

Estrategias para descompactar el suelo en la región semiárida pampeana: efecto residual en la infiltración básica y en el rendimiento



Strategies to decompact the soil in the semi-arid pampas region: residual effect on basic infiltration and yield

Fernández, Romina; Álvarez, Cristian; Noellemeyer, Elke; Quiroga, Alberto

Fernández, Romina

fernandez.romina@inta.gob.ar

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina

Álvarez, Cristian

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina

Noellemeyer, Elke

Universidad Nacional de La Pampa, Argentina

Quiroga, Alberto

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina

Universidad Nacional de La Pampa, Argentina

Revista FAVE Sección Ciencias Agrarias

Universidad Nacional del Litoral, Argentina

ISSN: 2346-9129

ISSN-e: 2346-9129

Periodicidad: Semestral

vol. 22, e0002, 2023

revistafave@fca.unl.edu.ar

Recepción: 26 Abril 2022

Aprobación: 04 Julio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/586/5863579005/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.2023.22.e0002>

Resumen: La compactación del suelo es una problemática cada vez más recurrente y en la actualidad genera gran preocupación entre los productores y colegas de diferentes regiones del país. El presente trabajo consistió en evaluar, los efectos de diferentes estrategias de manejo para revertir la compactación. Sobre un suelo Franco del sur de la planicie con tosa de la Región Semiárida Pampeana, se instalaron diferentes tratamientos: - Testigo, sin cultivo de cobertura y sin descompactador mecánico (T). - Cultivo de cobertura, utilizado como descompactador biológico (CC). - Descompactador mecánico sin cultivo de cobertura (D). - Combinación de Descompactador mecánico y cultivo de cobertura (D CC). La infiltración básica (IB) se determinó en mayo de 2019, octubre de 2019, septiembre de 2020 y octubre 2021. También se determinó conductividad hidráulica, humedad del suelo y rendimiento de los cultivos (materia seca y grano). Los rendimientos relativos (RR) del maíz para silo (2019-2020) en D fue un 37% superior con respecto al T, CC aumentó un 108% respecto al T y la combinación entre la D CC arrojó un 132% más de producción respecto al T. Para el maíz con destino a grano (2020-2021), los RR también fueron positivos en relación al T. Los tratamientos D, CC y D+CC rindieron un 49, 15 y 68 % más, respecto al T, respectivamente, Para el cultivo de trigo (2021) los RR con respecto al T fueron de menor magnitud, (5, 0,1 y 19% para D, CC y D CC, respectivamente). Con respecto a IB relativa, en el tratamiento D disminuyó ampliamente a través del tiempo hasta los 540 días, a partir del cual la tasa se mantuvo relativamente constante hasta los 900 días. A los 540 y 900 días de pasado el descompactador los valores relativos de IB entre D y D CC fueron similares y superiores al T. CC, presentó los valores de IB más estables a través del tiempo. Estos resultados, dos años y medio desde que se inició la experiencia, permitieron cuantificar el efecto residual de la descompactación y el uso de CC sobre la captación y movimiento del agua en el perfil del suelo, así como en la producción de los cultivos. El tratamiento que permitiría incrementar la captación de agua de lluvia, incrementar el rendimiento de los cultivos y aumentar la EUA de forma más significativa sería la inclusión de una descompactación mecánica asociada a CC.

Palabras clave: descompactación biológica, descompactación mecánica, conductividad hidráulica.

Abstract: *Compaction is an increasingly recurring problem and generates great concern among producers and colleagues from different regions of the country. The present work will try to give answers, about if there is the possibility that different management strategies allow reversing compaction. Different treatments were installed on a loam soil from the south of the calcareous plain of the Pampa Semiarid Region: - Control (T). - Cover crop, used as biological agent of decompaction (CC). - mechanical decompaction (D). - decompaction plus cover crop (D CC). Basic infiltration rate (IB) was determined in May 2019, October 2019, September 2020, and October 2021. Hydraulic conductivity, soil moisture, crop yields (dry matter, grain) were determined. The relative yields (RR) of maize for silage (2019-2020) in D was 37% higher compared to T, CC increased 108% compared to T and the combination between D CC yielded 132% more production. For grain maize (2020-2021), the RR were also positive in relation to T, treatments D, CC and D CC yielded 49, 15 and 68 %, respectively, more compared to T. For the wheat crop (2021) the RR with respect to T were of lesser magnitude, (5, 0.1 and 19% for D, CC, and D CC, respectively). Regarding relative IB, in treatment D it decreased widely over time until 540 days, after which the rate remained relatively constant until 900 days. At 540 and 900 days after the decompaction, the relative values of IB between D and D CC were similar and higher than T. CC, presented the most stable IB values over time. These results, two and half years since the experience began, allowed to quantify the residual effect of decompaction and the use of CC on the capture and movement of water in the soil profile, as well as on crop production. The treatment that would increase capture and movement of water in the soil profile, as well as in crop production, and increase WUE more significantly would be the inclusion of mechanical decompaction associated with CC.*

Keywords: *biological decompaction, decompaction, hydraulic conductivity.*

INTRODUCCIÓN

En sistemas mixtos de producción la compactación superficial o subsuperficial, incide negativamente en la captación del agua de lluvia, favoreciendo el proceso de encharcamiento y escurrimiento, limitando la transitabilidad del suelo, la mineralización y ciclado de los nutrientes, el establecimiento de los cultivos y su desarrollo. Esta compactación se encuentra asociada al tránsito excesivo de la maquinaria, a la intensificación agrícola y al efecto del pisoteo-pastoreo por parte del ganado bovino, la pérdida de Materia Orgánica, entre otras (Botta et al., 2006; Hamza & Anderson, 2005; Maineri, 2020; Sasal et al., 2006).

El proceso de intensificación agrícola que se viene produciendo en los últimos 20 años, con disminución de la superficie con pasturas y cereales de invierno, ha dado lugar a menores aportes de residuos sobre la superficie del suelo, menor cantidad de raíces y cambios en su distribución (Frasier et al., 2016b). Esto ha producido la disminución en los contenidos de materia orgánica (MO), cambios de la porosidad del suelo, disminución en la proporción de macroporos y cambios en su forma, acentuando los procesos de

compactación de suelos (Denef & Six, 2005, Fernández, 2018). La preocupación radica en que algunos de estos cambios pueden ser irreversibles o condicionar de manera significativa la resiliencia de los recursos, con consecuencias ambientales también importantes (Quiroga et al., 2016).

La densificación de los suelos, además de limitar la eficiencia en el uso del agua, incide tanto sobre la absorción de nutrientes disponibles como sobre el desarrollo de las raíces (Glab, 2014). En este sentido el uso de descompactadores mecánicos es una de las alternativas de manejo tendientes a modificar favorablemente la porosidad del suelo. No obstante, los resultados de esta práctica no son consistentes. En algunos trabajos este tipo de descompactación promueve un incremento en la productividad física del agua, mientras que, en otros los efectos no son significativos (Álvarez et al., 2006; Botta et al., 2010; Perdomo et al., 2020).

