

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.



Pontificia Universidad Católica Argentina

UCA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
Y CIENCIAS AGRARIAS**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Ingeniería Agronómica

**Evaluación de propiedades físicas en secuencias de
cultivos con diferentes niveles de intensificación**

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero Agrónomo**

Autor: Erreca Juan Martin

Tutor: Ing. Agr. Banfi H. Roberto

Erreca Juan Martin.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias y a la Pontificia Universidad Católica Argentina por formarme como profesional.

A mi Tutor: Ing. Agr. Roberto H. Banfi; Co-Tutores: Ing. Agr. Carolina Estelrich - Chacra Exp. Bellocq, MDA y al Ing. Agr. Gonzalo Perez - AER INTA Bolivar, por darme lugar a participar, compartir su tiempo y sus conocimientos.

A todos los profesores por su compromiso y profesionalismo para con la educación, quienes me acompañaron durante mi proceso de formación.

A mi familia y amigos, quienes son la base de lo que logramos, por acompañarme en esta etapa de mi vida.

Índice

Índice	4
Resumen	6
Introducción	7
Hipótesis	12
Objetivo General	12
Objetivos específicos	12
Materiales y Métodos	13
Localización del área de estudio, características edáficas y climáticas.	¡Error! Marcador no definido.
Marcador no definido.	
Figura nº 1. Precipitaciones y temperaturas históricas y actuales para el sitio de ensayo.	¡Error! Marcador no definido.
Características del ensayo	14
Figura nº 2. Cultivos para cada tratamiento y campaña.	¡Error! Marcador no definido.
Marcador no definido.	
Características productivas de la zona	15
Determinaciones físicas	16
Figura nº 3. Contenido hídrico del suelo para submuestras asociadas a valores de RP.	¡Error! Marcador no definido.
Análisis Estadístico	17
Resultados y Discusión	18
Rendimiento de cultivos según tratamientos y campañas	¡Error! Marcador no definido.
Marcador no definido.	
Cultivo de maíz	¡Error! Marcador no definido.
Figura nº 4. Rendimiento del cultivo de maíz durante 3 campañas para cada tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.
Cultivo de Soja	18
Figura nº 5. Rendimiento del cultivo de soja durante 3 campañas para cada tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.
Cultivo Soja 2º	19
Figura nº 6. Rendimiento del cultivo de soja 2º durante 3 campañas para cada tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.
Cultivo de Trigo	19
Figura nº 7. Rendimiento del cultivo de trigo durante 3 campañas para cada tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.
Propiedades Físicas	20
Densidad Aparente para cada tratamiento de 0-20 cm	21
Tabla nº 1. Densidad Aparente para cada tratamiento de 0-20 cm.	¡Error! Marcador no definido.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Densidad aparente para cada cultivo utilizado en las diferentes secuencias.	22
Figura nº 8. Densidad aparente de 0-20 cm de profundidad para los 3 cultivos utilizados.	¡Error! Marcador no definido.
Resistencia mecánica a la penetración para cada tratamiento de 0-45 cm.	¡Error! Marcador no definido.
Figura nº 9. Resistencia mecánica a la penetración de 0-45 cm de profundidad para los 4 tratamientos implementados.	¡Error! Marcador no definido.
Resistencia mecánica a la penetración según el cultivo entre los diferentes tratamientos.	24
Cultivo de Maíz.	25
Figura nº 10. Valores RP para el cultivo de maíz según los tratamientos T1, T2 y T4.	¡Error! Marcador no definido.
Cultivo de Soja	25
Figura nº 11. Valores RP para el cultivo de soja según los tratamientos T1, T2 y T4.	¡Error! Marcador no definido.
Cultivo Trigo-Soja 2da	¡Error! Marcador no definido.
Figura nº 12. Valores RP para el doble cultivo trigo-soja 2º según los tratamientos T1, T2 y T4.	¡Error! Marcador no definido.
Conclusiones	27
Bibliografía	28

Resumen

Con el fin de evitar la degradación física del suelo, lo cual afecta al rendimiento de los cultivos, es necesario adoptar estrategias productivas de largo plazo. Una herramienta es la intensificación en la secuencia de cultivos, la cual pretende mejorar las propiedades físicas aprovechando mejor los recursos naturales, aportando carbono al suelo, interviniendo en la estructura y mejorando el sistema poroso. El presente trabajo tiene por objetivo estudiar a largo plazo (3 años) los efectos de las diferentes secuencias de rotaciones e intensidades, (**T1**: maíz, soja, trigo/soja 2°; **T2**: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2°; **T4**: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2° y **T5**: pastura consociada de Alfalfa y Festuca) y a su vez analizar los rendimientos de los cultivos comerciales (Maíz, Soja, Trigo-Soja 2°). Para este objetivo, se evaluó la respuesta de un Hapludol entico bajo siembra directa (SD) y siembra convencional (SC), ubicado en el partido de Carlos Casares (Pcia. Bs.As.). Se determinó la resistencia mecánica a la penetración (Rp) para los primeros 45 cm del perfil y la densidad aparente (Dap) para los primeros 20 cm, posterior a la cosecha de los cultivos de verano (Julio-Agosto), así como también los rendimientos de cultivos invernales y estivales para las durante las 3 campañas. Los datos se analizaron bajo INFOSTAT con un p-valor < 0,05, y Test de Fisher para la comparación de medias con igual nivel de significación. Por el momento no se pueden relacionar las diferencias de rendimientos entre los cultivos con mejoras en las propiedades físicas evaluadas, pero sí se puede observar un efecto favorable en estos 3 años para LC durante los primeros 10-15 cm para T4 en la variable Rp (p-valor < 0,05), al contrario, el umbral (2 MPa) es superado desde los -15 cm hasta los -30 cm por todos los tratamientos, ofreciendo una mayor resistencia T5. Sobre la variable Dap no se observan diferencias entre tratamientos y secuencias de cultivos.

Palabras clave.

- Rendimiento, degradación, intensificación, secuencias.

Introducción

Para evitar el deterioro estructural del suelo y mejorar su calidad fisicoquímica, es necesario implementar estrategias que resulten sostenibles (Torres *et al.*, 2001; Verhulst *et al.*, 2010). Pieri (1989) y Etchevers (1999) afirman que la fertilidad del suelo es una integración entre los atributos físicos, químicos y biológicos. Etchevers (1999), enfatiza en que la capacidad de intercambio iónico, la disponibilidad de nutrientes (propiedades químicas), y la actividad de microorganismos (propiedades biológicas), se encuentran íntimamente relacionadas a las físicas como agregación, densidad aparente y porosidad total. Estas propiedades son dependientes entre sí y mantienen la fertilidad del suelo, la provisión de nutrientes y el sostén a los distintos cultivos.

Desde los inicios de la agricultura hasta hoy, los sistemas de producción han variado notablemente, pasando del laboreo tradicional (LT) del suelo al no laboreo o siembra directa (SD). Según datos tomados desde la Bolsa de Comercio de Rosario para la campaña 2020/21, Argentina alcanza las 38,7 millones de hectáreas cultivadas, y en base al Relevamiento de Tecnología Aplicada (ReTAA), encontramos bajo SD entre el 69-91% del área total dependiendo el cultivo a producir, siendo el cultivo de soja (91%) con mayor implementación de esta tecnología y en menor nivel el cultivo de girasol (69%), encontrando entre medio al resto de los principales cultivos comerciales (maíz, trigo, cebada y sorgo). El laboreo tradicional consiste, según Gil Sierra (2010) en someter al suelo a labores típicas de la zona de producción, siempre basándose en la introducción de residuos vegetales hacia el suelo buscando generar una cama de siembra óptima para la germinación de las semillas. Según Balesdent *et. al.* (2000) y Domínguez *et. al.* (2005), remover el suelo genera por acción directa una ruptura en los agregados, provocando un efecto positivo a corto plazo debido al aumento de la mineralización de la materia orgánica (MO), lo cual estimula la liberación de nutrientes. Sin embargo, el laboreo continuo y frecuente del suelo, fomenta la degradación física de los mismos, contribuyendo a la erosión, el encostramiento superficial por reacomodamiento de partículas y la formación de pisos de arado por el laboreo constante a igual profundidad durante años (Morris *et. al.* 2010). Por lo tanto, se puso en práctica otro sistema de laboreo que permita producir sin efectos negativos, como la SD, la cual trajo mejores resultados sobre la estabilidad estructural, controlando la erosión por el remanente de residuos vegetales en superficie, aumentando el secuestro de carbono (C), y disminuyendo el uso de combustibles fósiles por menores unidades de trabajo sobre el mismo lote (Peiretti y Dumanski, 2014). Pero, a lo largo de los años

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

se demostró que el exceso de SD tampoco resultó beneficioso para ciertas propiedades físicas del suelo, si bien este sistema genera una mayor actividad biológica, mayor contenido de C, con frecuencia se genera una compactación subsuperficial (10-20 cm), caracterizada por una mayor resistencia mecánica a la penetración (Álvarez *et al.* 2009a; Álvarez y Steinbach, 2009), y según los últimos dos autores genera en algunos casos una mayor densidad aparente (Dap). La causa por la cual se generan estos efectos de compactación es atribuible en mayor medida al tránsito de maquinaria agrícola con mayor peso, la poca incorporación de residuos al suelo, la no remoción mecánica y se acentúa en aquellos casos donde hay escasa o nula rotación de cultivos (Botta *et al.*, 2004; Morris *et al.*, 2010; Sasal *et al.*, 2017).

