.

En la profundidad de 0-7 cm se hallaron los mayores registros de humedad con la rotación R4 de pasturas, los menores valores para R3, y un comportamiento intermedio para R1 con 22,5% y R2 con 22,6% con diferencias significativas solamente del 1% entre rotaciones.

Tampoco se observó interacción entre los SL y SC ni diferencias significativas de cada factor evaluado.

El muestreo se realizó en simultáneo a la determinación de la RMP, para lo cual se esperó a tener condiciones de humedad cercanas a la capacidad de campo, dado a estas condiciones de humedad no se encontraron diferencias en las secuencias de cultivos. Previamente a la instalación del ensayo (2006) se realizó un estudio de variabilidad de suelo para definir si existían diferencias edáficas en el ensayo a ejecutar. Dado que no se obtuvieron en dicha evaluación, se podría asumir que se trataría de un área homogénea y por ello los contenidos de humedad fueron similares en las distintas parcelas Rey Montoya et al (2017)

En esta situación, el contenido de humedad no fue una condición que enmascare los resultados hallados en RPM. A su vez las labranzas para estos manejos no implicaron inversión del pan de tierra, con lo cual no debería haber un cambio textural en la capa arable.

Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP)

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).

Los SL en la profundidad de 0-7cm no presentaron diferencias significativas. Los mayores valores se obtuvieron en LC de 7-20 cm ($P < 0,05$) y 20-30 cm ($P < 0,01$) con diferencia significativa en todas las profundidades (ver tabla 5). Esta compactación subsuperficial podría estar relacionada al laboreo del suelo (por el efecto de labrar siempre a la misma profundidad) y el tránsito de la maquinaria. De igual manera, el mayor tránsito de maquinaria agrícola en los tratamientos bajo labranza pudo acentuar este comportamiento, tal como lo expresaron Hakansson & Voorhees (1997), quienes notaron que repetidas pasadas de maquinarias agrícolas pesadas causan efectos de compactación acumulativa al subsuelo.

Los tratamientos de SD y LR demostraron casi el mismo comportamiento, aunque la SD demostró una ligera compactación superficial de 0-7 cm. Teniendo en cuenta que se diferencia un Bt a los 30 cm, la RMP en profundidad (de 7-20 y 20-30 cm) bajo SD disminuyó levemente y revirtió la situación, favoreciendo la exploración de raíces en dichos espesores de suelo, frente a los tratamientos de LC y LR.

En las SC la R4 (*Paspalum atratum*) obtuvo la menor RMP en las tres profundidades con diferencias significativas a las demás rotaciones (ver tabla 5). Esto podría relacionarse con la mayor cantidad de raíces que las gramíneas perennes presentaron en las capas superficiales del suelo durante los últimos 5 años de cultivo. Relacionando con Ib en la R4 la misma fue mayor se podría decir que a una menor RMP mayor Ib.

En estas determinaciones en ninguna de las tres profundidades se registraron interacciones entre los SL y SC.

Tabla 5 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 (SC).

La interpretación del análisis estadístico para Resistencia mecánica a la penetración, es por columna comparando las distintas profundidades (0-7, 7-20, 20-30 cm) y los distintos factores.

Factor		0-7 cm	7-20 cm	20-30 cm
		RMP(MPa)		
SL	Labranza convencional (LC)	0,22	1,7 a	1,33 a
	Labranza reducida (LR)	0,19 ns	0,88 b	1,16 b
	Siembra directa (SD)	0,23	0,92 b	1,12 b
SC	R1	0,22 a	0,99 a	1,24 a
	R2	0,25 a	1,13 a	1,29 a
	R3	0,22 a	1,00 a	1,26 a
	R4	0,15 b	0,71 b	1,02 b
“F”	Sistemas de Labranza	2,40 ns	4,27 *	5,76 **
	Secuencias	10,52 ***	10,87 ***	5,01 **
	SL x Secuencias	1,52 ns	0,64 ns	1,86 ns
Coeficiente de variación		22,54	19,47	15,83
Número de observaciones		96	96	96

RMP: resistencia mecánica a la penetración; MPa: megapascal; SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; R: rotación; Letras diferentes en una misma profundidad indican diferencias significativas entre niveles mediante la Prueba de Duncan ($\alpha \leq 0,05$); ns: no significativo; *: 0,05; **: 0,01; ***: 0,001; $Pr > F$: probabilidad del valor “F”; CV (%): coeficiente de variación.