La rotación o alternancia de cultivos representa otra alternativa de manejo a considerar en suelos donde existen problemas de compactación o densificación (Fernández et al., 2020b). Secuencias de cultivos más diversificadas y con mayor proporción de gramíneas frecuentemente dan lugar a una mejor condición física, mejorando la proporción de poros, en relación con aquellas rotaciones menos diversificadas (Imhoff et al., 2010, 2016). Es por ello que, la inclusión de cereales de invierno como cultivos de cobertura (CC) aparece como otra alternativa de manejo tendiente a mejorar las propiedades edáficas en suelos compactados (García González et al., 2018). Este tipo de “descompactación biológica” (Gregory et al., 2006), mediante la incorporación de especies que generen biomasa radicular en poco tiempo, puede ser físicamente beneficiosa. Sin embargo, teniendo en cuenta que la susceptibilidad a la compactación de los suelos resulta principalmente dependiente de los contenidos de materia orgánica (Quiroga et al., 2016), la recuperación y estabilización del sistema poroso es necesariamente un proceso lento. Dependiendo de la condición inicial (grado de compactación) pueden requerirse varios años acumulando efectos de CC para alcanzar cambios físicos significativos (Fernández et al., 2020a).

La compactación al ocurrir debajo de la superficie del suelo resulta difícil de localizar y de darle magnitud (Yadav et al., 2017). En general no es uniforme en cuanto a su distribución, pudiendo variar en cuanto a su espesor, profundidad y resistencia a la penetración en cortas distancias. Asociado a ello los cultivos frecuentemente presentan desuniformidad que, en ocasiones, se visualizan como manchones de menor desarrollo, senescencia anticipada y menor rendimiento en los sectores más densificados. No obstante, el efecto de la compactación sobre el rendimiento de los cultivos también depende de las condiciones climáticas que interactúan con las propiedades del suelo. Bajo condiciones climáticas favorables se minimizan los efectos perjudiciales de la compactación.

Si bien en la Región Semiárida Pampeana, se están utilizando descompactadores mecánicos para intentar resolver problemas de densificación de suelos, buscando regenerar la porosidad, no existe información a nivel regional sobre el efecto que tiene el uso del descompactador mecánico sobre propiedades físico-hídricas y sobre los rendimientos de los cultivos. Tampoco existen datos sobre la perdurabilidad de los efectos de la práctica de descompactación. Además, se desconoce cuál podría ser la contribución de los cultivos de cobertura en la descompactación biológica de los suelos, tanto cuando se los utiliza solos o en combinación con un descompactador mecánico. En función a lo expuesto, el objetivo del trabajo fue determinar los cambios en la tasa de infiltración básica y en el rendimiento de los cultivos de la rotación a partir de la descompactación mecánica y biológica de un Paleustol petrocálcico de la Región Semiárida Pampeana.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó sobre un suelo franco-arenoso clasificado como Paleustol petrocálcico, ubicado en el establecimiento “La Carlota” cercano a la localidad de Guatraché, La Pampa (37°32'57.90'' Sur; 63° 36' 48.24'' Oeste) cuyas características se presentan en la Tabla 1.

A principios del mes de marzo del 2019 se muestreó el suelo afectado por compactación para evaluar la condición inicial a partir de diferentes indicadores físico-hídricos (Tabla 1).

Los tratamientos del experimento de descompactación fueron dispuestos en bloques completos al azar con tres repeticiones, utilizando parcelas de 150 m. (10x15 m). A continuación, se detallan los mismos

1. Testigo, sin cultivo de cobertura y sin descompactador mecánico (T).
2. Cultivo de cobertura, utilizado como descompactador biológico (CC).
3. Descompactador mecánico sin cultivo de cobertura (D).
4. Combinación de descompactador mecánico y cultivo de cobertura (D CC).

El descompactador mecánico utilizado fue un subsolador con separación entre púas de 40 cm y se trabajó a una profundidad de 35-40 cm, con una velocidad próxima a los 6,5 km h⁻¹ y una humedad de trabajo cercano al 60% de agua útil. La descompactación se realizó sobre un barbecho químico de tres meses de duración, el mismo día de la siembra de triticale utilizado como CC (28 de marzo del 2019), en condición óptima de humedad (60% del agua útil) para que las púas de acero produzcan fuerzas laterales y verticales a fin de conseguir la ruptura de las capas compactadas a través de las líneas de fragmentación natural del suelo.

Los tratamientos con cultivos de cobertura (CC y D CC) fueron sembrados el mismo día con triticale (xTriticosecale Wittmack- CV: Don Santiago INTA) a una densidad de 180 pl m⁻², con 50 kg ha⁻¹ de fosfato mono amónico, que fue aplicado también en las parcelas T. El 16 de octubre 2019, se secaron los CC mediante herbicida (3 l glifosato ha⁻¹) y el 4 de diciembre todos los tratamientos fueron sembrados con maíz (*Zea Maiz.*, L) con una densidad de 28.000 pl ha⁻¹, destinado a silaje (14 de abril de 2020). El 22 de abril de 2020, se sembró avena (*Avena sativa*; L. CV: Violeta INTA) como CC en los tratamientos CC y D CC, para secarlos con herbicida (2,5 l glifosato ha⁻¹) el 17 de noviembre de 2020. Nuevamente en todos los tratamientos se sembró maíz (Advanta 8319, 25.000 pl ha⁻¹, con 90 kg ha⁻¹ de Urea+ 60 kg ha⁻¹ de fosfato mono amónico) el 13 de diciembre 2020, con destino producción de grano (cosechado el 9 de junio de 2021). El 14 de junio de 2021, todos los tratamientos fueron sembrados con trigo (*Triticum aestivum*- CV: Baguette 620, 80 kg ha⁻¹, con 50 kg ha⁻¹ de fosfato mono amónico a la siembra y 100 kg ha⁻¹ de Urea en macollaje) efectuando la cosecha el 20 de diciembre de 2021.

Para caracterizar el suelo se tomaron 4 submuestras compuestas a 0-20 cm de profundidad, las mismas fueron secadas a temperatura ambiente y tamizadas por 2 mm. Posteriormente, se les realizó una caracterización mediante los siguientes parámetros: Contenido de arena, arcilla y limo (Bouyoucos); Constantes hídricas de punto de marchitez permanente (PMP, 15 bares) y capacidad de campo (CC, 0,3 bares); Contenido de materia orgánica (MO, Walkley and Black) y Contenido de fósforo extractable (P, Bray- Kurtz).