Según Darwich (2019) la compactación resulta en la disminución del espacio poroso, siendo un proceso artificial donde ocurre un reacomodamiento de las partículas del suelo. La FAO indica que este fenómeno es la forma más seria en cuanto a degradación de los suelos causada principalmente por el efecto de las prácticas agrícolas convencionales, siendo una problemática a nivel mundial. Dado su ocurrencia en los estratos subsuperficiales es una característica difícil de cuantificar y ubicar, a diferencia de otras problemáticas como la salinización o la erosión. Esta característica afecta al desarrollo y crecimiento de los cultivos, disminuyendo la disponibilidad de agua y nutrientes, generando pérdidas de productividad en torno al 10-20% (Richmond y Rillo, 2016).

Para poder identificar los sitios en donde existe esta problemática, es posible basarse en dos indicadores, los cuales son representativos para esta variable productiva. En primer lugar, la resistencia mecánica a la penetración (RP), se define como la fuerza requerida por unidad de superficie para introducir una punta cónica hasta una cierta profundidad del suelo (Micucci y López Menardi, 2004). El valor crítico sobre este indicador es discutido y el mismo oscila entre 0,9 y 3 MPa (Mega Pascales) (Eavis *et al.*, 1969; Glinski y Lipiec, 1990) aunque un valor de 2 MPa resulta aceptable de manera general (Greacen, 1986; da Silva y Kay, 1996), y dicho parámetro utilizamos como umbral de referencia. El segundo indicador es la densidad aparente (Dap), siendo la relación entre el peso de una muestra y el volumen que ocupa, con su ordenamiento natural, incluyendo tanto el volumen de las partículas como el volumen vacío de poros, a diferencia de la densidad real (Dr) donde solo se tiene en cuenta la fase sólida. La Dap permite identificar entre otras cosas, si el manejo aplicado al suelo está generando efectos de compactación y para ello se presentan ciertos valores según distintos tipos

Erreca Juan Martin.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

de horizontes de suelo, siendo para horizontes arenosos valores promedio de 1,45-1,65 $Mg.m^{-3}$, para horizontes arcillosos con estructura de 1,05-1,10 $Mg.m^{-3}$, horizontes arcillosos compactados toman valores de 1,90-1,95 $Mg.m^{-3}$, un suelo turboso presenta un valor de 0,25 $Mg.m^{-3}$ y un horizonte compactado adopta un valor de 2,00 $Mg.m^{-3}$ (Lamas y Moreno, 2000). La densidad aparente depende de la densidad real y como se ordenan las partículas en el espacio formando los agregados, a su vez se ve afectada por la textura del suelo, el estado de agregación, la materia orgánica (MO) y el manejo que se le otorga. Los suelos arenosos suelen presentar mayores valores Dap debido a que si bien entre las partículas los poros resultan ser de mayor tamaño, la porosidad total es menor al de un suelo con textura fina o arcillosa. Un suelo bien estructurado, es decir con una distribución adecuada de sus partículas presenta menor densidad aparente. La materia orgánica por otro lado contribuye a disminuir esta propiedad física del suelo desde dos aspectos: desde la composición misma de la MO, ya que presenta baja densidad y por contribuir a la agregación de las partículas, observándose como aumenta la Dap en profundidad del perfil al disminuir la MO y sufrir el peso de las capas superiores. Por último y no menos importante resulta el manejo, por ejemplo, el exceso de labores, el uso de maquinaria pesada o el pisoteo animal cuando el suelo está muy húmedo, contribuye a la destrucción de la estructura y el aumento de la Dap (Lamas y Moreno, 2000).

Según Caviglia *et al.* (2011) y Novelli (2013) la intensificación en la secuencia de cultivos resulta más eficiente en cuanto al uso de los recursos naturales, aportando mayor cobertura vegetal viva por un lapso mayor de tiempo, proveniente tanto de la biomasa aérea como subterránea. Una herramienta que postulamos en este trabajo para lograr dicha intensificación en los sistemas agrícolas es la introducción de cultivos de cobertura (CC). Los mismos se siembran entre dos cultivos con destino a grano y a diferencia de los abonos verdes no se incorporan al suelo, ni se pastorean como los verdeos o se cosechan como los cultivos comerciales. Ruffo y Parsons (2004) comentan que los residuos en superficie liberan nutrientes contenidos dentro de sus tejidos vegetales al descomponerse. Estos CC, además de prevenir la erosión hídrica y eólica, se utilizan para disminuir la compactación, minimizar la lixiviación (pérdida en profundidad) de nitratos, aumentar el contenido de C y nitrógeno (N) del suelo, y ejercer control hacia las malezas. Williams & Weil (2004) y Carfagno (2014) señalan que los CC contribuyen a la disminución de la compactación, debido a la formación de bioporos, los cuales posterior a su ciclo serán utilizados por cultivos comerciales (maíz, trigo, soja,

Erreca Juan Martin.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

girasol), pudiendo estos explorar con mayor facilidad el perfil. Ruffo y Parsons (2004) recomiendan utilizar para zonas templadas especies pertenecientes a las familias de gramíneas y leguminosas, por ejemplo, centeno (*Secale cereale*), trigo (*Triticum sp*), cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*), triticale (*Triticosecale*), raigrás (*Lolium sp*) o vicias (*V. villosa* y *V. sativa*) y tréboles (*Trifolium sp.*), respectivamente. La tasa de descomposición de los residuos vegetales (incorporación de estos a la materia orgánica) es afectada por la proporción de C y N (relación C:N), (Ruffo & Bollero, 2003), a mayor relación C:N la tasa de descomposición resulta ser menor, generando una relación inversamente proporcional (Sánchez *et al.*, 1996 Sá Pereira *et al.*, 2017), ya que la mayor relación indica mayor existencia de C, utilizado para el desarrollo de microorganismos amonificadores quienes participan en el proceso de mineralización, y consumen el N disponible, generando su inmovilización y reduciendo finalmente la mineralización neta (Azeez y Van Averbek, 2010; Abbasi *et al.*, 2007). Corbeels *et al.* (1999), postula que las características de los residuos orgánicos actúan sobre el balance final del N en suelo, dado que cuando se aplican residuos con mayor contenido de N al que requieren los microorganismos, habrá mineralización neta con liberación de N inorgánico, en cambio si el N de los residuos está en equilibrio con la demanda no habrá mineralización neta y por último si hay déficit de N orgánico, se requerirá la inmovilización de N inorgánico proveniente del suelo. Van Kessel *et al.*, (2000), Seneviratne (2000) y Qian-Schoenau (2002) coinciden y establecen que valores entre 20 y 40 generan un punto de equilibrio entre mineralización e inmovilización neta de N. Mulvaney *et al.* (2010), Veenstra *et al.* (2007) y Restovich *et al.* (2011) indican que esta característica influye sobre la dinámica de la MO, el N mineralizable y la disponibilidad de N para el cultivo siguiente. Las gramíneas por un lado ofrecen mayor biomasa con grandes cantidades de C, brindando rápida cobertura al suelo y recuperando mediante su sistema radical denso y profundo nitratos (N-NO₃) en exceso (Salmerón *et al.* 2010), favoreciendo a la formación y estabilización de agregados, aumentando la aireación y la permeabilidad (Restovich *et al.*, 2011). Los cultivos pertenecientes a la familia de las leguminosas contribuyen al sistema suelo en el aporte de N mediante fijación biológica, disminuyendo así el uso de fertilizantes nitrogenados para el próximo cultivo (Ruffo & Parsons, 2004; Oderiz *et al.*, 2017). Este aporte de N se genera con mayor velocidad respecto a las gramíneas, ya que presentan en sus tejidos una menor relación C:N, y por ende su tasa de descomposición es mayor, incorporando sus residuos vegetales al suelo con anterioridad (Corral *et al.*, 2016; Diez, 2017).

Erreca Juan Martin.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

La calidad física del suelo necesita ser analizada a largo plazo para observar resultados estables, por lo que realizar este trabajo dentro de Ensayos de Larga Duración (ELD) es la mejor opción para medir estas variables que afectan directamente al rendimiento de los cultivos. Como bien lo definen Frye & Thomas (1991) los ELD contribuyen a generar conocimientos de los efectos de largo plazo de las prácticas agrícolas y de los desarrollos tecnológicos, aportando a la comprensión de los cambios generalmente lentos que ocurren en el sistema, particularmente en el suelo, por el uso continuo de determinadas combinaciones de prácticas de manejo.

