

## Comunicación

### Cultivos de cobertura en sistemas ganaderos: producción de biomasa y efectos sobre el suelo

Uhaldegaray, Mauricio Gastón <sup>1,@</sup> , Fernández, Romina <sup>1,2,</sup> , Kloster, Nanci <sup>1,2,</sup>  yQuiroga, Alberto Raúl <sup>1,2,</sup> <sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Anguil. La Pampa, Argentina<sup>2</sup> Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía. La Pampa, Argentinae-mail: [uhaldegaray.mauricio@inta.gov.ar](mailto:uhaldegaray.mauricio@inta.gov.ar)

Recibido: 16/11/2023

Aceptado: 10/10/2024

**Resumen.** La inclusión de verdes como cultivos de cobertura (CC) en rotaciones con alta frecuencia de silo resulta estratégico para generar cobertura, reducir procesos de erosión y mejorar el balance de materia orgánica en el suelo. El objetivo fue evaluar los efectos por la inclusión de CC de centeno y vicia durante 7 años, sobre la densidad aparente e infiltración de agua en el suelo en un sistema ganadero con alta frecuencia de silaje de maíz. Se establecieron como tratamientos un barbecho sin CC (T), centeno (Ce), centeno fertilizado (Ce+N), vicia (V) y consociación de vicia con centeno (Vce). Los CC fueron sembrados entre cultivos de maíz que se destinaron a silaje. Los CC de Ce+N y Vce se destacaron por alcanzar la mayor producción de biomasa acumulada durante 7 años, siendo 41.034 y 39.361 kg materia seca (MS) ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La producción de biomasa aérea acumulada en el cultivo de maíz fue mayor en los tratamientos que incluían CC, respecto al tratamiento sin CC. La inclusión de CC afectó la densidad aparente del suelo, presentando menor valor en comparación al tratamiento sin CC. El tratamiento Ce presentó mayor infiltración de agua en el suelo (148 mm h<sup>-1</sup>) que V (118 mm h<sup>-1</sup>), y ambos se diferenciaron significativamente del T (73 mm h<sup>-1</sup>).

**Palabras clave:** centeno; vicia; maíz para silaje; infiltración.

**Abstract. Cover crops in livestock systems: biomass production and effects on soil.** The inclusion of green fodder as cover crops (CC) in rotations with high silage frequency is strategic to generate cover, reduce erosion processes and improve the balance of organic matter in the soil. The objective was to evaluate the effects of the inclusion of CC of rye and vetch for 7 years, on the apparent density and water infiltration in the soil in a livestock system with high frequency of corn silage. The treatments were established as a fallow without CC (T), rye (Ce), fertilized rye (Ce+N), vetch (V) and consociation of vetch with rye (Vce). The CC were sown between corn crops that were destined for silage. The CC of Ce+N and Vce stood out for reaching the highest production of accumulated biomass during 7 years, being 41,034 and 39,361 kg dry matter (MS) ha<sup>-1</sup>, respectively. The production of accumulated aboveground biomass in the corn crop was higher in the treatments that included CC, compared to the treatment without CC. The inclusion of CC affected the soil bulk density, being lower compared to the T situation. The Ce treatment presented greater water infiltration in the soil (148 mm h<sup>-1</sup>) than V (118 mm h<sup>-1</sup>), and both were significantly different from T (73 mm h<sup>-1</sup>).

**Key words:** rye; vetch; corn for silage; infiltration.

## INTRODUCCIÓN

En la Argentina, durante los últimos años se ha avanzado en el desarrollo de sistemas ganaderos para la producción de carne y leche, donde cultivos de gramíneas como maíz, sorgo, mijo y moha con el propósito de cosecha de grano resultan claves en el balance de materia orgánica (MO) compensando los menores aportes de residuos de las oleaginosas (girasol, soja, maní), están siendo destinados a la confección de reservas forrajeras (rollos, silaje). La cosecha mecánica de forraje contempla la extracción total de la biomasa aérea y por consiguiente los nutrientes contenidos en la

misma, con el posterior traslado a los corrales de encierre para alimentar el ganado bovino. Reyes (2021) señala que “los feedlots ganan cada vez mayor espacio en la búsqueda de intensificar la producción”. Por otra parte, esta situación trae también consecuencias negativas sobre las propiedades físicas del suelo (Quiroga et al.,

#### Cómo citar este trabajo:

Uhaldegaray, M. G., Fernández, R., Kloster, N. y Quiroga, A. R. (2025). Cultivos de cobertura en sistemas ganaderos: producción de biomasa y efectos sobre el suelo. *Semiárida*, 35(1), 77-86.