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, determinándose un punto crítico entre 1,67 y 2,45 MPa para el desarrollo de las raíces (Greasen & Sands, 1980). Los valores promedios de RMP registrados hasta los 20 cm, fueron menores a los 2 MPa, considerados como limitantes para el normal desarrollo de las plantas, siendo de 1,7 MPa en LC, para LR de 0,88 MPa y 0,92 MPa en SD. Considerando el espesor 0-7 cm, lugar donde se deposita la semilla, la RMP fue baja, variaron de 0,19 a 0,22 para LC y LR, para SD 0,23 MPa sin alcanzar valores de 0,5-0,9 MPa, condicionantes para la normal emergencia del maíz Pla Sentís & Ovalles, (1993) en las rotaciones con *Paspalum atratum* (pastura perenne) fue de 0,15 Mpa.

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. Otros autores (Barrios, 2011; Álvarez, 2013) hallaron similares respuestas, 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.

Humedad equivalente (HE)

En la tabla 6 se exponen los promedios obtenidos de HE. En los sistemas de labranzas no se encontró diferencia significativa entre las mismas, con un leve aumento en SD para la profundidad de 7-20cm. En tanto, en las secuencias de cultivos no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las dos profundidades, salvo una diferencia mínima en la R4 del 1% con respecto a las demás; tampoco hubo interacciones entre los SL y SC. Aunque corresponden a los valores medios de la clase textura del suelo en estudio.

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

La lectura de la tabla estadística, para Humedad equivalente, se realiza por columna con respecto a las profundidades de 0-7 y 7-20 cm, comparando con los distintos factores (SL SC).

Humedad equivalente (HE)				
Factor		0-7 cm	7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	13,35		13,27
	Labranza reducida (LR)	12,90	ns	12,61
	Siembra directa (SD)	13,07		13,73
SC	R1	12,64		13,72
	R2	13,40		13,34
	R3	12,35	ns	12,69
	R4	14,02		13,06
F	Sistemas de Labranza (SL)	0,17		1,24
	Secuencias	1,42	ns	0,56
	SL x S C	0,43		0,61
CV	Coeficiente de variación	16,69		15,26
N	Número de observaciones	96		96

SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; 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 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. 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 la "capacidad de campo" y el "punto de marchitez permanente" resultando un concepto útil que es el de la capacidad de retención de agua disponible para las plantas (Porta et al., 1999).

Si bien en estos resultados no se observaron diferencias significativas, para humedad equivalente, suponiendo que se puede deber al cambio del contenido de agua en el suelo con la variación de la materia orgánica son muy lentos, Sarrantonio et al. (1996). Tampoco se modifica la clase textural en superficie, ya sea combinando con el horizonte más arcilloso que está en profundidad a los 30 cm formando un Bt, Donde la arcilla tiene mayor capacidad de retención de agua que la arena.

Estabilidad de Agregados (EA)

En las determinaciones de la variable EA se observó que los mayores valores se dieron en la rotación con pastura perenne (80,54%) para las dos profundidades analizadas, aunque estas diferencias no fueron significativas en los SL y en las SC en todos los casos. Tampoco hubo interacciones entre ambos factores (Tabla 7).

Tabla 7. 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.

La interpretación de la tabla estadística para Estabilidad de agregados es por columna con respecto a las profundidades de 0-7 y 7-30 cm comparando con los distintos factores de forma individual.

Estabilidad de Agregados (%)				
Factor		0-7 cm	7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	81,22	62,73	
	Labranza reducida (LR)	76,86	63,00	ns
	Siembra directa (SD)	81,46	63,57	
SC	R1	75,45	60,37	
	R2	76,39	61,54	ns
	R3	71,09	58,36	
	R4	80,54	67,43	
"F"	Sistemas de Labranza (SL)	1,19	0,79	
	Secuencias	0,51	0,51	ns
	SL x Secuencias	0,27	0,62	
Coeficiente de variación		19,56	22,97	
n	Número de observaciones	96	96	

EA: estabilidad de agregados; SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; 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".