En el centro oeste de la Provincia de Buenos Aires, Perez, G., Estelrich, C., & Pereyro, A. (2020) durante 3 campañas han generado información sobre diferentes secuencias de rotaciones con un enfoque sistémico, donde se analizan variables como: la abundancia de malezas, uso de fitosanitarios, biomasa de los cultivos de cobertura, intensidad de secuencia, etc. Dada la importancia que adoptan las propiedades físicas sobre los sistemas productivos, teniendo en cuenta la variabilidad edafo-climática existente en nuestro país, y cómo a través del manejo que realizamos podemos influir en ellas, surge la necesidad de investigar dichos aspectos productivos en una zona donde la información resulta poca o nula. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del nivel de intensificación en diferentes secuencias de cultivos sobre ciertas propiedades físicas.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Hipótesis

- (I) No existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo estos, T1: maíz, soja, trigo/soja 2º; T2: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2º; T4: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2º; T5: pastura consociada de Alfalfa y Festuca), sobre las propiedades físicas del suelo (Resistencia mecánica a la penetración y Densidad aparente).
- (II) No existen diferencias significativas entre los cultivos (maíz, soja, trigo) dentro de una secuencia tanto para RP y Dap.

Objetivo General

Evaluar las propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas productivos del centro oeste bonaerense.

Objetivos específicos

- Evaluar densidad aparente para los distintos tratamientos, a la profundidad de 0-20 cm.
- Evaluar la resistencia a la penetración para los distintos tratamientos, a una profundidad de 0-45 cm.
- Asociar los rendimientos y la producción de biomasa de los cultivos de todas las campañas con las propiedades físicas analizadas.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio, características edáficas y climáticas

El ensayo tiene sus inicios durante la campaña 2017/2018. Se encuentra ubicado dentro de la Chacra Experimental Bellocq, unidad dependiente del Ministerio de Desarrollo Agrario de la provincia de Buenos Aires, perteneciente al partido de Carlos Casares (Pcia. de Bs.As) (35°55'49"S, 61°29'17"O).

La precipitación media anual es de 890 mm, con incrementos desde los meses primaverales (Septiembre) hasta Marzo donde se encuentran los mayores registros históricos. Posteriormente estas descienden tocando los mínimos durante los meses invernales (Junio-Julio-Agosto).

Respecto al año 2021 en donde se efectuaron los muestreos de suelo, se puede observar que las mayores precipitaciones se dieron en los meses de Enero, Abril y Septiembre, con un acumulado anual cercano a 1100 mm (Figura 1). La temperatura media anual es de 15,6°C, encontrando los mínimos durante Junio, Julio y Agosto, siendo estos últimos dos donde hay mayor frecuencia de heladas, y superando los 20°C en los meses de verano.

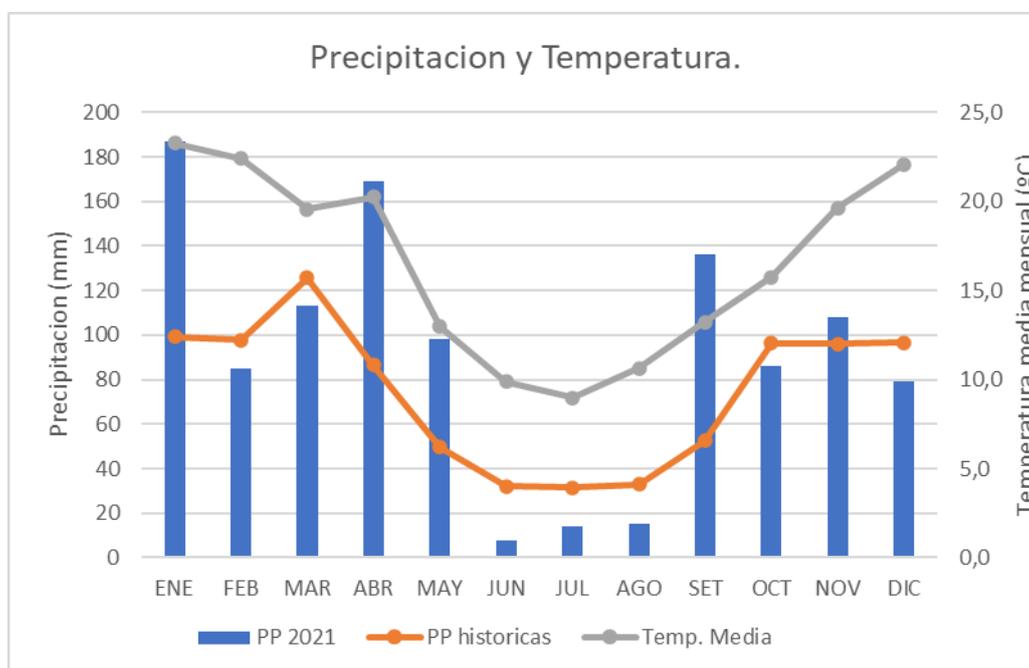


Figura nº 1. Precipitaciones y temperaturas históricas y actuales para el sitio de ensayo

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Respecto a las características edáficas, la unidad taxonómica predominante resulta ser la de un Hapludol Entico. Según Panigatti (2010) este tipo de suelo presenta un relieve subnormal, con pendientes de 0-0,5%, de escurrimiento lento y permeabilidad moderadamente rápida, con un drenaje algo excesivo, cuyas principales limitantes son la baja retención de agua y el peligro de erosión hídrica-eólica. La serie Norumbega resulta la más similar para describir las características presentes. Es un suelo con propiedades potenciales de uso tanto para ganadería como agricultura.

Características del ensayo

En un lote de 4 Has, con aptitud agrícola donde su antecesor era soja 1^a, durante la campaña 2017/2018 se instaló un ensayo de larga duración en el cual se busca evaluar las propiedades físicas edáficas en diferentes secuencias de rotaciones. En el mismo se instalaron 4 secuencias de cultivos y una pastura consociada. Cada rotación compone un tratamiento, siendo estos: **T1**: maíz, soja, trigo/soja 2^o; **T2**: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2^o; **T4**: vicia/maíz, centeno/soja, trigo/soja 2^o y **T5**: pastura consociada de Alfalfa y Festuca, tratamiento instalado durante la campaña 2018. El manejo de T1 y T2 se efectuó bajo siembra directa (SD), utilizando herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes de origen inorgánico. El T4 se realizó sin el uso de fitosanitarios, controlando las malezas de forma mecánica con rastra de discos, y siendo interrumpido el ciclo de los cultivos de cobertura (CC) mediante rolado. Los tratamientos se realizaron en parcelas con dimensiones de 15 m de ancho por 30 m de largo, bajo un diseño de bloques completamente aleatorizados y 3 repeticiones cada tratamiento. Los bloques se agrupan de forma homogénea con el fin de disminuir la variabilidad del lote. La cosecha de cada cultivo se realizó de forma manual, mediante la toma de 3 submuestras de 2m² en cada parcela.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

17/18	V/M	C/S	T				T/S	M	S				Cb/G	Ar/M	T/S	
18/19	C/S	T	V/M		P	P	M	S	T/S		P	P	T/S	Cb/M	Ar/M	
19/20	T	V/M	C/S		P	P	S	T/S	M		P	P	Ar/M	T/S	Cb/G	
20/21	V/M	C/S	T		P	P	T/S	M	S		P	P	Cb/G	Ar/M	T/S	
	T4			T5			T1			T5			T3			
17/18	V/M	C/S	T/S		Cb/G	Ar/M	V/M	C/S	T		T/S	M	S	V/M	C/S	T/S
18/19	C/S	T/S	V/M		T/S	Cb/M	C/S	T	V/M		M	S	T/S	C/S	T/S	V/M
19/20	T/S	V/M	C/S		Ar/M	T/S	T	V/M	C/S		S	T/S	M	T/S	V/M	C/S
20/21	V/M	C/S	T/S		Cb/G	Ar/M	V/M	C/S	T		T/S	M	S	V/M	C/S	T/S
	T2			T3			T4			T1			T2			
17/18	T/S	M	S		V/M	C/S	V/M	C/S	T		V/M	C/S	T			
18/19	M	S	T/S		C/S	T/S	T/S	Cb/M	Ar/M		C/S	T	V/M		P	P
19/20	S	T/S	M		T/S	V/M	Ar/M	T/S	Cb/G		T	V/M	C/S		P	P
20/21	T/S	M	S		V/M	C/S	Cb/G	Ar/M	T/S		V/M	C/S	T		P	P
	T1			T2			T3			T4			T5			

Figura nº 2. Cultivos para cada tratamiento y campaña.