Para evaluar las propiedades físico-hídricas a principios de marzo del 2019 se realizaron las siguientes determinaciones. Densidad aparente máxima (DAM), humedad crítica (HC, expresada como humedad gravimétrica) y susceptibilidad a la compactación (SC) mediante Test Proctor (Stengel et al., 1984). Densidad aparente (DA) se determinó mediante el método del cilindro (141,3 cm.). La conductividad hidráulica saturada (k) se determinó a los 0-6, 6-12, 12-18 y 18-24 cm al inicio (2019) a los 510 (2020) y 930 (2021) días de iniciada la experiencia, mediante un permeámetro de carga constante en muestras sin disturbar obtenidas con cilindros (Gavande, 1972). De cada cilindro donde se determinó la k, se calculó la porosidad total (PT). La resistencia a la penetración (RP) se determinó mediante un penetrómetro de golpe (O' Sullivan et al., 1987) a intervalos de 10 cm hasta los 40 cm de profundidad. Considerando que la RP varía en función al contenido de agua del suelo se realizaron determinaciones a fin de obtener los valores de RP con diferentes contenidos de agua del suelo.

Los valores de DA, k, PT, DAM y HC se presentan en la Tabla 1

TABLA 1 / TABLE 1

Arcilla (%), limo (%), arena (%), materia orgánica (MO, %), índice de materia orgánica (IMO), densidad aparente (DA, Mg m⁻³), conductividad hidráulica (k, mm h⁻¹), porosidad total (PT, %), densidad aparente máxima (DAM, Mg m⁻³), humedad crítica (HC, %). / Clay (%), silt (%), sand (%) organic matter (MO, %), organic matter index (IMO), bulk density (DA, Mg m⁻³), hydraulic conductivity (k, mm h⁻¹), total porosity (PT, %), maximum bulk density (DAM, Mg m⁻³), critical moisture (HC %).

	Arcilla	Limo	Arena	MO	IMO
0-20 cm	8	38	54	2	4,6
	DA	K	PT	DAM	HC
0-20 cm	1,35	7,3	34,3	1,51	17,4

A los 60, 210, 540 y 900 días de haber pasado el descompactador se midió la infiltración mediante el método del anillo simple. Los infiltrómetros constan de un anillo metálico de 20,7 cm de diámetro interno por 11,8 cm de alto y 5 mm de espesor. El anillo se clavó hasta una profundidad de 6 cm y se aplicó el agua con un frasco invertido (frasco de Mariotte) graduado en mm de lámina, dejando una carga hidráulica de 1,0 cm de altura. Se hicieron lecturas de infiltración al minuto y cada 5 minutos hasta que la infiltración se estabilizó. Se registró la infiltración acumulada (mm) y la tasa de infiltración (mm hora⁻¹), fueron realizados 6 repeticiones por tratamiento.

Al momento de secado de los CC se determinó la biomasa aérea tomando una muestra de 0,25 m. por parcela, mediante cortes al ras del suelo. Además, se determinó biomasa de raíces cada 20 cm hasta el manto calcáreo (Frasier et al., 2016a). Las muestras (de biomasa aérea y raíces) fueron secadas a 105 °C de temperatura para la determinación del peso seco. El maíz con destino a silaje, se cortó con 40% de MS en una superficie de 2 m. El material vegetal fue secado a 105 °C de temperatura para la determinación del peso seco. La producción de granos (Rendimiento, kg ha⁻¹) de los cultivos de maíz y trigo fue determinada cosechando manualmente una superficie de 2 m. por parcela en el estadio de madurez fisiológica. Las muestras luego fueron trilladas con trilladora estacionaria.

En cada momento de siembra, secado de los CC, corte de maíz para silaje y cosecha de maíz y trigo, se determinó el contenido de humedad (método gravimétrico) cada 20 cm hasta los 60 cm de profundidad, debido a la presencia del manto calcáreo.

Se calculó el uso consuntivo de agua en mm (UC) del CC previo al cultivo de maíz y trigo (López & Arrue, 1997) y la eficiencia en la utilización del agua (EUA, kg MS mm⁻¹ ha⁻¹) mediante el cociente entre la materia seca aérea/rendimiento y el UC de los respectivos cultivos y la eficiencia de barbecho (EB) mediante la metodología de Mathews & Army (1960).

Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA utilizando modelos lineales mixtos para cada temporada y las diferencias entre medias a través del test de Tukey (p<0,10), utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia de barbecho

La eficiencia de barbecho (EB) se presenta en la Figura 1 e indica la proporción de la cantidad de agua de las precipitaciones que es almacenada en el suelo y estaría disponible para el cultivo sucesor. En el año 2020, en los tratamientos T y D considerando un barbecho largo (desde el 22/4 al 13/12/2020) la EB fue negativa para T y del 1% para D, lo que significa que las precipitaciones ocurridas durante el mismo (426 mm) no lograron ser almacenadas en el perfil del suelo en el T y solamente 5 mm quedaron almacenados en el suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz en D. Si consideramos un barbecho corto en los tratamientos que tuvieron CC, desde el momento que se aplicó herbicida hasta la siembra del maíz (17/9 al 13/12/2020) las lluvias registradas fueron 217 mm y la EB fue del 11,3 y 22,3 % para CC y D CC, respectivamente. Esto significa que 24 mm en CC y 48 mm en D CC quedaron almacenados en el suelo para el cultivo de maíz. Las mayores EB en los tratamientos con CC, estarían relacionadas al efecto positivo que tienen los residuos sobre la superficie del suelo en almacenar el agua de las precipitaciones (Baigorria et al., 2019; Carfagno et al., 2013; Miranda et al., 2012). La reducción de la evaporación en momentos donde la demanda atmosférica es alta, entre otros factores por sombreado del suelo y menor temperatura, y la mejora en la captación del agua, han sido clave para una mayor EB. Estudios previos mostraron que las eficiencias de barbecho más altas correspondieron a suelos con alto nivel de cobertura de residuos (47%) y valores negativos fueron encontrados en situaciones de suelos completamente desnudos (Baigorria et al., 2019; Fernández et al., 2020a; Ponce et al., 2020).

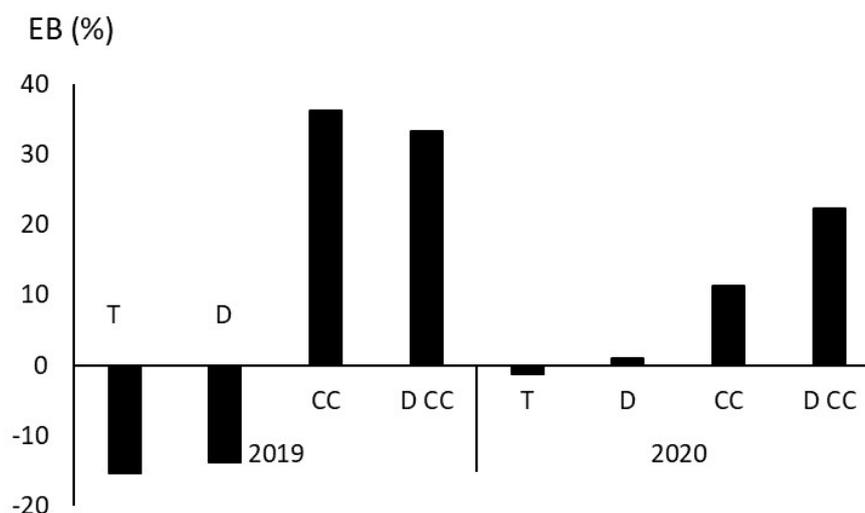


FIGURA 1 / FIGURE 1

Eficiencia de barbecho (EB) para el cultivo de verano, en los diferentes tratamientos. T: testigo, D: subsolador, CC: cultivo de cobertura, D+CC: subsolador y cultivo de cobertura. / *Fallow efficiency (EB) for summer crop in different treatments. Control (T), decompaction (D), cover crop (CC) and decompaction plus cover crop (D CC).*