2009), ya que la escasa cobertura remanente luego de la cosecha mecánica del forraje, favorece los procesos de erosión (principalmente eólica) en Entisoles de las Planicies Medanosas del este de La Pampa.

La degradación física de los suelos está estrechamente relacionada con la pérdida de carbono, especialmente de sus fracciones más lábiles. En este sentido, el deterioro se manifiesta como pérdida de la estructura del suelo (Cambardella & Elliot, 1992; Quiroga et al., 2009), la cual, además de favorecer procesos de erosión (Aimar et al., 2012; Colazo & Buschiazzi, 2010) afecta negativamente el movimiento del agua, la difusión de los gases y en consecuencia también la actividad biológica del suelo (Hakansson & Reeder, 1994).

En este contexto, los cultivos de cobertura (CC) en la rotación aparecen como una opción estratégica para cubrir el suelo, disminuir los procesos de erosión, y contribuir al balance positivo de materia orgánica por el aporte de carbono de su biomasa aérea y radical (Alvarez et al., 2013; Frasier et al., 2020). Además, los CC mediante sus raíces inducen cambios en las propiedades hidráulicas del suelo que son esenciales para mantener el equilibrio del ecosistema (Scanlan, 2009). Inciden favorablemente sobre la captación, almacenaje y eficiencia de uso del agua, contribuyendo a dar más sustentabilidad a los sistemas de producción.

En suelos con riesgo de exceso hídrico por presencia de napas cercanas a la superficie, los CC son capaces de utilizar parte de la misma y contribuir a que el ascenso de estas napas no genere un condicionante para el desarrollo de los cultivos. Situación que ocurre cada vez con mayor frecuencia en grandes superficies de la Argentina (Alsina et al., 2020; Jobbágy et al., 2008).

Las especies gramíneas, en general, producen abundantes cantidades de biomasa aérea y pueden capturar en ella una gran cantidad de nitrógeno proveniente del cultivo antecesor, como así también aquel que resulta por el proceso de mineralización de la materia orgánica del suelo durante el periodo otoño-invernal, debido a su sistema radical (Salmerón et al., 2010; Restovich et al., 2012). También favorecen la estabilización de agregados mejorando la aireación y permeabilidad (Restovich et al., 2011).

Las leguminosas se destacan por su capacidad para fijar nitrógeno proveniente de la atmósfera mediante la simbiosis que realizan con bacterias del género *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*. Además, acumulan una gran cantidad de nitrógeno en su biomasa, manteniendo una baja relación carbono/nitrógeno durante gran parte de su periodo de crecimiento. Considerando estas características, la consociación de ambas familias (gramíneas y leguminosas) podría potenciar las ventajas individuales e incidir positivamente sobre aspectos físicos y químicos de suelos bajo planteos ganaderos con alta frecuencia de silos. No obstante, el efecto acumulado de la inclusión de CC ha sido poco estudiado, requiriéndose ensayos de larga duración con tal finalidad. Si bien algunos estudios han comprobado efectos positivos de los CC sobre propiedades físicas (Haruna et al., 2020; Keisling et al., 1994; Villamil et al., 2006) otros no han registrado cambios (Carreker et al., 1968; Wagge & Denton, 1989) e incluso otros señalaron efectos negativos (Irmak et al., 2018).

En base a lo expuesto, se estableció como objetivo de trabajo evaluar los efectos por la inclusión de CC de centeno y vicia durante 7 años, sobre la densidad aparente e infiltración de agua en el suelo en sistemas ganaderos con alta frecuencia de silaje de maíz.

## METODOLOGÍA

### *Área de estudio y precipitaciones*

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil “Ing. Guillermo Covas” INTA (36°32'17,68" S; 63°59'38,53" O), ubicada en la localidad de Anguil, provincia de La Pampa, Argentina (Figura 1). Durante el periodo 2010/17 se evaluó el efecto de incluir CC entre cultivos de maíz destinados a silo, sobre un suelo Ustipsamment típico de textura arenoso-franco (87, 9 y 4 % de arena, limo y arcilla, respectivamente) perteneciente a la subregión de las Planicies Medanosas del Este de La Pampa. La precipitación media anual alcanza 750 mm y el sitio presenta

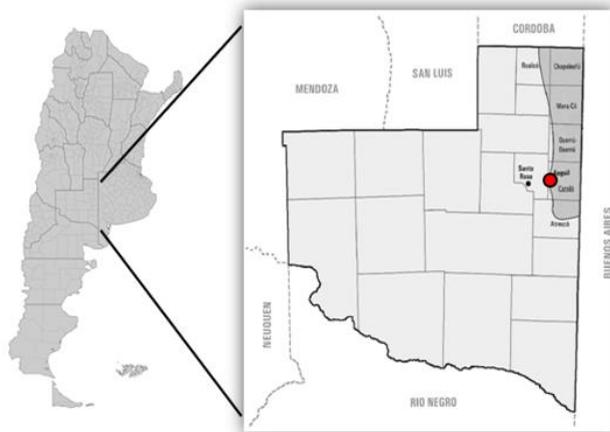


Figura 1. Localización de la experiencia (Área de estudio).