Características productivas de la zona

El partido de Carlos Casares se encuentra ubicado en el centro oeste bonaerense, y el mismo se caracteriza por la producción tanto agrícola como ganadera en la mayoría de su territorio. Existe una variabilidad en cuanto a los suelos de esta zona, los cuales determinan las potencialidades de producción. Según la Carta de Suelos de la República Argentina, brindada por el INTA, este partido comparte series de suelo que van desde un Hapludol Típico (Serie Estacion Naon) con una capacidad de uso II s, es decir, de aptitud agrícola pero con ciertas limitantes, pasando por series con capacidad de uso III s, III es, IV ws, V w, hasta encontrar un suelo clase VI ws (Serie Patricios), clasificado como Natralbol Típico, siendo recomendable la producción ganadera. Según estimaciones agrícolas realizadas por MAGyP, tomando valores desde la campaña 11/12 hasta 21/22 se puede observar cómo dentro del sector agrícola dominan los cultivos de soja, maíz, girasol, trigo y en menor medida la cebada y otros cereales-leguminosas de invierno. Durante este periodo el cultivo de soja 1era ocupó casi el 43,5% (67.915 has/año promedio) de la superficie total sembrada, seguido por el maíz con 26,2% (40.865 has/año), un 14,5% (22.684 has/año) para el cultivo de soja 2da, un 11,2% (17.445 has/año) para el cultivo de trigo y en último lugar un 4,2% (6.533 has/año) con girasol, lo cual evidencia la fuerte presencia del cultivo soja. Los rendimientos promedio durante esta última década para los cultivos de soja 1era, maíz, girasol, trigo y soja 2da fueron de 3.436 kg/ha, 8.222 kg/ha, 2.654 kg/ha, 3.900 kg/ha y 2.418 kg/ha

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

respectivamente. Respecto a ganadería dentro de este partido, según MAGyP para el año 2020 dentro de este partido se registraron 177.803 cabezas de ganado bovino estando aún por debajo del máximo logrado en 2008 con 190.776 cabezas. Para el ganado ovino se encuentra en el máximo stock de los últimos 12 años contando con 7.245 cabezas, destacando el constante crecimiento a lo largo de los años y en menor presencia se ubica el ganado porcino con 4.419 cabezas.

Determinaciones físicas

La densidad aparente se determinó en todas las parcelas de los tratamientos bajo evaluación, y se efectuó a partir del método del cilindro de volumen conocido (Lamas y Moreno, 2000).

Como indica el nombre, conocemos las dimensiones para saber su volumen (10 cm de diámetro, 5 cm de altura y 1-2mm de espesor), tomando 3 muestras por parcela y 4 profundidades por muestra, siendo las siguientes: 0-5 cm; 5-10 cm; 10-15 cm y 15-20 cm. La extracción de las muestras se realizó de forma aleatoria dentro de la parcela, considerando que el suelo se encuentre en capacidad de campo para evitar compactación o fracturas. En laboratorio, se determinó su peso húmedo y posteriormente se llevaron a estufa exponiéndolas por 24 hs a 105°C para obtener su peso seco y cuantificar el indicador. La Resistencia mecánica a la penetración (RP), se determinó hasta una profundidad de 45 cm, mediante un penetrómetro de golpes, el mismo posee un cono con un ángulo de ataque de 30°, realizándose 6 submuestras al azar por parcela, a un intervalo de 5 cm entre submuestra. El total de golpes por estratos se transformaron en valores de energía (MPa). Para dicha determinación utilizamos la siguiente fórmula: $RP = k \times N^\circ$ de impactos; siendo k (0,26968), la constante del penetrómetro (propia del equipo). Esta última variable se correlaciona de forma negativa con el contenido de agua del suelo, recomendando realizar los muestreos con el suelo cercano o en capacidad de campo o bien recurrir a modelos de regresión para obtener datos precisos. Como se muestra en la Figura nº 3 los datos sobre el contenido hídrico nos indicaron que no se necesita aplicar un modelo de regresión para asociar estas dos variables (RP y contenido hídrico).

En paralelo, para mejorar la consistencia de los datos se realizó un proceso que deriva del concepto “media ajustada” donde se incluyen solo aquellos valores de penetrómetro que se encuentran dentro del rango establecido entre la media obtenida y un desvío aplicado, (Ott, 1993).

Erreca Juan Martin.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

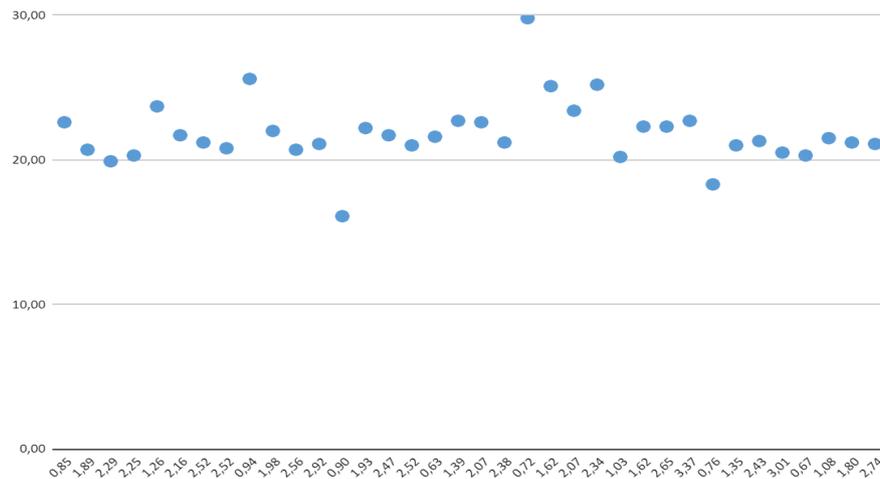


Figura nº 3. Contenido hídrico del suelo para submuestras asociadas a valores de RP

Análisis Estadístico

Para dicho análisis, se utilizó el software estadístico INFOSTAT, en donde se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para cada variable y su interacción tanto con los tratamientos como con los cultivos implementados en el ensayo. Posteriormente para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencia de medias significativas de Fisher (DMS), con $\rho < 0,05$.

Resultados y Discusión

Rendimiento de cultivos según tratamientos y campañas

Cultivo de maíz

Durante la campaña 17-18, los rendimientos del cultivo de maíz no presentaron diferencias significativas según tratamiento, sin embargo, en la campaña posterior (18-19) se diferenciaron T1 y T2 de T4, con rendimientos de 12.602,64 Kg/ha, 12.028,33 Kg/ha y 9.733 Kg/ha respectivamente (Figura nº 4).

Durante la tercera campaña (19-20), los rendimientos se diferenciaron estadísticamente, siendo en T1 de 12.862,67 Kg/Ha, T2 con 10.420,33 Kg/Ha y T4 con 6.290,33 Kg/Ha.

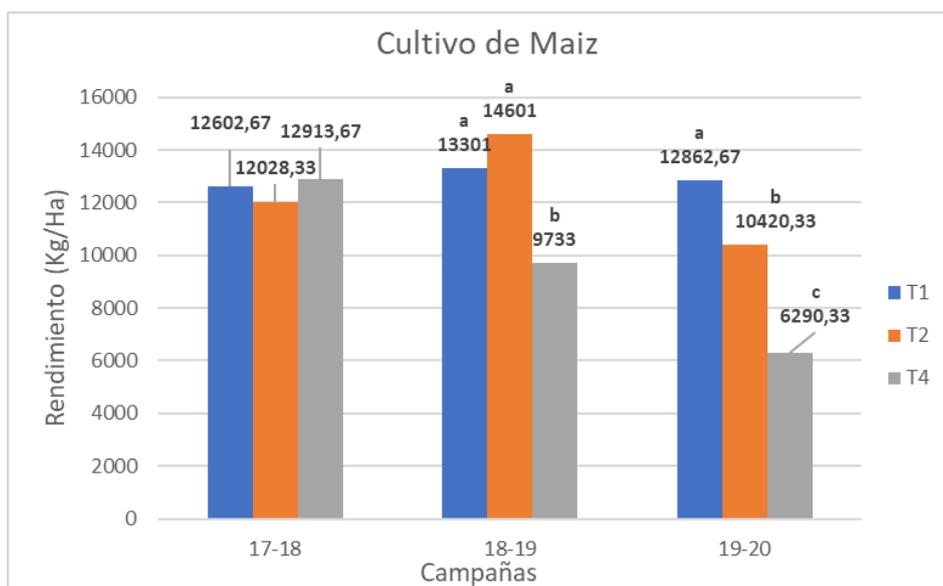


Figura nº 4. Rendimiento del cultivo de maíz durante 3 campañas para cada tratamiento

Cultivo de Soja

Para el cultivo de soja, solo se destaca una diferencia estadística entre tratamientos para la campaña 18-19, obteniendo mayores rendimientos en T1 (3878,67 Kg/Ha) y T2 (3.692,67 Kg/Ha) que T4 (2.078,67 Kg/Ha) (Figura nº 5). Esta diferencia se atribuye a la competencia de las malezas durante el ciclo del cultivo de soja.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