Contenido de agua en el suelo

El 16/10/2019, momento en que se terminó/finalizó el CC, el contenido hídrico se encontraba debajo del punto de marchitez (PMP) en todos los tratamientos. Al momento de la siembra del cultivo de maíz (4/12/2019), T y D no lograron recargar el perfil de suelo, pero se observa un aumento significativo en la

cantidad de agua donde hubo CC con respecto de la fecha de su secado. Para el 22/4 los valores de agua se encontraron cerca de capacidad de campo (CCa) en todos los tratamientos. Se puede observar que durante el segundo y tercer año de experiencia (2020 y 2021, respectivamente) los contenidos de agua en los diferentes manejos fueron superiores y cercanos a CC en todos los momentos evaluados, indicando una mejora en las precipitaciones con respecto al primer año (2019).

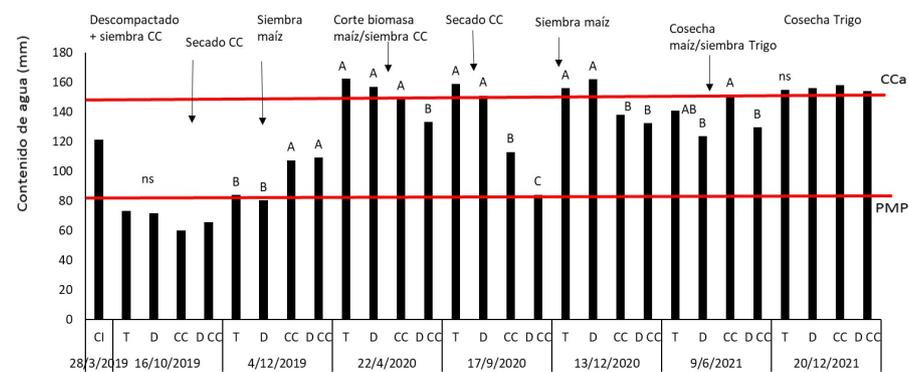


FIGURA 2 / FIGURE 2

Contenido de agua desde inicio de la experiencia. Contenido inicial (CI). Testigo (T). Descompactado (D). Cultivo de cobertura (CC). Descompactado + cultivo de cobertura (D CC). CC: capacidad de campo y PMP: punto de marchitez permanente. Letras diferentes entre tratamientos en cada fecha, indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,10$) / *Water content at the beginning of the experiment. Initial content (CI). Control (T), decompaction (D) cover crop (CC) and decompaction plus cover crop (D CC). CCa: field capacity and PMP: permanent wilting point. Different letters between treatments on each date indicate statistically significant differences ($p < 0.10$)*

Producción de biomasa, grano y EUA

La producción de biomasa de triticale en 2019 (CC: 2224 kg ha⁻¹ y D CC: 2626 kg ha⁻¹) y avena en 2020 (CC: 4965 kg ha⁻¹ y D CC: 6787 kg ha⁻¹) utilizados como cultivos de cobertura fue mayor en el tratamiento donde previamente se utilizó el descompactador, registrando diferencias entre estos tratamientos ($p < 0,04$ y $p < 0,06$, respectivamente). Esta mayor producción resultó en un incremento del 18 y 37 %, respectivamente.

Las bajas precipitaciones desde la siembra del CC hasta su secado durante el 2019 (130 mm) sumado a la elección del material (ciclo largo) condicionaron la baja producción de biomasa de triticale utilizado como CC. El uso consuntivo fue 153 y 163 mm para CC y D CC, respectivamente. En cambio, las mayores precipitaciones en el 2020 (320 mm desde la siembra a secado del CC), propiciaron mayor producción de biomasa y UC, que resultó de 355 y 369 mm para CC y D CC, respectivamente. Si bien el CC en el manejo descompactado tuvo mayor UC, la mayor producción de biomasa le permitió generar una mayor eficiencia en el uso del agua (EUA), presentando diferencias ($p < 0,10$) en ambos años de estudio. Las EUA fueron de 14,5 y 16,1 kg mm⁻¹ ha⁻¹ para CC y D CC, respectivamente en el 2019 y resultaron de 14 y 18 kg mm⁻¹ ha⁻¹ para CC y D CC en el 2020. Colazo et al. (2020) en dos suelos de texturas contrastantes evaluaron la producción de CC y obtuvieron resultados similares de incremento de biomasa en respuesta a la descompactación.

Los rendimientos relativos (RR) de los cultivos de maíz con destino a silo (campana 2019/2020), maíz con destino a grano (campana 2020/2021) y trigo (2021) se presentan en la Figura 3. Los RR del maíz para silo (campana 2019-2020) a los 360 días de pasado el descompactador fue del 37% superior con respecto al T. Mientras que, la combinación entre la D CC arrojó un 132% más de producción de biomasa de maíz. El tratamiento CC utilizado como descompactador biológico mejoró un 108% respecto al T, sin diferencias significativas con D CC. Para el maíz con destino a grano (campana 2020-2021) cosechado a los 760 días

desde que se pasó el descompactador, los RR también fueron positivos con relación al T, aunque de menores magnitudes con respecto al año anterior. En este punto es importante resaltar que los destinos fueron diferentes (silo-grano) y ello pudo haber tenido influencia en la respuesta del cultivo. Los tratamientos D y CC rindieron en promedio un 15 y 49% más, mientras que el tratamiento D CC rindió un 68% más, con respecto a T, éstas respuestas fueron significativas ($p < 0,10$). Para el cultivo de trigo (2021) cosechado a los 940 días de pasado el descompactador no se observaron diferencias en el rendimiento en los tratamientos T, D y CC, mientras que el tratamiento D+CC rindió un 19% más que el T.

Estos resultados son promisorios e indicarían un efecto residual positivo sobre los rendimientos de los diferentes cultivos de la rotación a los 2 años y medio desde que se descompactó (3 cultivos principales). Estas diferencias de rendimiento no siempre tienen lugar dado que bajo condiciones climáticas favorables se puede minimizar el efecto negativo de la compactación. Al respecto, Sadras et al. (2005), concluyeron que, aunque se produzcan cambios en el grado de compactación del suelo y más aún alteraciones en la abundancia radical de los cultivos, ello no implica necesariamente cambios en la producción ya que con precipitaciones adecuadas los beneficios inherentes a la práctica de descompactación no siempre se manifiestan. De esta manera resulta más probable obtener respuestas en Ustoles de la Región Semiárida Pampeana que en Udoles de la Región Subhúmeda Pampeana.