Figure 1. Location of the experience (Study area).

influencia de napa freática, la cual se localiza en un rango de profundidad que varía entre 1,5 y 3 m con agua de buena calidad (0,67 dS/m de conductividad eléctrica y pH 7,8).

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizado con cuatro réplicas en parcelas de 300 m<sup>2</sup> para cada uno de los tratamientos. El sistema consistió en una rotación de cultivos bajo siembra directa incluyendo vicia (*Vicia villosa*) y centeno (*Secale cereale* var. *Quehué*) como CC intercalados entre cultivos de maíz (*Zea mays* L.) destinados a la confección de silo.

Los tratamientos fueron CC centeno (Ce), CC centeno fertilizado (Ce+N), CC vicia (V), CC vicia más centeno (VCe) y un control sin CC (T).

Se estableció una densidad de siembra para los CC de 200 semillas viables m<sup>-2</sup> tanto para vicia como para centeno, y en la consociación se consideró una proporción de 40/60 de centeno y vicia, respectivamente. Para lograr esa densidad de siembra se utilizaron 60 kg ha<sup>-1</sup> de centeno y 20 kg ha<sup>-1</sup> de vicia. El distanciamiento entre hileras de siembra fue de 17 cm para alcanzar una distribución lo más homogénea posible. El tratamiento Ce+N consistió en la aplicación a la siembra de 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno en forma de urea granulada (46 % de nitrógeno). Las fechas de siembra y secado (químico) de los CC promediaron mayo y octubre, respectivamente.

La siembra del cultivo de verano para silo se realizó con un distanciamiento entre hileras de 52,5 cm y en dirección perpendicular a la siembra de los CC. El muestreo de biomasa aérea del cultivo de maíz se realizó en estado fenológico de grano pastoso (R4 - Ritchie & Hanway, 1982). Se cosechó el total de la superficie con una picadora simulando la práctica habitual de silaje.

### Determinaciones en suelo

Densidad aparente mediante el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986): al séptimo año de la experiencia sobre los distintos tratamientos, luego del secado de los CC. A partir de cilindros de 10 cm de altura y volumen conocido (650,4 cm<sup>3</sup>). Se tomaron 8 muestras sin disturbar por tratamiento para la profundidad de 0-10 y 10-20 cm. Los cilindros fueron llevados a estufa (105 °C) para alcanzar su peso constante.

Las determinaciones de infiltración se realizaron al séptimo año de la experiencia sobre los tratamientos sin CC (T), centeno (Ce) y vicia (V), al momento de secado de los CC. Se evaluó la tasa de infiltración, infiltración acumulada e infiltración básica mediante la utilización de 5

infiltrómetros de doble anillo (Método de Kostiakov descripto por Fernández et al., 1971), colocados equidistantes (5 m entre ellos) en cada parcela.

Bajo las condiciones de estudio resulta importante la utilización del infiltrómetro de anillo doble, ya que el segundo anillo externo “amortiguador” controla la sección de humedecimiento del anillo interior limitando el humedecimiento lateral y con ello, la sobreestimación de la infiltración.

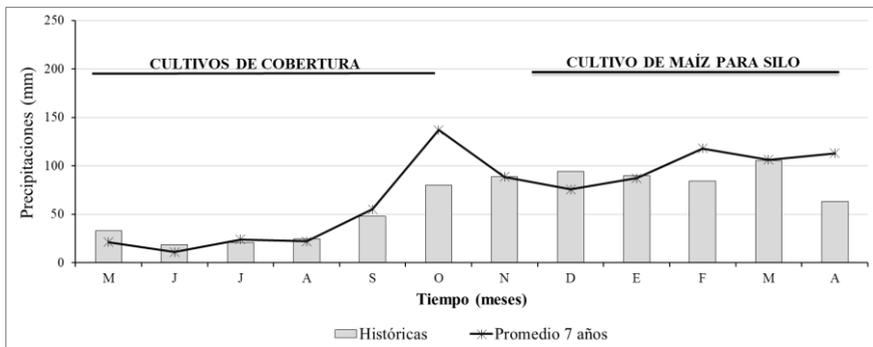
### **Determinaciones en cultivos**

Biomasa aérea sobre la finalización de los CC (secado químico): se tomaron 3 muestras por parcela con un aro de 0,25 m<sup>2</sup> de superficie, los cortes se llevaron a estufa de 60 °C por 72 hs hasta lograr su peso constante para determinar el contenido de materia seca (MS).