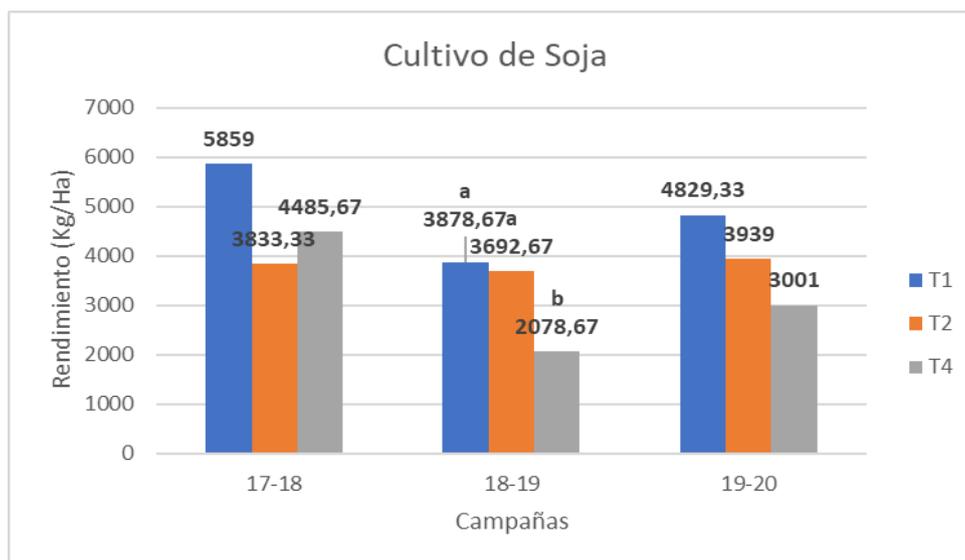


Figura nº 5. Rendimiento del cultivo de soja durante 3 campañas para cada tratamiento

Cultivo Soja 2º

La soja de 2º no presentó diferencias significativas entre T1 y T2 dentro de las 3 campañas evaluadas. Durante la primera campaña, la parcela correspondiente a T4 no se logró debido a alta presión de malezas luego de la cosecha del cultivo de trigo y en las posteriores dos campañas, no se realizó la siembra de este cultivo (Figura nº 6).

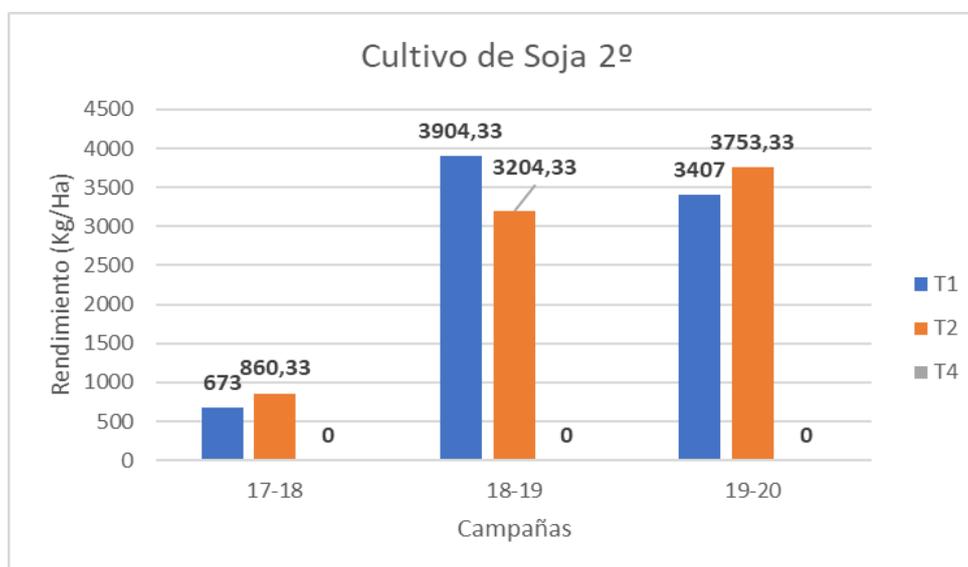


Figura nº 6. Rendimiento del cultivo de soja 2º durante 3 campañas para cada tratamiento

Cultivo de Trigo

En la campaña 17-18 encontramos diferencias significativas para el cultivo de trigo entre T1 y T2 con respecto a T4, con rendimientos de 2.062 Kg/Ha, 2.394 Kg/Ha y 1.372 Kg/Ha, respectivamente. Si bien durante ese año las condiciones favorecieron el

Erreca Juan Martin.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

desarrollo de hongos, se puede asociar esto con la baja en rendimiento de T4 por la ausencia de control de dicha enfermedad. Para la campaña siguiente (18-19), los rendimientos de T1 se diferenciaron significativamente de T2 y de T4, manteniendo la misma tendencia, pero con mayor productividad hacia la última campaña (Figura nº 7).

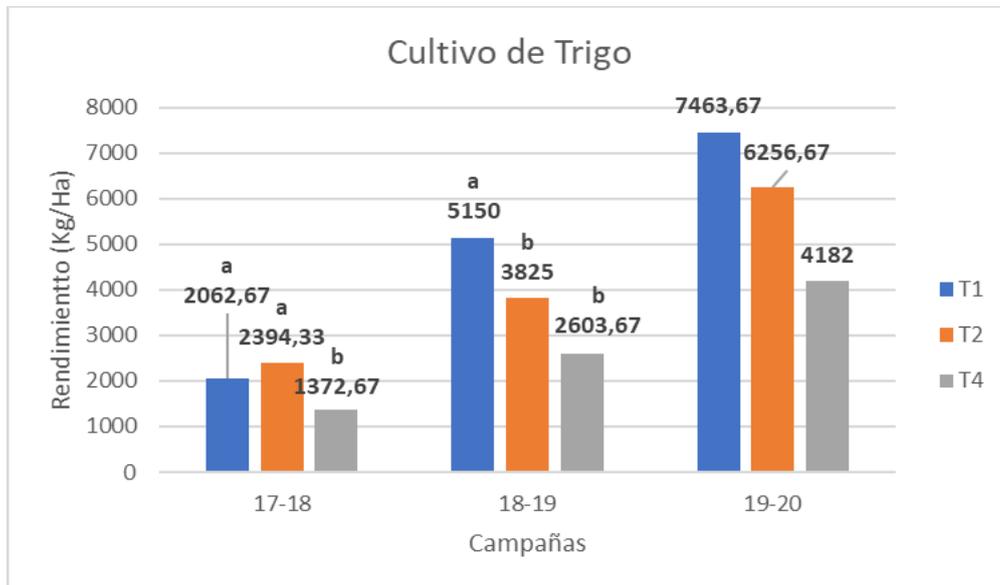


Figura nº 7. Rendimiento del cultivo de trigo durante 3 campañas para cada tratamiento

Propiedades Físicas

Densidad Aparente para cada tratamiento de 0-20 cm

Profundidad (cm)	Tratamientos	Dap (g/cm ³)
-5	T1	1,36 a
	T2	1,36 a
	T5	1,33 ab
	T4	1,28 b
-10	T2	1,47 a
	T1	1,45 a
	T5	1,43 a
	T4	1,43 a
-15	T4	1,43 a
	T1	1,43 a
	T2	1,42 a
	T5	1,39 a
-20	T4	1,49 a
	T2	1,48 a
	T1	1,47 a
	T5	1,46 a

Tabla nº 1. Densidad Aparente para cada tratamiento de 0-20 cm

En la Tabla nº 1 se muestran los valores de Dap para los 4 tratamientos a profundidades de 0-20 cm en intervalos de 5 cm. No existen diferencias significativas entre tratamientos en este indicador para los primeros 20 cm del perfil del suelo, aunque se ve como T4 tiene los menores valores en los primeros dos estratos y luego aumenta. Diaz-Zorita *et al*, (2004), tampoco encontraron diferencias entre sistemas de labranza luego de 12 años, a pesar de encontrar los mayores valores para SD. El aumento de la densidad a mayor profundidad se explicaría por un menor contenido de MO, lo cual disminuye la porosidad total. Fernandez *et. al.* (2020) durante un ensayo realizado en EEA INTA Anguil, encontraron diferencias entre tratamientos con diversas pasturas perennes implantadas y bajo agricultura continua para densidad aparente y demás propiedades físicas. En el mismo trabajo de 0-6 cm de profundidad, se presentó el mayor valor (1,27Mg.m³) para el tratamiento bajo agricultura (Ag) y para festuca + alfalfa (F+A), agropiro + alfalfa (A+A), pasto llorón (LL), resultaron ser un 12, 14 y 22% menor respectivamente, perdiendo esta tendencia en el estrato de 6-12 cm y siendo valores similares de 12-18 cm. A su vez, en el mismo estudio se analizó la biomasa de raíces

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

presentes en los primeros 100 cm del perfil, encontrándose la mayor proporción de 0-20 cm (78, 70, 53 y 53%, para LL, F+A, A+A y Ag respectivamente). Esto se relaciona con los valores de porosidad total obtenidos siendo de 54,7% para LL, 48,4% (A+A), 47,2% (F+A) y 42,4% para Ag de 0-6 cm, y para los estratos siguientes el mayor valor lo presentó A+A, con diferencias significativas frente a Ag en 6-12 cm y con diferencias para el último estrato frente a Ag y LL. Los datos sobre las pasturas perennes se obtuvieron luego de 5 años y para agricultura luego de 4 años.