Las precipitaciones ocurridas para los tres cultivos principales de la rotación fueron de 234, 217 y 294 mm para el maíz 2019-2020, maíz 2020-2021 y trigo 2021, respectivamente. El promedio de los últimos 12 años para el mismo período de tiempo arroja valores superiores y fueron de 384, 390 y 312 mm.

La persistencia del efecto de la descompactación sobre la variable rendimiento que se encontró en nuestro trabajo, coincidió con varios trabajos publicados (Reeder et al. (1993); Vepraskas et al. (1995); Botta et al. (2010) y Soracco et al. (2015)). Estos autores indican que, si bien el suelo descompactado adquiere nuevamente un aumento en resistencia mecánica, se evidencia una diferencia de rendimiento que justificaría la labor aún dos años después de realizada. Busscher et al. (1986) en cambio sostienen que el efecto se manifiesta sólo en las etapas tempranas del crecimiento de raíces debido al reacondicionamiento posterior que sufre el suelo. No obstante, si bien existe reconsolidación posterior a la labranza, la misma no afecta el crecimiento radicular tanto como el testigo sin laboreo (Barber, 1994). Terminiello et al., (2007) encontraron que en el sector descompactado los efectos perduraron durante un ciclo de cultivo. También existen experiencias en alfalfa, donde la descompactación duplicó la producción (Perdomo et al., 2020) y en soja con 9% más de rendimiento que los suelos sin descompactar (Imvinkelried et al., 2019).

La utilización de CC como descompactador biológico proporcionaría un rompimiento más uniforme con respecto al descompactador mecánico (Alleoni, 1997 citado por Calonego et al., 2011), y la duración del efecto sería mayor (Araujo et al., 2004). No obstante, el éxito de su utilización depende de la selección de las especies con capacidad de descompactación (Ríos & Estigarribia, 2018). Imhoff et al. (2010), Imvinkelried et al. (2019) y Fernández et al. (2020) remarcan que rotaciones más diversificadas y con mayor proporción de gramíneas presentan una mejor condición física, mejorando la proporción de poros y con ello la estabilidad del suelo.

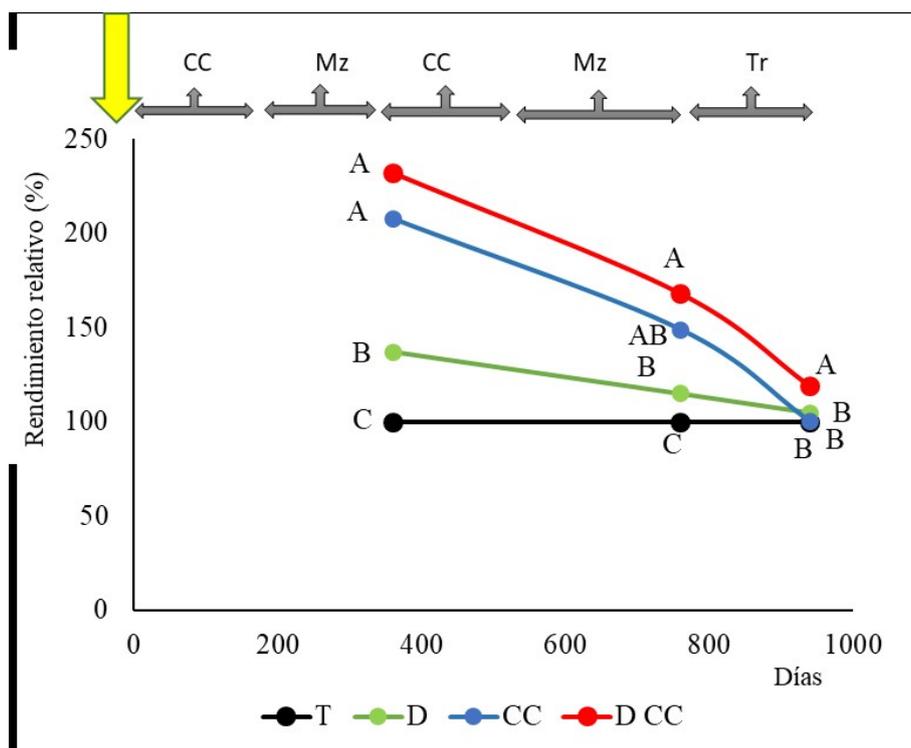


FIGURA 3 / FIGURE 3

Rendimiento relativo del maíz para silo a los 360 días de pasado el descompactador (2019-2020), maíz de grano a los 760 días de pasado el descompactador (2020-2021) y del trigo a los 940 días de pasado el descompactador (2021). Testigo (T), descompactado (D), cultivo de cobertura (CC) y descompactado + CC (D CC). La flecha con la letra D, indica el momento que se pasó el descompactador. Letras distintas en cada fecha indican diferencias significativas ($p < 0,10$). / *Relative corn yield for silage at 360 days after decompaction (2019-2020), grain corn at 760 days after decompaction (2020-2021) and wheat at 940 days after decompaction (2021). Control (T), decompaction (D), cover crop (CC) and decompaction plus cover crop (D CC). The arrow with the letter D indicates the moment the soil alleviation. Different letters on each date indicate statistically significant differences ($p < 0.10$)*

Las EUA fueron significativamente superiores en maíz con destino a silo y grano en aquellos tratamientos donde el CC estuvo presente (CC y D CC). Para el trigo solo se encontró diferencias significativas en D CC (Tabla 2). Si bien no se presentan datos, se encontró mejor uniformidad en los cultivos de maíz en los tratamientos CC y D CC y en consecuencia menor incidencia de malezas.

TABLA 2 / TABLE 2

Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de maíz 2019/2020 (silo) y 2020/2021 (grano). Trigo (grano) durante 2021. Testigo absoluto (T), descompactado (D), cultivo de cobertura (CC) y descompactado + CC (D CC). / *Consumptive water use (UC) and water use efficiency (EUA) of the corn crop 2019/2020 (silage) and 2020/2021 (grain). Wheat (grain) during 2021. Control (T), decompaction (D), cover crop (CC) and decompaction plus cover crop (D CC).*

	Variable	T	D	CC	DCC
Maíz (silo)					
2019/2020	UC (mm)	307	296	332	349
	EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	20 C	28 B	39 A	41 A
Maíz (grano)					
2020/2021	UC (mm)	317	340	290	305
	EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	4,9 C	5,2 B	8,0 A	8,5 A
Trigo (grano)					
2021	UC (mm)	269	279	252	258
	EUA (kg mm ⁻¹ ha ⁻¹)	11,2 B	11,9 B	11,5 B	13,4 A

Nota: Letras distintas entre tratamientos dentro de cada año y variable indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,10$).