La biomasa aérea de maíz se determinó cuando el cultivo alcanzó el inicio de estado fenológico grano pastoso (R4 - Ritchie & Hanway, 1982), se cortaron las plantas de 2 hileras por 3 m lineales de cada tratamiento (3,15 m<sup>2</sup>) a 10 cm desde el suelo simulando la altura de corte de una picadora. El material se pesó en verde y luego se llevó a estufa de 60 °C por 72 hs para determinar el contenido de MS. Posteriormente se realizó el corte de todo el ensayo mediante picadora.

### **Caracterización de las precipitaciones**

El régimen de precipitaciones anuales para la región alcanza en promedio 750 mm, con una distribución predominante durante las estaciones de primavera y verano (Figura 2).



**Figura 2.** Precipitaciones medias históricas (1961/2017) y periodo de ensayo (2010/2017). La longitud de las líneas horizontales en la parte superior delimita el periodo de crecimiento de los cultivos de cobertura y del cultivo de maíz para silo.

**Figure 2.** Historical average rainfall (1961/2017) and experimental period (2010/2017). The length of the horizontal lines at the top delineate the growing season for cover crops and the corn silage crop.

Las lluvias acumuladas durante mayo a octubre (periodo de crecimiento de los CC) presentan una media histórica de 168 mm, mientras que durante el periodo de experimentación la misma fue de 192 mm, siendo octubre el mes que mayores precipitaciones acumuló. Resulta importante destacar la cantidad de milímetros precipitados entre el momento de secado de los CC y la siembra del cultivo de verano (129 mm en promedio histórico), que permite la recarga del perfil al momento de la siembra del cultivo de verano.

Durante el ciclo de crecimiento del cultivo de verano las precipitaciones fueron de 437 y 500 mm para la media histórica y media experimental, respectivamente.

Para el análisis de la biomasa, de CC como maíz, se consideró la sumatoria anual de biomasa para cada tratamiento, durante los siete años que duró la experiencia.

Para el análisis de resultados se utilizaron modelos lineales generales y mixtos. Además, se utilizaron modelos de regresión mediante el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2016).

## RESULTADOS

### *Biomasa de cultivos*

La oferta hídrica que recibieron los cultivos durante su ciclo de crecimiento se reflejó en los rendimientos obtenidos, la biomasa acumulada se expresó como suma anual durante los 7 años de la experiencia (Tabla 1). Los tratamientos Ce+N y VCe se destacaron por su producción de biomasa acumulando 41.034 y 39.361 kg MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por su parte, el tratamiento Ce, sin aporte adicional de nitrógeno, acumuló 34.195 kg MS ha<sup>-1</sup>; mientras que el tratamiento V alcanzó 19.271 kg MS ha<sup>-1</sup>, lo cual se corresponde con su menor capacidad para producir biomasa y el momento de secado, que coincide con el momento en que su tasa de crecimiento se acerca al máximo.

La producción de biomasa aérea en el cultivo de maíz fue mayor en un 18,1 % por efecto de la inclusión de los CC en comparación con el tratamiento T (Tabla 1).

	Biomasa acumulada (kg MS ha <sup>-1</sup> )	
	Cultivos de cobertura	Silo Maíz
T	-	98.231 B
Ce	34.195 B	107.939 A
Ce + N	41.034 A	120.022 A
V	19.271 C	125.118 A
VCe	39.361 A	111.028 A

**Tabla 1.** Biomasa acumulada de los cultivos de cobertura y del maíz en los 7 años para los diferentes tratamientos. Testigo sin CC (T), centeno (Ce), centeno fertilizado (Ce+N), vicia (V) y vicia-centeno (VCe). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Table 1.** Cumulative biomass of cover crops and corn over the 7 years for the different treatments. Control without CC (T), rye (Ce), fertilized rye (Ce+N), vetch (V) and vetch-rye (VCe). Different letters in each column indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

### *Densidad aparente*

En la Tabla 2 se presentan los valores de densidad aparente luego de 7 años de CC. Los tratamientos con CC mostraron una densidad aparente del suelo menor que el tratamiento sin cobertura T, tanto en el estrato superficial (0-10 cm) como en el estrato subsuperficial (10-20 cm), con diferencias promedio del 5 y 3,6 %, respectivamente. En el estrato superficial, Ce+N y V mostraron los valores más bajos, diferenciándose significativamente de Ce y VCe. A su vez, Ce+N, V, Ce y VCe se diferenciaron del tratamiento sin CC. En el estrato subsuperficial, los tratamientos Ce, Ce+N y V presentaron menor densidad aparente, diferenciándose estadísticamente de T.