Castiglioni *et. al.* (2016) en un suelo de la serie Capitán Sarmiento encontraron una disminución significativa sobre la Dap mediante la introducción de CC (Vicia y Trigo) en el estrato de 0-7 cm, frente al tratamiento testigo (Barbecho). Pisco *et. al.* (2006) durante un ensayo de largo plazo realizado en INTA Pergamino, encontraron que los valores de Dap en la capa de 0-6 cm fueron inferiores para SD que para LC, con diferencias significativas. Sin embargo, Restovich *et. al.* (2011) en su trabajo, no encontró efectos favorables de distintos CC (vicia, rye grass, cebada, cebadilla y colza, exceptuando el nabo forrajero que sí generó diferencias significativas) sobre la Dap, para el estrato de 5 a 10 cm de un suelo de Pergamino bajo SD, al año de iniciado el ensayo.

Densidad aparente para cada cultivo utilizado en las diferentes secuencias

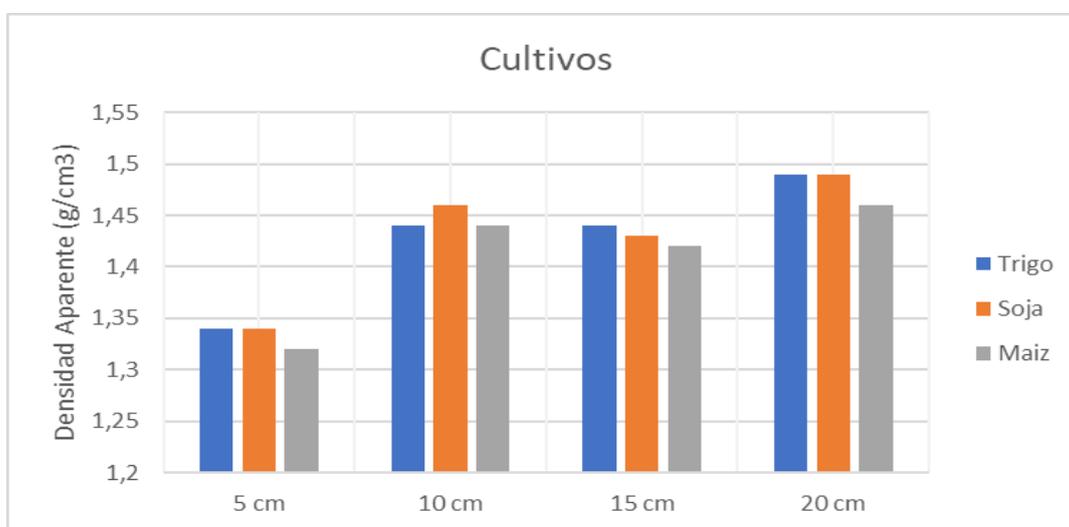


Figura nº 8. Densidad aparente de 0-20 cm de profundidad para los 3 cultivos utilizados

En la Figura nº 8 no se identifican diferencias significativas entre los cultivos con respecto a esta variable física (Dap) para los diferentes estratos del perfil analizado (0-20 cm), pero si se observa el aumento de la densidad a mayor profundidad, dado por el peso de las capas superiores y el menor contenido de MO (Lamas y Moreno, 2000).

Resistencia mecánica a la penetración para cada tratamiento de 0-45 cm

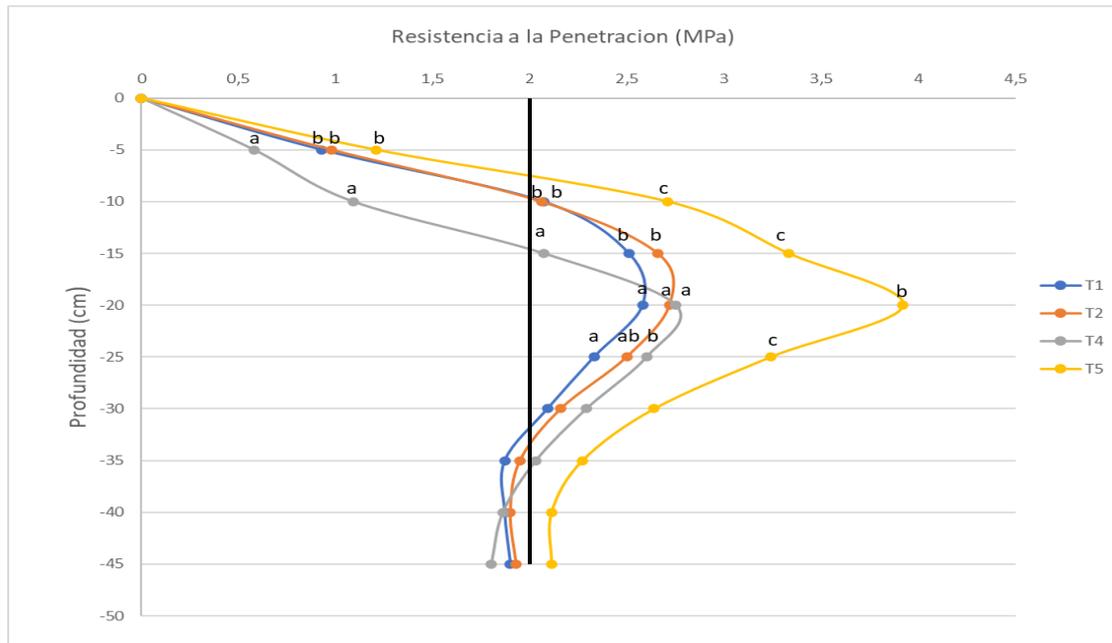


Figura nº 9. Resistencia mecánica a la penetración de 0-45 cm de profundidad para los 4 tratamientos implementados

Para T5 se presentan los mayores valores de RP en todos los estratos de profundidad. Richmond y Rillo (2017) comparan resultados de RP entre tratamientos de pasturas y cultivos comerciales, donde todos los tratamientos con pasturas (T1: Festuca antigua de 40 años; T2: Alfalfa de 2 años; T3: Soja post 5 años de pastura con festuca; T5: Pastura Cebadilla criolla, pasto ovillo y alfalfa de 5 años) presentaron en su totalidad mayores valores hasta los 20-25 cm de profundidad, pero a su vez son quienes tienen los mayores valores de infiltración de agua debido a mayor presencia de macroporos causado por microfauna y raíces. Por otra parte, los tratamientos con alfalfa presentaron valores intermedios entre cultivos comerciales y pasturas, por un efecto de descompactación biológica generado por su raíz pivotante, al contrario las gramíneas generan un efecto de consolidación de agregados aumentando así la resistencia mecánica del suelo.

Los valores de RP de T4, son estadísticamente menores desde la superficie del perfil hasta los -15 cm de profundidad, respecto a los demás tratamientos. Esto pudo deberse al laboreo de la rastra de disco, la cual trabaja hasta una profundidad no mayor a -15 cm (Brambilla, 2021), rompiendo la estructura del suelo, y favoreciendo la formación de macroagregados, los cuales ofrecen menor resistencia a la penetración. Iglesias, (1998)

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

presenta resultados similares con menores valores para LC en estratos superficiales especialmente de 0-5 cm y luego estos aumentan en profundidad.

Por su parte, Diaz-Zorita (2004), luego de 12 años de labranzas sobre un Hapludol no encontró diferencias entre sistemas bajo SD, LC (Arado de rejas) y LV (Arado de cincel) para dicha propiedad física en superficie, pero al igual que en nuestro trabajo observó un aumento en RP para estratos subsuperficiales en el tratamiento bajo LC, adjudicando esto al reiterado laboreo a igual profundidad, efecto que se puede extrapolar hacia la rastra de disco que utilizamos.

Entre T4 y T2 quienes ambos comparten CC se presentan valores favorables para T4 en los siguientes estratos, para -5 cm (0,58a) y (0,98b), -10 cm (1,09a) y (2,06b), y por último a -15 cm (2,07a) y (2,66b), respectivamente, siendo influenciada esta característica en mayor medida por el sistema de labranza.

En los tratamientos bajo SD (T1 y T2), no se ven diferencias estadísticas a lo largo de todo el perfil (0-45 cm), concluyendo que aún no hay efecto por parte del CC (T2) sobre la estructura del suelo que pueda verse reflejada con este indicador. Y por último, se destacan mayores valores tanto para T1 y T2, respecto a T4 hasta -15 cm, siendo afectados por la no remoción del suelo. Dentro de este indicador físico, como se mencionó en la introducción, se adopta un umbral de 2 MPa para identificar aquellas zonas del perfil donde existe un impedimento hacia el desarrollo y crecimiento de las raíces.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Resistencia mecánica a la penetración según el cultivo entre los diferentes tratamientos