La tasa de infiltración básica relativa, medida a los 60 días de haber pasado el descompactador presentó un amplio rango de variación. En todos los tratamientos se registraron valores muy altos y mayores al testigo (Figura 4). En el tratamiento D se observó la mayor IB relativa, que luego disminuyó hasta los 540 días, a partir del cual la tasa se mantuvo relativamente constante hasta la última medición que fue a los 900 días. Con respecto al tratamiento D CC, a los 60 días de pasado el descompactador presentó menor valor con diferencias estadísticas con respecto a D. Estos resultados reflejan el efecto del peso de la maquinaria y su incidencia en la recompactación por el tráfico en suelos descompactados. No obstante, el valor de IB fue muy alto. A los 540 y 900 días de pasado el descompactador los valores relativos de IB entre D y D CC fueron similares y superiores al T presentando diferencias significativas. Con respecto al tratamiento CC, presentó los valores de IB más estables a través del tiempo. Si bien estos valores en general son menores, con respecto a D y D CC, los mismos son superiores al T aunque se observó una caída en la IB en la última medición. Esto puede ser debido a que el efecto de la contribución de los CC es de poco tiempo (dos años) y además el CC del año 2019 presentó baja producción de biomasa aérea y en consecuencia también escasa biomasa de raíces. No obstante, la presencia de raíces resultó variable e influenciada positivamente por la descompactación. Mientras que la biomasa de raíces remanente en los primeros 0-60 cm (debido a la presencia del manto calcáreo) de los cultivos en el tratamiento T fue de 278 kg ha⁻¹ resultó muy superior en el tratamiento CC (2781 kg ha⁻¹) y más aún en D CC (3601 kg ha⁻¹). Estas diferencias resultarían relevantes teniendo en cuenta que las raíces pueden penetrar capas endurecidas que al descomponerse crean poros estables formando bioporos abiertos, los cuales pueden ser utilizados por las raíces de cultivos posteriores (Torres-Guerrero et al., 2013).

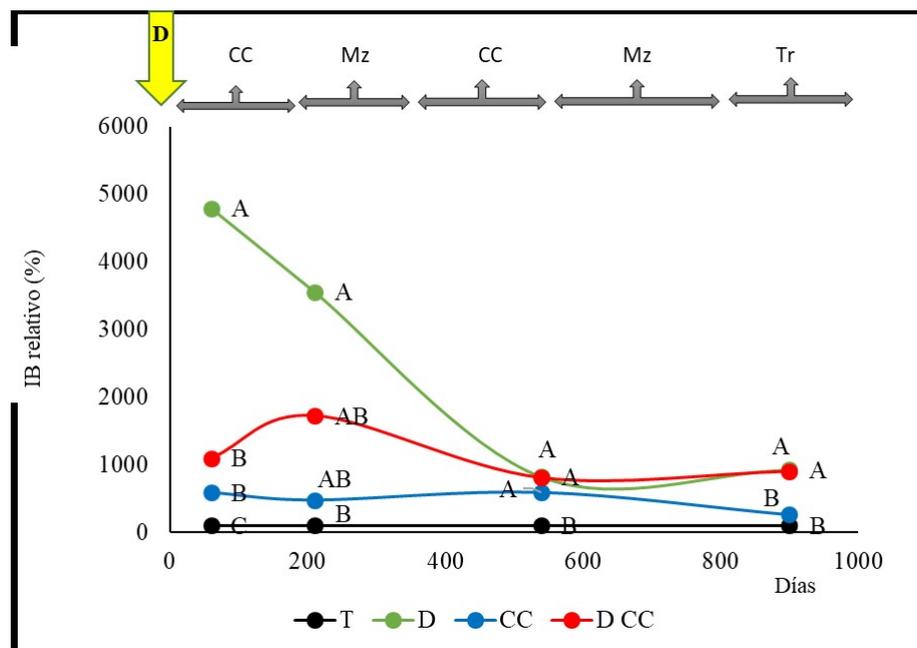


FIGURA 4 / FIGURE 4

Tasa de infiltración básica (IB) relativa a los 60, 210, 540 y 900 días de pasado el descompactador. Testigo (T), descompactado (D), cultivo de cobertura (CC) y descompactado CC (D CC). La flecha con la letra D, indica el momento que se pasó el descompactador. Letras distintas en cada fecha indican diferencias significativas ($p < 0,10$). / *Relative basic infiltration rate (IB) to 60, 210, 540 and 900 days after decompaction. Control (T), decompaction (D), cover crop (CC) and decompaction plus cover crop (D CC). The arrow with the letter D indicates the moment the decompaction. Different letters on each date indicate significant differences ($p < 0.10$).*

En experiencias de descompactación, Zaniboni (2015) en un Haplustol típico y Rovera et al. (2013) en un Haplustol údico, observaron que la profundidad del frente de humedecimiento de la lámina aplicada en ensayos de infiltración fue aproximadamente el doble en situaciones con descompactación respecto a las que no tuvieron esta labranza. Álvarez et al. (2006) evaluando la perdurabilidad de un ensayo de descompactación mediante la medición de la infiltración en dos suelos Francos y un suelo Franco arenoso, reportaron que la misma duró un ciclo de cultivo. Este efecto de corto plazo podría atribuirse a que la macroporosidad creada por el implemento mecánico fue inestable, y el efecto se revirtió por el reacomodamiento de los agregados y de las partículas del suelo. Perdomo et al. (2020) a dos años de realizado la descompactación con subsolador, encontraron diferencias significativas entre infiltración básica de un suelo descompactado y sin descompactar, pero las magnitudes de los valores fueron muy similares entre ambos tratamientos.

Las labores de descompactación impactan sobre la redistribución del agua que ingresa al perfil, contribuyendo a su almacenamiento y posterior captación por las raíces, disminuyendo su pérdida por evaporación y escurrimiento (Cholaky & Bonadeo, 2018). Los resultados de nuestro trabajo coinciden parcialmente con lo expuesto, ya que en las EB del tratamiento D fueron negativas (año 2019), reflejando pérdidas de agua por evaporación debido a las fisuras mecánicas generadas por el implemento. Si bien el ingreso del agua fue muy alto (Figura 5), también lo serían las pérdidas.

De acuerdo a los resultados se puede inferir, que un suelo con inadecuadas condiciones físicas puede ser modificado temporalmente, a través de la descompactación con un subsolador, mejorando entre otros aspectos, la captación del agua a partir de una mayor porosidad y conductividad hidráulica (k). La Figura 5 muestra la variación en profundidad y temporal de la k comprobándose un importante efecto inmediato de la acción mecánica y una disminución significativa de la misma en los 930 días posteriores exponiendo

la baja residualidad de la práctica sobre este indicador cuando es utilizada sin CC. La inclusión de CC como complemento de la acción mecánica dio lugar a una mayor residualidad manteniendo valores de k significativamente mayores.