**Tabla 2.** Densidad aparente (DA, g cm<sup>-3</sup>) luego de 7 años de efectos acumulados para 2 estratos de profundidad. Testigo sin CC (T), centeno (Ce), centeno fertilizado (Ce+N), vicia (V) y vicia-centeno (VCe). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ).

**Table 2.** Apparent density (DA, g cm<sup>-3</sup>) after 7 years of accumulated effects for 2 depth strata. Control without CC (T), rye (Ce), fertilized rye (Ce+N), vetch (V) and vetch-rye (VCe). Different letters indicate significant differences between treatments ( $p < 0.05$ ).

	Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )		
	Profundidad (cm)		
	0 - 10	10 - 20	0 - 20
T	1,38 A	1,40 A	1,39 A
Ce	1,33 B	1,35 BC	1,34 BC
Ce + N	1,29 C	1,34 BC	1,31 D
V	1,29 C	1,34 BC	1,32 CD
VCe	1,33 B	1,37 AB	1,35 B

### Infiltración

La Figura 3 demuestra la evolución de la velocidad de infiltración, donde las diferencias entre tratamientos se mantuvieron a lo largo del proceso de infiltración.

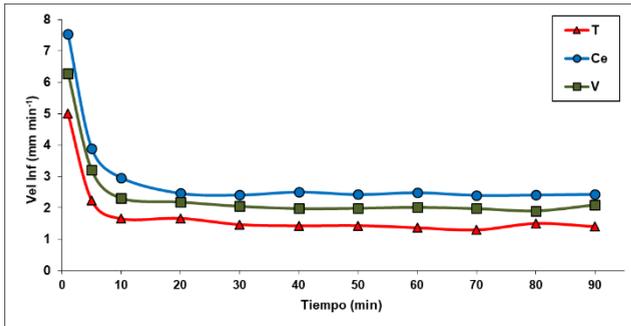


Figura 3. Variación de la velocidad de infiltración para los tratamientos Testigo (T), Centeno (Ce) y Vicia (V).

Figure 3. Variation of the infiltration rate for the Control (T), Rye (Ce) and Vicia (V) treatments.

La Tabla 3 destaca que el tratamiento Ce tuvo la mayor infiltración básica ( $148 \text{ mm h}^{-1}$ ) seguido de V ( $118 \text{ mm h}^{-1}$ ), ambos significativamente superiores a T ( $73 \text{ mm h}^{-1}$ ). Esto representa un incremento promedio del 182 % debido a la inclusión de los CC.

		Velocidad de infiltración					
		B I	B II	B III	B IV	Media	CV (%)
T	$\text{mm min}^{-1}$	1,4	1,6	1,0	1,0	1,23	24
	$\text{mm h}^{-1}$	82	93	58	60	73 B	
Ce	$\text{mm min}^{-1}$	2,8	2,6	2,2	2,3	2,46	12
	$\text{mm h}^{-1}$	169	155	130	136	148 A	
V	$\text{mm min}^{-1}$	1,7	1,8	1,9	2,5	1,97	20
	$\text{mm h}^{-1}$	100	107	115	152	118 A	

Tabla 3. Velocidad de infiltración para los tratamientos Testigo (T), Centeno (Ce) y Vicia (V) en los distintos bloques mediante la utilización de anillo doble. Letras diferentes indican diferencias significativas para los distintos tratamientos ( $p < 0.05$ ).

Table 3. Infiltration speed for the Control (T), Rye (Ce) and Vicia (V) treatments in the different blocks by using a double ring. Different letters indicate significant differences for the different treatments ( $p < 0.05$ ).

Además, el tratamiento Ce aumentó la infiltración acumulada en un 90,6 %, mientras que V lo hizo en un 38,8 %, ambas en comparación con las parcelas T (sin CC) (Figura 4).