Cultivo de Maíz

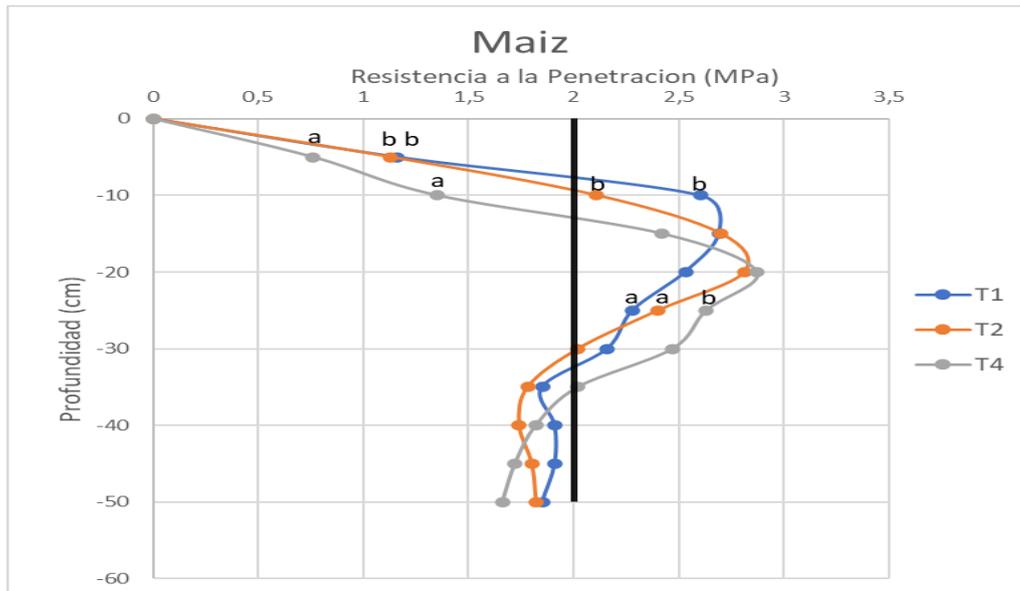


Figura nº 10. Valores RP para el cultivo de maíz según los tratamientos T1, T2 y T4

Cultivo de Soja

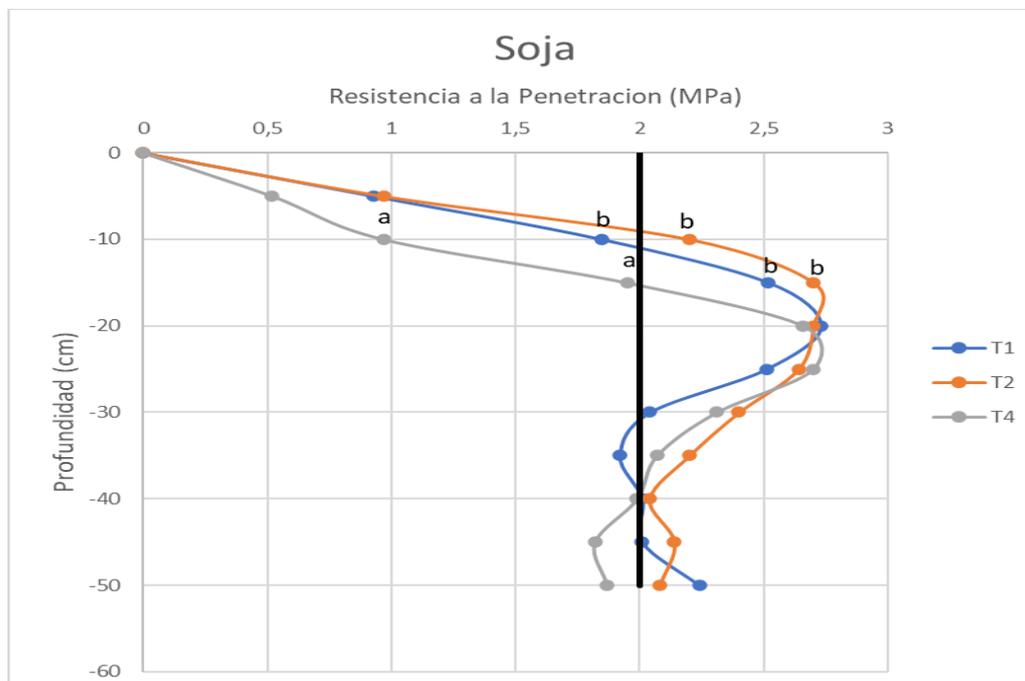


Figura nº 11. Valores RP para el cultivo de soja según los tratamientos T1, T2 y T4

Cultivo Trigo-Soja 2da

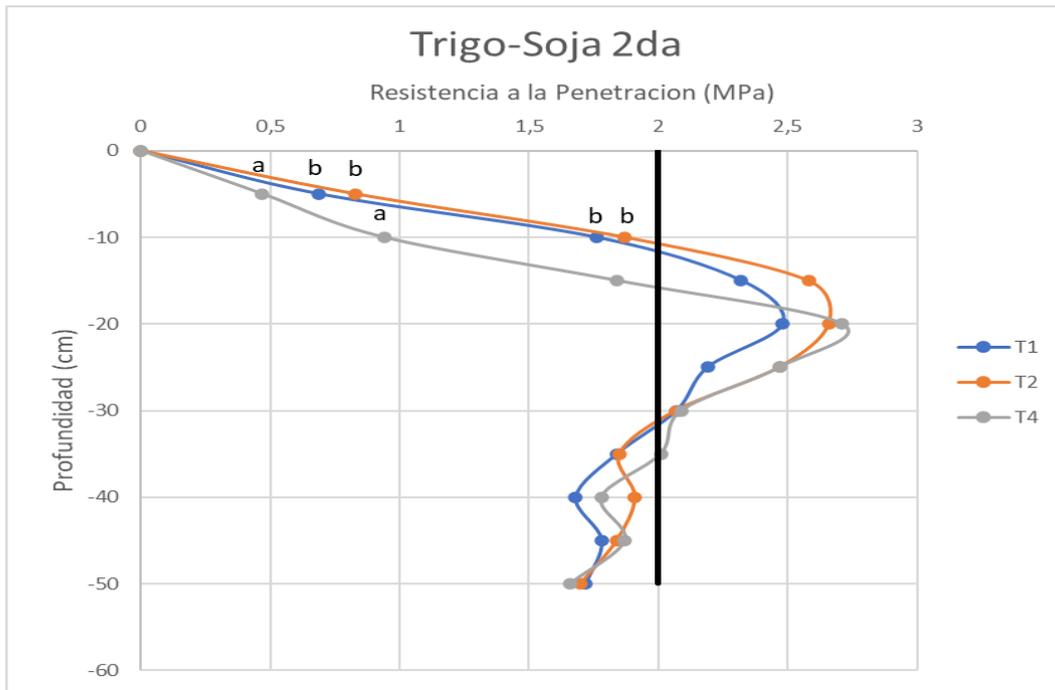


Figura nº 12. Valores RP para el doble cultivo trigo-soja 2º según los tratamientos T1, T2 y T4

Observamos como para T4 se presentan valores estadísticamente inferiores tanto para los estratos -5 y -10 cm en los cultivos de maíz (0,76a y 1,35a) como para trigo-soja 2º (0,47a y 0,94a) y para el cultivo de soja esta diferencia se da a los -10 y -15 cm (0,97a y 1,95a) de profundidad, presentando menores valores en los primeros centímetros del suelo y luego revirtiendo esta tendencia, adjudicable al sistema de labranza utilizado en dicho tratamiento y el efecto que ejerce a las profundidades destacadas, reafirmando con el dato presente en el cultivo de maíz a -25 cm donde T4 adopta un valor de 2,36 MPa (b), mayor al resto de los tratamientos.

También coincide para las tres secuencias de cultivos, el excedente sobre el umbral desde los -10 cm hasta -35 cm en la mayoría de los tratamientos, tanto como se observa en la Figura nº 8.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

Conclusiones

No se puede asociar las diferencias de rendimientos entre los cultivos con los indicadores físicos analizados, ya que en estas determinaciones no se encuentran diferencias estadísticas que den lugar a un posible efecto en esta variable. Para nuestro primer indicador físico analizado (Dap), no se rechaza ninguna de las hipótesis nula planteadas (I y II), debido a que no se encontraron diferencias estadísticas que justifiquen lo contrario. En cambio, para el segundo indicador (RP), rechazamos tanto la primera hipótesis nula (I) como la segunda (II), dado que si existen diferencias estadísticas ($p\text{-valor} < 0,05$) para diferentes estratos del perfil analizado (0-45 cm). Para ambas variables y para este lapso de tiempo en el cual se realizó el ensayo, se puede identificar un mayor efecto por parte del sistema de labranza (LC) y de la rotación, que de las secuencias de cultivos. Los resultados presentados en este trabajo dieron una idea del cambio que podemos generar a corto plazo sobre las propiedades físicas del suelo para una determinada zona y como estas se relacionan con los rendimientos de los cultivos, sin embargo, para consolidar estos resultados o identificar otros cambios, es necesario mayor tiempo de análisis dadas las características de dichas variables.