A los 510 días de iniciada la experiencia se registraron mayores valores de k en los tratamientos de descompactación respecto de la condición inicial (2019) y del T, con diferencias significativas ($p < 0,10$) en 0-6 y 6-12 cm de profundidad (Figura 5a). Evaluaciones realizadas a los 930 días, indicaron que solamente el tratamiento que combina la acción mecánica y biológica logró mayores valores de k respecto del resto de los tratamientos con diferencias significativas ($p < 0,10$), a excepción del estrato de 6-12 cm donde CC registró los mayores valores (Figura 5b). Coincidiendo con la mayoría de los estudios, se comprobó que la descompactación mecánica sin CC alcanzó los valores del tratamiento T sin descompactar a los 930 días en todos los estratos del perfil de suelo

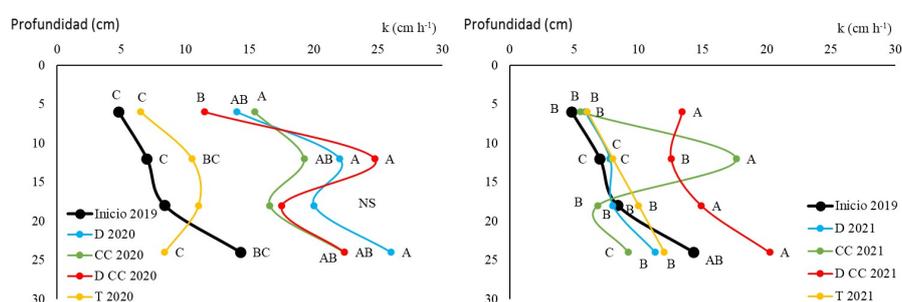


FIGURA 5 / FIGURE 5

Conductividad hidráulica (k), a) al inicio de la experiencia (Inicio 2019) y en octubre de 2020 (510 días) y b) en octubre de 2021 (930 días), en testigo (T), descompactado (D), cultivo de cobertura (CC) y descompactado+ cultivo de cobertura (D CC). Letras distintas en cada profundidad indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,10$). / Hydraulic conductivity (k), a) at the beginning of the experiment (Inicio 2019) and in October 2020 (510 days) and b) in October 2021 (930 days), in control (T), decompactation (D), cover crop (CC) and decompactation + cover crop (D CC). Different letters on each deep indicate statistically significant differences ($p < 0,10$).

Los efectos registrados en este estudio pueden variar significativamente de acuerdo con la proporción de arcillas y su mineralogía. En el caso del Paleustol petrocálcico, con alto contenido de arena fina y limo, la baja concentración de arcilla y materia orgánica conducen a condiciones de alta susceptibilidad a la compactación. Además, la presencia de minerales de illita como tipo dominante de arcilla, no predispone a procesos de expansión-contracción, lo que ayudaría a revertir la compactación (Cholaky & Bonadeo, 2018).

CONCLUSIONES

En Paleustoles petrocálcicos de la Región Semiárida Pampeana con indicios de compactación existiría un efecto positivo de los CC tanto para la producción de maíz para silo y para grano. El efecto de los CC se debería a una mayor EB respecto a los suelos con barbecho químico o a aquellos solo con descompactación por subsolado. La descompactación por subsolado produciría grandes incrementos en la IB durante el primer año, disminuyendo de forma significativa posteriormente. Tanto la descompactación como la inclusión de CC produciría aumentos en la EUA durante los dos primeros años, disminuyendo su efecto en el tercero. La inclusión de una descompactación mecánica asociado a CC permitiría incrementar la captación de agua de lluvia, mayor presencia de raíces, incrementar el rendimiento de los cultivos y aumentar la EUA durante tres campañas. Esta sería la estrategia más perdurable en el tiempo y con mayores beneficios, bajo las condiciones del presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al establecimiento “La Carlota” y especialmente a Javier Sewald por el apoyo recibido para que la experiencia siga adelante y a Susana Paredes de la AER Guatraché.

Los autores agradecen a los siguientes proyectos de INTA por aportar los fondos para el desarrollo de la experiencia: PIT I062, RIST I-503, PE I052, PE I042 y PE I011.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, C.R., Taboada, M.A., Bustingorri C., & Gutiérrez Boem F.H. (2006). Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo* 24, 1-10.
- Araujo, M., Tormena, C., Inoue, T., & Costa, A. (2004). Efectos de escarificación en la calidad física de un Latossolo Vermelho distroférico después de trece años de siembra directa. *Revista Brasileira de Ciencia del Suelo, Viosa*. 28, 495- 504.
- Baigorria, T., Álvarez, C., Cazorla, C., Belluccini, P., Aimetta, B., Pegoraro, V., Boccolini, M., Conde, B., Faggioli, V., Ortiz, J., & Tuesca, D. (2019). Impacto ambiental y rolado de cultivos de cobertura en producción de soja bajo siembra directa. *Cienc. Suelo* 37, 355-366.
- Barber, R.G. (1994). Persistence of loosened horizons and soybean yield increases in Bolivia. *Soil Science Society of America Journal* 58, 943-950.
- Botta, G., Jorajuria, D., Rosatto, H., & Ferrero, C. (2006). Light tractor traffic frequency on soil compaction in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Till. Res.* 86, 9-14.
- Botta, G.F., Tolon-Becerra, A., Lastra-Bravo, X., & Tourn, M. (2010). Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yields in Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 110, 167–174.
- Busscher, W.J., Sojka, R.E., & Doty, C.W. (1986). Residual effects of tillage on Coastal Plain soil strength. *Soil Science* 141, 144-148.
- Calonego, J., Gómez, T., Dos Santos, H., & Tiritan, C. (2011). Desenvolvimento de plantas de cobertura en suelo compactado. *Bioscience Journal, Uberlandia*, 27, 289-296.
- Carfagno, P., Eiza, M., Babinec, F. & Quiroga, A. (2013). Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de Hapludoles y Haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. En: Álvarez, C., Quiroga, A., Diego, S. & Bodrero, M. (Eds.). *Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad de los sistemas de producción*. Capítulo 6, 36-49. Ediciones INTA.
- Cholaky, C., & Bonadeo, E. (2018). Compactación de suelos en el centro-sur de Córdoba: causas, consecuencias y manejo. En: Imbellone, P., Alvarez, C. (Eds.). *Compactaciones naturales y antrópicas en Suelos Argentinos*. Capítulo 12, 375:414. Ediciones AACCS. ISBN 978-987-46870-1-2
- Colazo, J., de Dios Herrero, J.M., Lorenzo, S., Bertola, F., & Becerra R. (2020). Combinación de estrategias mecánicas y biológicas de descompactación en dos suelos de textura contrastante. XXII Congreso AACCS.
- Denef, K., & Six, J. 2005. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *Eur. J. Soil Sci.* 56, 469-479.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2017). Infostat - Software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [WWW Document]. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernández, R. (2018). Valores de línea de base para evaluar la degradación en Molisoles de la Región Semiárida Pampeana. Tesis doctoral UNSur.
- Fernández, R., Alvarez, C., Eggmann Owen, E., & Quiroga, A (2020a). Efecto del uso de cultivo de cobertura en una secuencia de soja continua en la Región Semiárida Pampeana. *SEMIÁRIDA* 30, 37-49. [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2020\(02\).3749](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2020(02).3749).