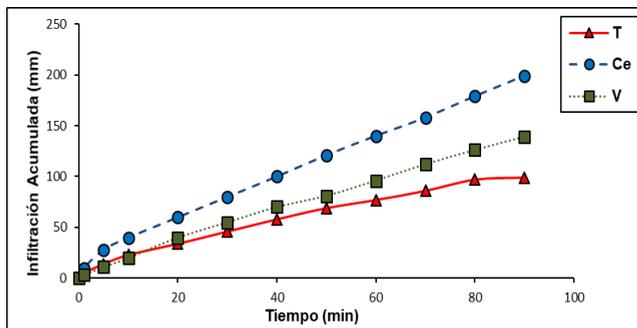
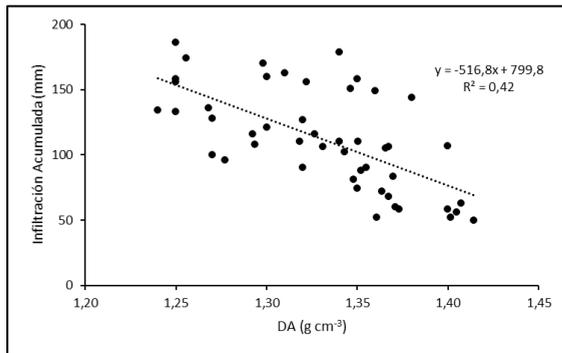


Figura 4. Efectos de los cultivos de cobertura sobre la infiltración acumulada de agua. Tratamientos Testigo (T), Centeno (Ce) y Vicia (V).

Figure 4. Effects of cover crops on cumulative water infiltration. Control (T), Rye (Ce) and Vicia (V) treatments.

### **Relación entre la infiltración acumulada y densidad aparente**

La Figura 5 muestra una correlación entre la infiltración acumulada y la densidad aparente ( $R^2=0.42$ ), indicando que los incrementos en la densidad aparente estarían vinculados a una pérdida de macroporosidad, que afecta la captación y almacenaje de agua en el suelo.



**Figura 5.** Infiltración acumulada en función de la densidad aparente ( $p<0.05$ ).

**Figure 5.** Accumulated infiltration as a function of bulk density ( $p<0.05$ ).

## **DISCUSIÓN**

El rendimiento diferencial obtenido por los CC puede estar asociado al aporte de nitrógeno proveniente de la fertilización nitrogenada o en el tratamiento consociado VCe por la fijación biológica de nitrógeno que realiza la vicia.

La inclusión de CC afectó significativamente la densidad aparente del suelo. Al respecto, diferentes autores señalan que los CC aumentan el contenido de carbono orgánico del suelo, por aportes acumulados de sus residuos, lo que resulta en una menor densidad aparente con respecto a barbechos sin cobertura (Dolan et al., 2006; Tormena et al., 2017). Sin embargo, algunos estudios reportaron que el efecto de los CC sobre las propiedades físicas de suelo puede variar ampliamente dependiendo del tipo de suelo, la especie utilizada, la cantidad de biomasa producida, sistema de cultivo y el clima (Blanco-Canqui & Jasa, 2019; Ruis et al., 2020).

El efecto de las coberturas sobre la densidad aparente coincide con los resultados obtenidos por Chalise et al. (2018), quienes encontraron que la densidad aparente del suelo fue menor bajo la práctica de devolución de residuos de los cultivos de centeno y vicia, en comparación con la extracción de los mismos para profundidades de 0-5 y 5-15 cm después de 16 años de experimentación.

Al respecto, Blanco-Canqui & Ruis (2020) analizaron los datos sobre el impacto de los CC en la densidad aparente del suelo en 51 sitios de estudio y encontraron que los CC redujeron la densidad aparente en 31 % de los sitios evaluados. Al mismo tiempo, comprobaron que la reducción de la densidad aparente osciló entre el 3 y el 24 %. Los resultados obtenidos en esta experiencia estarían comprendidos dentro de ese rango.

La evolución de la velocidad de infiltración de agua en el suelo permitiría inferir que los CC influyeron sobre las características del sistema poroso del suelo. Al respecto, Blanco-Canqui (2018), señala que el incremento de la infiltración media puede ser debido a que la biomasa aérea de los cultivos reduce el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y le aporta mayor estabilidad a los macroporos. Al mismo tiempo, la arquitectura y distribución de las raíces de los cultivos cobra una gran importancia para aumentar la porosidad del suelo, siendo las raíces finas las más efectivas para crear espacio poroso (Hudek et al., 2022). Por otra parte, Blanco-Canqui & Ruis (2020) en una

revisión de 98 trabajos concluyen que en general los CC mejoran la infiltración entre un 0 y 190% (promedio 43 %). Además, los CC en planteos de siembra directa pueden mejorar más la infiltración que en suelos laboreados. Sin embargo, sobre 17 trabajos que reportaron resultados de infiltración, sólo en 4 de los mismos no se comprobaron incrementos en la infiltración por incluir CC y en 1 trabajo se registraron efectos negativos (Blanco-Canqui & Ruis, 2020). Es importante destacar que la gramínea redujo la variabilidad de infiltración (CV 12 %) permitiendo que la captación y distribución de agua en el perfil sea más uniforme.