Bibliografía

- Abbasi, M.K., M. Hina, A. Khalique y S.R. Khan. 2007. Mineralization of three organic manures used as nitrogen source in a soil incubated under laboratory conditions. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 38, 1691-1711. Doi: 10.1080/00103620701435464
- Álvarez, C. R., Taboada, M. A., Gutiérrez Boem, F. H., Bono, A., Fernández, P. L. y Prystupa, P. (2009a). Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 73, 1242-1250.
- Álvarez, R. y Steinbach, H. S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res.*, 104, 1-15.
- Álvarez, C. R., Boem, F. H. G., Duggan, M. T., & Taboada, M. A. (2021). Descompactación mecánica de suelos bajo siembra directa: efecto sobre las propiedades físicas edáficas y el cultivo de maíz en la Pampa Ondulada. *Agronomía & Ambiente*, 41(2).
- Arregui, J. C., Sanchez, D. E., y Grenòn, D. A. (2009). Tablero de comando sobre riesgo de contaminación ambiental por plaguicidas. *Memorias. XXXVIII Jornadas Argentinas de Informática*. Mar del Plata, BA, 24.
- Azeez, J.O. y W. Van Averbek. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Biores. Technol.* 101(14), 5645- 5651. Doi: 10.1016/j.biortech.2010.01.119
- Balesdent, J; C Chenu & M Balabane. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.* 53(3): 215-230.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires - Informes y Datos.
- Bolsa de Comercio de Rosario.
- Botta, G. F., Jorajuria, D., Balbuena, R. y Rosatto, H. (2004). Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil Till. Res.*, 78, 53-58.
- Brambilla, L. (2021). "Máquinas para la labranza". *Catedra de Maquinaria Agrícola*. UCA, Buenos Aires.
- Carfagno, PF; MJ Eiza; JM Rivera Vazquez; A Quiroga & F Babinec. 2014. Cultivos de cobertura: efecto sobre la porosidad y el rendimiento de soja. En: *Actas en CD del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión*

Nacional «Materia Orgánica y Sustancias Húmicas. 5 al 9 de mayo de 2014. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

- Caviglia, OP; VO Sadras & FH Andrade. 2011. Yield and quality of wheat and soybean in sole- and double-cropping. *Agron J.* 103: 1081-1089.
- Corral, RA; GA Studdert; GF Domínguez & MA Agostini. 2016. Uso de cultivos de cobertura/abonos verdes para la producción sustentable de maíz. *Actas XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* Río Cuarto, Córdoba, Argentina, junio 2016. E-book
- Darwich, N. (2019). La salud de nuestros suelos. *Investigación+ Desarrollo.* profertil.com.ar
- da SILVA, A.P. y KAY, B.D. 1996. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil* 184: 323-329.
- Diez, SN. 2017. Cultivos puente: efecto sobre la disponibilidad de agua y de nitrógeno para un cultivo de maíz. Tesis Magister, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. 67 p.
- Di Yenno, F; Terré, E; (2021). Argentina se encamina a un récord de siembras en la 2021/22.
- Domínguez, GF; GA Studdert & HE Echeverría. 2005. Propiedades del suelo: efectos de las prácticas de manejo. En: García, FO & HE Echeverría (eds) *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.* Pp. 207-229. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Duval et al, (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo.
- Eavis, B.W.; Ratcliff, L.E.y Taylor, H.M. 1969. Use of dead load technique to determine axial root growth pressure. *Agronomy Journal* 61: 640-643.
- Etchevers, B. Indicadores de calidad de suelos. En: *Conservación y restauración de suelos.* (Eds. C.H. Siebe *et al.*). Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente. México, D.F. p. 239. 1999
- FAO 1988. Anuario de Fertilizantes, Vol. 37. Roma, Colección FAO Estadística N° 83, pág 123.
- Fernández, R., Furch, N. E., Bissolino, M., Frasier, I., Scherger, E. D., & Quiroga, A. R. (2020). Efecto de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del suelo*, 38(1), 133-148.
- Frye, WW & GW Thomas. 1991. Management of long-term field experiments. *Agron. J.*, 83:38-44.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

- Glinski J. y J. Lipiec. 1990. Soil Physical conditions and plant roots. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 250 pp.
- Greacen, E.L. 1986. Root response to soil mechanical properties. Trans. 13th Congress Intern. Soc. Soil Sci., Hamburg, Germany. 5: 20-47.
- Gupta S.C. y R.R. Allmaras. 1987. Models to asses the susceptibly of soils to excessive compaction. Adv. Soil Sci. 6: 65-100.
- Ing. Agr. Roberto R.Casas. Carta de Suelos de la Republica Argentina 3560-31 - Hortensia. GeolINTA. <https://anterior.inta.gob.ar/suelos/cartas/3560/Hortensia/index.htm>
- Jones C.A. 1983. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth. Soil Sci. Soc. Am. J. 47. 1208-1211.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences Bulletin
- Morris, N. L., Miller, P. C. R., Orson, J. H. y Froud-Williams, R. J. (2010). The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment. A review. Soil and Tillage Research, 108, 1-15.
- Mulvaney, MJ; CW Wood; KS Balkcom; DA Shannon & JM Kemple. 2010. Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. Agron. J. 102:1425-1433
- Nocelli Pac, S. (2018). Evolución de siembra directa en argentina, campaña 2016-2017. Aapresid.
- Novelli, LE. 2013. Intensificación de las secuencias de cultivos en un Molisol y un Vertisol: cambios en la estabilidad estructural y en el almacenaje de C en agregados. Tesis de Doctor. Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. FAUBA. Argentina.
- Lamas, M; Moreno, G. (2000). Densidad del suelo: 2da. Edición. Editorial Facultad de Agronomía. Fac. de Agronomía. Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos. (pp. 159-165). UBA.
- Oderiz, JA; MG Uhaldegaray; I Frasier; AR Quiroga; N Amiotti & P Zalba. 2017. Raíces de cultivos de cobertura: cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral. Ciencia del Suelo 35:249-258.
- Ott, RL. 1993. An introduction to statistical methods and data analysis (4th Ed.). Duxbury Press (ed.). California, USA. 1183 pp.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

- Panigatti, JL. 2010. Argentina 200 años, 200 suelos. Ed. INTA Buenos Aires. 345 pp. Ilustraciones y cuadros.
- Peiretti, R. y Dumanski, J. (2014). The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 14-20.
- Pérez Casar, L. (2015). Un sistema de manejo conservacionista: Esta técnica agronómica mejora la condición hídrica del suelo y, en consecuencia, contribuye a aumentar los rendimientos de los cultivos y las reservas de carbono. Así lo confirmó un ensayo de 20 años del INTA Manfredi, en Córdoba. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(2), 118-123.
- Perez, G., Estelrich, C., & Pereyro, A. (2020). *Rotación: evaluación de diferentes secuencias de rotaciones con un enfoque sistémico*. AER Bolivar, INTA.
- Pieri, C. Fertilité des terres de savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, France. 1989
- Qian, P. y J. Schoenau. 2002. Availability of nitrogen in solid manure amendments with different C:N ratios. *Can. J. Soil Sci.* 82, 219-225. Doi: 10.4141/S01-018
- Restovich, SB; AE Andriulo & C Amendola. 2011. Introducción de los cultivos cobertura en la rotación soja - maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ciencia del Suelo*. 29:61-73
- Richmond, A. P. F., & Rillo, A. S. N. (2016). Estación Experimental Agropecuaria Pergamino.
- Ruffo, M & G Bollero. 2003. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal component regression. *Agron. J.* 95:1034-1040
- Ruffo, M., & Parsons, A. (2004). Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 21(1), 13-15.
- Sá Pereira, E de; ME Duval & JA Galantini. 2017. Decomposition from legume and non-legume crop residues: Effects on soil organic carbon fractions under controlled conditions. *Spanish J. Soil Sci.* 7:86-96.
- Salmerón, M; J Caveró; D Quílez & R Isla. 2010. Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated Mediterranean conditions. *Agron. J.* 102:1700-1709.
- Sánchez, SR; GA Studdert & HE Echeverría. 1996. Descomposición de residuos en un argiudol típico. *Ciencia del Suelo* 14:63-68.

Evaluación de propiedades físicas en secuencias de cultivos con diferentes niveles de intensificación.

- Sasal, M. C., Boizard, H., Andriulo, A. A., Wilson, M. C. y Léonard, J. (2017). Platy structure development under no-tillage in the northern humid Pampas of Argentina and its impact on runoff. *Soil Tillage Res.*, 173, 33-41.
- Seneviratne, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: A synthesis. *Biol. Fertility Soils* 31, 60-64. Doi: 10.1007/s003740050624.
- Sierra, J. G. (2010). Laboreo tradicional frente a laboreo mínimo, consecuencias agronómicas y energéticas. *Vida rural*, (313), 48-51.
- Torres, LG; JR Benites & AM Vilela. 2001. Conservation agriculture: A worldwide challenge. FAO, Rome.
- Van Kessel, J.S., J. Reeves y J. Meisinger. 2000. Nitrogen and carbon mineralization of potential manure components. *J. Environ. Qual.* 29, 1669-1677.
- Veenstra, JJ; WR Horwath & JP Mitchell. 2007. Tillage and cover cropping effects on aggregate-protected carbon in cotton and tomato. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:362-371.
- Verhulst, N; B Govaerts; E Verachtert; A Castellanos-Navarrete; M Mezzalama & P Wall. 2010. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems? In: R. Lal & B.A Stewart (eds). *Food security and soil quality. Adv. Soil S.* CRC Press, Boca Raton FL. p. 137-208.
- Williams, SM & RR Weil. 2004. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1403-1409.