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. En este trabajo no se encontraron aún diferencias notorias en la estabilidad, donde puede deberse por que tarda el efecto de la materia orgánica y como aclaramos en humedad presente, no se modifica la clase textural en superficie, teniendo desde un principio del ensayo una buena estabilidad de agregado para la clase de suelo en estudio, se hace difícil encontrar una diferencia mínima con el tiempo Rey Montoya et al.,(2017)

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).

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).

Densidad Aparente (Da)

En la tabla 8 se presentan los promedios obtenidos de Da, donde pueden observarse valores relacionados a la clase textural del suelo (franco arenoso) pero no hubo diferencias significativas entre los sistemas de labranzas y entre las secuencias de cultivos. Además, no se registraron interacciones entre ambas.

Tabla 8: Análisis de la varianza de la densidad aparente e interacciones entre los factores y medias por sistemas de labranzas y secuencias de cultivos.

La lectura de la tabla estadística para Densidad aparente, se realiza por columna con respecto a la profundidad de 0-7 y 7-20 cm Comparando con los distintos factores.

Densidad Aparente (Da)		(g cm ⁻³)			
Factor		0-7 cm		7-20 cm	
SL	Labranza convencional (LC)	1,47		1,48	
	Labranza reducida (LR)	1,46	ns	1,46	ns
	Siembra directa (SD)	1,46		1,47	
SC	R1	1,46		1,47	
	R2	1,48	ns	1,47	
	R3	1,47		1,47	ns
	R4	1,46		1,46	
F	Sistemas de Labranza (SL)	0,48		0,54	
	Secuencias	1,15	ns	0,50	ns
	SL x SC	0,36		0,55	
CV	Coefficiente de variación	2,97		4,21	
n	Número de observaciones	96		92	

Da: Densidad Aparente; SL: sistemas de labranzas; SC: secuencias de cultivos; 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".

Al determinar la Densidad aparente por el método de la probeta, con muestras alteradas, puede ser el motivo que no se encontró diferencia significativa en el tratamiento. Pero son valores relacionados a la clase textural del suelo. Para texturas franco arenosas la DA media es de 1,4 g cm³ (Junta de Extremadura, 1992; Porta et al. 2003) y un rango para un crecimiento adecuado de raíces fluctúa entre 0,7 a 1,8 g cm³ (Lal & Shukla, 2004).

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, no coinciden con lo citado por otros autores (Vidal & Costa 1998; Barrios et al., 2016) donde determinaron que los suelos manejados bajo SD suelen presentar aumento de la Da en los primeros 10 cm de profundidad.

CONCLUSIONES

Al evaluar el efecto de los sistemas de labranzas y rotaciones de cultivos sobre las variables físicas de suelo relacionadas al contenido y movimiento del agua en un Argiudol ácuico del Departamento de Empedrado, Corrientes, se observó que:

- La Ib no presentó diferencias significativas entre sistemas de labranzas. Aunque hubo mayor velocidad de entrada del agua en el perfil bajo SD. Con respecto a la secuencias de cultivos, la R4 con pasturas perennes, logró la mejor la Ib con una marcada diferencia a las demás rotaciones, relacionado a un gran aporte de materia orgánica resultante del sistema radicular de las gramíneas que habría mejorado la estructura del suelo.
- La RMP fue mayor en LC de 7-20 cm y 20-30 cm indicando una mayor compactación en profundidad que las labranzas conservacionistas como la SD y LR. En las secuencias de cultivos, la rotación con pastura perenne, presentó el mejor comportamiento en la RMP tanto en superficie como en profundidad.
- En las secuencias de cultivos la pastura perenne presentó un mejor comportamiento registrando la menor RMP en las tres profundidades con diferencias significativas con las demás rotaciones.
- La HP (humedad presente a campo), al realizar las determinaciones de RMP fue igual en todo el ensayo ya que en los sistemas de labranzas no hubo diferencias significativas en ninguna de las profundidades. En las secuencias de cultivos hubo resultados mayores bajo la pastura perenne en las muestras 0-7 cm por la mayor cobertura vegetal.
- La HE y la Da no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos.
- La EA, se observó que los mayores valores se dieron en la rotación con la pastura perenne para las dos profundidades analizadas, aunque sin diferencias significativas entre tratamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Baver L.D. 1973. Física de suelos. Primeras Edición. México. Pp. 529.
- 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.
- Bragachini, M; J.P Velez; C. Casini; F. Sánchez. 2015. Siembra Directa un aporte a la productividad y a la sustentabilidad ambiental. Actualización técnica N° 89. Ediciones INTA. 23 p.
- 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.
- Dexter, AR. 1991. Amelioration of soil by natural processes. Soil Till. Res. 20: 87-100.
- Dewis, J y F. Freitas, 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelo y aguas. Boletín sobre suelos N° 10, FAO. 252 p.
- 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.
- Forsythe, Warren, 1975. Física de suelos. Editorial IICA, 212p.
- Gabioud, EA, MG Wilson & MC Sasal. 2011. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelos. Ciencia del Suelo. Vol. 29 (2), 129-139.
- Gil, RC. 2002. El comportamiento físico-funcional de los suelos. Buenos Aires: Instituto de Suelos. INTA Castelar, 19 p.
- 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.
- Greacen, EL & R Sands. 1980. Compaction of forest soil. Aust. J. Soil Res. 18: 163-171.
- Hakansson I. and W.B Voorhees. 1997. Soil compaction p167-179. In Lal R. W. H. Blum, C. Valentine and B.A Stewart (eds.) Methods for assessment of Soil Degradation.
- Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. San Diego, California. US. 771 p
- 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.
- Greacen, E.L., and R. Sands. 1980 Compaction of forest soil. Aust. J. Soil Res. 18: 163-171.
- <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2016/10/Estimaci%C3%B3n-de-superficien-en-SD-1.pdf>
- Ingaramo, OE. 2003. Indicadores físicos de la degradación del suelo. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña. España. 341 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.
- Keller, T.; Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. Geoderma 154: 398-406 Pennock, D.; Yates, T.; Braidek, J. 2008. Soil Sampling Designs. In: Carter, M.R.; Gregorich,

- E.G. (eds.). 2008. Soil Sampling and methods of analysis. 2nd. Ed. Taylor & Francis Group. LLC. pp 25-39.
- 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.
- 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.
- Lal, R 1991. Tillage and agricultural sustainability. Soil & Till. Res. 20:133-146.
- Lattanzi, A. 1998. La siembra directa y la agricultura sustentable. 29-34 p. En: Panigatti JL, H Marelli, D Buschiazzi & R Gil (eds.). Siembra Directa. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación – INTA.
- 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, 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 Buschiazzi & H Marelli (eds). Ediciones INTA.
- 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.
- 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.
- Mulin, E & C Álvarez. 2004. El gran libro de la siembra directa. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Copyright Clarín.
- 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.
- 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.
- 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 Sentís, I. & F. Ovalles. 1993. Efectos de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. FONAIAP. Pp 35.
- 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.
- Porta, J.M., M. Lopez-Acevedo & C. Roquero. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed.3 Mundi-Prensa. España, 922 pags.
- Porta, J.M., M. Lopez-Acevedo & C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. España, 849 pags.
- Primavesi, A. 1984. Manejo Ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. El Ateneo Ed. Buenos Aires. 499 pp.
- Rey Montoya, TS; FA Paredes; HC Dalurzo; C Fernández Lopez; RM Kersting. 2017. Propiedades físicas de un Argiudol Ácuico bajo diferentes sistemas de manejos.

- 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.
- 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.
- Sarrantonio, M., J.W. Doran, M.A. Liebig, and J.J. Halvorson. 1996. On farm assessment of soil quality and health. P. 83-105. In J.W. Doran and A.J Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI
- Schmidt, ES & NM Amioti. 2015. Propiedades edáficas superficiales en sistemas de agricultura de conservación en la región pampeana semiárida sur *Ciencia del Suelo* 33(1): 79-88.
- 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.
- 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.
- 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.
- Taboada, M.A.; Alvarez, C.R. 2008. *Fertilidad física de los suelos*. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- 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, 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.
- 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. Res
- 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.