Imhoff et al. (2010) remarcan que la diversificación de cultivos en la rotación, especialmente con mayor proporción de especies gramíneas presentan una mejor condición física, mejorando la proporción de poros, en relación a aquellas rotaciones menos diversificadas o con menor intervención de cultivos. Por lo que las características de la red de poros en el suelo se ven afectadas por los cultivos elegidos para la rotación, siendo las especies gramíneas muy importantes para obtener mediante su sistema radical una mayor cantidad de poros grandes hidráulicamente activos que le permitan a los suelos alcanzar una mejor dinámica de agua y gases. Estos macroporos inducidos por las raíces son de particular importancia para la mitigación de la escorrentía debido a su gran diámetro y alta conectividad, lo que mejora la infiltración y percolación rápida de lluvia a las capas más profundas del suelo (Ghestem et al., 2011).

El aumento de la infiltración acumulada alcanzada por el tratamiento Ce coincide con Basche & De Longe (2019), que mediante un metanálisis que incluyó 89 estudios con ensayos de campo informaron que la introducción de plantas perennes (gramíneas, pasturas o CC) condujo a los mayores aumentos en las tasas de infiltración, y sugieren que las prácticas que promueven la cobertura del suelo y raíces continuas, fueron más efectivas para aumentar las tasas de infiltración.

En base a lo expuesto en los puntos anteriores respecto al efecto que generan los CC sobre las propiedades físicas del suelo, la relación entre captación del agua (infiltración acumulada) con la densidad aparente, ambos parámetros influenciados por el aporte de residuos que realizan los cultivos podría inferir que los incrementos en la densidad aparente estarían dados principalmente por pérdida de macroporosidad, dado la estrecha relación que existe entre esta parte del sistema poroso y la infiltración. Además, los resultados obtenidos confirman lo registrado en estudios de larga duración, donde a partir de cambios en el nivel de cobertura de los suelos se comprueban efectos positivos sobre las propiedades físicas relacionados con la captación y almacenaje de agua (Quiroga et al., 2021).

## CONCLUSIONES

La inclusión por 7 años de cultivos de cobertura en una rotación de maíz para silo permitió reducir la densidad aparente tanto en 0-10 como 10-20 cm de profundidad. Además, los CC de centeno y vicia tuvieron un impacto positivo en la mejora de la infiltración de agua en el suelo debido al importante aporte de residuos para mantener o mejorar el sistema poroso, siendo de gran importancia por la susceptibilidad de estos sistemas a la compactación, y menor capacidad de captación y almacenaje de agua.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Región CREA "Oeste Arenoso", que junto a los proyectos de INTA (PE I008, PE I009, RIST 503) y Beca de Formación de INTA se pudo financiar la experiencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aimar, S., Méndez, M., Funk, R. & Buschiazzo, D. (2012). Soil properties related to potential particulate matter emissions (PM10) of sandy soils. *Aeolian Research*, 3(4), 437-443.
- Alsina, S., Nosetto, M. y Jobbágy, E. (2020). Base de datos "NAPA": Primera síntesis de la dinámica freática pampeana desde 1950 al presente. *Ciencia del suelo*, 38(2), 262-273.