- Fernández, R., Furch, N., Bissolino, M., Frasier, I., Sherger, E., & Quiroga, A. (2020b). Contribución de las pasturas perennes en la fertilidad física y biológica en Molisoles de la Región Semiárida Pampeana. *Cienc. Suelo* 38, 1-16.
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Funaro, D., Montoya, J., Hitzmann, B. & Peinemann, N. (2008). A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agric. Water Manage.* 95, 1028-1040.
- Frasier, I; E Noellemeyer; R Fernández & A Quiroga. (2016a). Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX Journal* 3: 513-519.
- Frasier, I., Quiroga, A., & Noellemeyer, E. (2016b). Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562, 628–639.
- García-González, I., Chiquinquirá, H., Gabriel, J., Alonso-Ayuso, M., & Quemada M. (2018). Cover crops to mitigate soil degradation and enhance soil functionality in irrigated land. *Geoderma* 322, 81-88.
- Gavande, A. (1972). *Física de suelos, principios y aplicaciones*. Ed. LIM USA. pp 351.
- Głąb, T. (2014). Effect of soil compaction and N fertilization on soil pore characteristics and physical quality of sandy loam soil under red clover/grass sward. *Soil Till. Res.* 144, 8–19.
- Gregory, P. J. (2006). Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? *Eur. J. Soil Sci.* 57: 2-12
- Hamza, M., & Anderson, W. (2005). Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82, 121 - 145.
- Imhoff, S., Ghiberto, P. J., Grioni, A., & Gay, J. P. (2010). Porosity characterization of Argidolls under different management systems in the Argentine Flat Pampa. *Geoderma* 158, 268–274. doi:10.1016/j.geoderma.2010.05.005.
- Imhoff, S; A Pires da Silva; P Ghiberto; CA Tormena; M Pilatti & P Libardi. (2016). Physical quality indicators and mechanical behavior of agricultural soils of Argentina. *Plos One* 1-21.
- Imvinkelried, H. O, Pietrobón, M., Dellaferrera, I., & Imhoff, S. (2019). Efecto de la descompactación del suelo sobre las propiedades físicas y el rendimiento de trigo y soja. *Cienc. Suelo.* 37, 1-10.
- Klute, A., & Klute, A. (1986). Water Retention: Laboratory Methods, En: *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*. Soil Sci. Soc. Am. and Am. Soc. Agron. 635-662.
- Lopez, M., & Arrue, J. (1997). Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Till. Res.* 44: 35-54.
- Maineri, D. 2020. Pisoteo del suelo por el tráfico de la maquinaria agrícola en suelos bajo labranza convencional. Trabajo Final de aplicación para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. UNLuján. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/934/MAINERI%20TFA%20MAQUINARIA%20FINALIZADO.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Mathews, O., & Army, T. (1960). Moisture storage on fallow wheatland in the Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 414–418.
- Miranda, W., Scianca, C., Barraco, M., Álvarez, C. & Lardone, A. (2012). Cultivos de cobertura: dinámica del agua luego de dos momentos de secado. XIX Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, (Buenos Aires), Argentina.
- Perdomo, L. I., Rollhauser, M., Melani, E., Guilino, F., Mónica Draghi, L., Jorajuría, D., Oliverio Sarli G., Villarreal, R., Lozano, L., Soracco, C. G., García, M., & Palancar, T. (2020). *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata.* 119, 1-7.
- Ponce, J., P, Siliquini, O., & Fernández, R. (2020). Cultivos de cobertura como antecesor de zapallo anco en la Región Semiárida Pampeana. *Semiárida.* 30, 51-61. [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2020\(02\).5161](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2020(02).5161)
- Quiroga, A., Oderiz, A., Uhaldegaray, M., Alvarez, C., Scherger, E., Fernández, R., & Frasier, I. (2016). Influencia del manejo sobre indicadores físico-hídricos de compactación de suelos. *Semiárida.* 26, 21-28.
- Reeder, R.C., Wood, R.K., & Finck, C. L. (1993). Five subsoiler designs and their effects on soil properties and crop yields. *Trans. ASAE* 36, 1525–1531.

- Ríos, D. & Estigarribia, A. (2018). Descompactación biológica, una alternativa de solución a la compactación del suelo. *Rev. Investig. Cient. Tecnol. Universidad Privada María Serrana (Asunción)*. 2, 73-83
- Rovera, J. J. (2013). Efecto del sistema de labranza y de la dirección de siembra sobre el escurrimiento e infiltración del agua en un Haplustol údico y su impacto sobre el rendimiento del cultivo. Trabajo final de grado, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC, Argentina.
- Sadras, V. O., O'Leary, G. J., & Roget D. K. (2005). Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. *Field Crops Res.* 91,131-148.
- Sasal, M.C., Andriulo, A., Taboada, M.A. (2006). Soil porosity characteristics on water dynamics under direct drilling in Argiudolls of the Argentinean Rolling Pampas. *Soil Till. Res.* 87, 9–18.
- Soracco, C. G., Lozano, L. A., Villarreal, R., Palancar, T. C., Jorajuria Collazo, D., Oliveiro Sarli, G. & Filgueira R. R. (2015). Efeito da compactação do solo pelo tráfego de máquinas na configuração dos poros do solo. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo.* 39, 408-415
- Stengel P., Douglas P., Guerif, J. T., Goss, M. J., Monnier, M., & Cannell R. Q. (1984). Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil Till. Res.* 4, 35-53.
- Terminiello, A., Hilbert, J., Claviere, J., Palancar, T., Draghi, L., Balbuena, R., & Jorajuria, D. (2007). Persistencia del efecto del escarificado en un suelo Argiudol típico bajo siembra directa. CADIR, Córdoba, Argentina.
- Torres-Guerrero, Etchevers, B., Jorge, D., Fuentes-Ponce, M., Govaerts, B., De León-González, F., Herrera, J. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Cienc. Suelo. 31, 71-84
- Vepraskas, M. J., Busscher, W. J. & Edwards J. H. (1995). Residual effects of deep tillage vs. no-tillage corn root growth and grain yield. *Journal of Production Agriculture* 8, 401-405
- Yadav, M. R., Parihar, R.K., Yadav, S.L., Jat, A.K., Singh, H., Ram, R.K., Meena, M., Singh, V.K., & Meena, N. (2017). Conservation Agriculture and Soil Quality. An Overview. *Int.J.Curr.Micro- biol.App.Sci*, 6, 1-28.
- Zaniboni, R. (2015). Efecto de la descompactación subsuperficial y tránsito de maquinarias sobre variables hidrofísicas del suelo y la producción de maíz. Trabajo final de graduación, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC, Argentina.