- Alvarez, C. O., Quiroga, A. R., Noellemeier, E. J., & Fernández, R. (2013). *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Ediciones INTA.
- Basche, A. D. & De Longe, M. S. (2019). Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 14(9), e0215702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>
- Blake, G. & Hartge, K. (1986). Bulk density. En: Klute, A. (ed). *Methods of soil analysis-physical and mineralogical methods 2ne edn*. Am. Soc. Agron. Madison, USA. 363-375.
- Blanco-Canqui, H. & Jasa, P. (2019). Do grass and legume cover crops improve soil properties in the long term? *Soil Science Society of America Journal*, 83, 118-1187. <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.02.0055>
- Blanco-Canqui, H. & Ruis, S. (2020). Cover crops impacts on soil physical properties: a review. *Soil Science Society of America Journal*, 84, 1527-1576.
- Blanco-Canqui, H. (2018). Cover crops and water quality. *Agron. J.* 110, 1633–1647. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0077>
- Cambardella, C. & Elliot, T. (1992). Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 777-783.
- Carreker, J. B., Bertrand, A. R., Elkins, C. B. & Adams, W. E. (1968). Effect of cropping systems on soil physical properties and irrigation requirements. *Agronomy Journal*, 60, 299-303. <https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000030016x>
- Chalise, K., Singh, S., Wegner, B., Kumar, S., Perez-Gutierrez, J., Osborne, S. & Rohila, J. (2018). Cover crops and returning residue impact on soil organic carbon, bulk density, penetration resistance, water retention, infiltration, and soybean yield. *Agronomy Journal*, 111, 99–108. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0213>
- Colazo, J. & Buschiazio, D. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 159(1), 228-236.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2016). InfoStat versión 2016. Universidad Nacional de Córdoba.
- Dolan, M., Clapp, C., Allmaras, R., Baker, J. & Molina, J. (2006). Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil Tillage Research*, 89, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.07.015>
- Fernández, P., Luque, J. y Paoloni, J. (1971). Análisis de la infiltración y su aplicación para los diseños de riego en el valle inferior de Río Colorado. *RIA, Clima y Suelo, Serie 3*(8), 1-29.
- Frasier, I., Álvarez, C., Fernández, R., Quiroga, A. y Noellemeier, E. (2020). Importancia de las raíces sobre los procesos edáficos. Cap 4. En: *Sistemas productivos sostenibles*, (pp. 89-115). CREA.
- Ghestem, M., Sidle, R., & Stokes, A. (2011). The influence of plant root systems on subsurface flow: Implications for slope stability. *Bioscience*, 61, 869-879.
- Håkansson, I. & Reeder, R. (1994). Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. *Soil and Tillage Research*, 29(2), 277-304.
- Haruna, S. I., Anderson, S. H., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Phillips, N. C., Cui, S. & Gao, Y. (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3, e20105. <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>
- Hudek, C., Putinica, C., Otten, W. & De Baets, S. (2022). Functional root trait-based classification of cover crops to improve soil physical properties. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13147. <https://doi.org/10.1111/ejss.13147>
- Imhoff, S., Ghiberto, P., Gironi, A. & Gay, J. (2010). Porosity characterization of Argiudolls under different management systems in the Argentine Flat Pampa. *Geoderma*, 158, 268–274.
- Irmak, S., Sharma, V., Mohammed, A. & Djaman, K. (2018). Impacts of cover crops on soil physical properties: field capacity, permanent wilting point, soil water holding capacity, bulk density, hydraulic conductivity, and infiltration. *Transactions of the ASABE*, 61(4), 1307-1321. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/trans.12700>
- Jobbágy, E., Nasetto, M., Santoni, M. y Baldi, G. (2008). El desafío ecológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral*, 18, 305-322.
- Keisling, T., Scott, H., Waddle, B., Williams, W. & Frans, R. (1994). Winter cover crops influence on cotton yield and selected soil properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 3087-3100. <https://doi.org/10.1080/00103629409369250>
- Quiroga, A., Álvarez, C., Fernández, R., Galantini, J., de Sá Pereira, E. y Arroquy, G. (2021). Cambios en propiedades físico-hídrica de suelos pertenecientes a una microcuenca del arroyo sauce corto en la pampa interserrana subhúmeda argentina. Capítulo 3. En: *Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo Vol V*. <https://sistema.editoraartemis.com.br/index.php/admin/api/ebookPDF/2856>
- Quiroga, A., Fernández, R. & Noellemeier, E. (2009). Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. *Soil and Tillage Research*, 105, 164-170.

- Restovich, S. B., Andriulo, A. E., & Portela, S. (2012). Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research*, 128, 62-70.
- Restovich, S. B., Andriulo, A. E., y Améndola, C. (2011). Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ciencia del suelo*, 29(1), 61-73.
- Reyes, J. J. (2021, junio). Crecen los feedlots en La Pampa y ya manejan más de 180 mil cabezas. La Arena. <https://www.laarena.com.ar/agro/2021-6-26-0-3-0-crecen-los-feedlots-en-la-pampa-y-ya-manejan-mas-de-180-mil-cabezas>
- Ritchie, S. & Hanway, J. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Ruis, S., Blanco-Canqui, H., Elmore, R., Proctor, C., Koehler-Cole, K., Ferguson, R., Francis, C., & Shapiro, C. (2020). Impacts of cover crop planting dates on soils after four years. *Agronomy Journal*, 112(3), 1649–1665. <https://doi.org/10.1002/ajq2.20143>
- Salmerón, M., Cavero, J., Quílez, D., & Isla, R. (2010). Winter cover crops affect monoculture maize yield and nitrogen leaching under irrigated Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 102, 1700-1709.
- Scanlan, C. (2009). Processes and effects of root-induced changes to soil hydraulic [Tesis doctoral]. University of Western Australia. School of Earth and Environment.
- Tormena, C., Karlen, D., Logsdon, S. & Cherubin, M. (2017). Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. *Soil Tillage Research*, 166, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.015>
- Villamil, M., Bollero, G., Darmody, R., Simmons, F., & Bullock, D. (2006). No-till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1936-1944. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0350>
- Wagger, M., & Denton, H. (1989). Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1206-1210. <https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300040036x>