

INFLUENCIA DE CULTIVOS DE COBERTURA EN PARÁMETROS FÍSICOS DEL SUELO: RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DE RAÍCES, DENSIDAD APARENTE E INFILTRACIÓN DEL AGUA

Povilonis, I.S.¹; Eiza, M.J.¹ y Carfagno, P.¹

¹ Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias Universidad de Morón

RESUMEN

Un buen uso del recurso suelo debe mantener la viabilidad del sistema a través del desarrollo de una cobertura completa con rastrojos o barbechos vivos, abundante desarrollo de raíces, y un suficiente aporte de material orgánico. Esto es de fundamental importancia dentro del principal paradigma de producción agrícola argentina, la siembra directa. En el campo experimental de INTA Castelar sobre un Argiudol vértico se llevó a cabo un ensayo comparativo de cultivos de cobertura frente a un barbecho tradicional, cuantificando los parámetros físicos de densidad aparente, resistencia a la penetración radicular e infiltración. Se utilizó un diseño estadístico en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones y cinco tratamientos 1) Centeno (*Hordeum vulgare*), 2) Trigo (*Triticum aestivum*), 3) Vicia (*Vicia sativa*), 4) Consociación Trigo/Vicia y 5) Testigo. En planteos agrícolas bajo siembra directa (SD), en el primer año de rotación, bajo un Argiudol vértico del norte de la provincia de Buenos Aires, para las condiciones planteadas en este ensayo, la metodología utilizada y los parámetros físicos analizados se concluye que la inclusión de CC en la rotación agrícola no produce mejoras verificables de las propiedades físicas del suelo en un corto plazo. Sin embargo, se demostró que existen tendencias en la mejora de las variables medidas.

Palabras clave: barbechos vivos, propiedades físicas del suelo

ABSTRACT

*A good use of the soil resource should maintain the viability of the system through the development of a complete coverage with stubble and / or live fallows, abundant development of roots, and a sufficient supply of organic material. This is of fundamental importance within the main paradigm of agricultural production Argentina, direct sowing. In the experimental field of INTA Castelar on a vertic Argiudol, a comparative test of cover crops against a traditional fallow was carried out, quantifying the physical parameters of apparent density, resistance to root penetration and infiltration. A statistical design in randomized complete blocks was used, with three repetitions and five treatments 1) Rye (*Hordeum vulgare*), 2) Wheat (*Triticum aestivum*), 3) Vicia (*Vicia sativa*), 4) Consociation Wheat / Vicia and 5) Control. In agricultural plans under no till, in the first year of rotation, under a vertical Argiudol of the north of the province of Buenos Aires, for the conditions proposed in this essay, the methodology used and the physical parameters analyzed concludes that the inclusion of CC in Agricultural rotation does not produce verifiable improvements in the physical properties of the soil in the short term. However, it was shown that there are trends in the improvement of the measured variables.*

Key words: live fallows; physical properties of the soil.

INTRODUCCIÓN

A partir de 1750, momento en el que se produce la expansión de la agricultura a nivel mundial, la tala de bosques y, especialmente la quema de combustibles fósiles, han sido los motivos determinantes de que la humanidad fuera responsable del aumento de las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, CH₄ y N₂O (IPCC, 2013), principales gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, la influencia antrópica en los últimos dos siglos es evidente, a tal punto que ha sido incluida como un factor formador en la génesis del suelo (Pascale, 2014). Viglizzo & Frank (2015) describen que el ambiente del planeta entero ha cambiado a tasas nunca vistas en el último millón de años. Actualmente sufrimos la mayor contaminación, polución y degradación de recursos naturales de nuestra historia. Por este motivo, la implementación de prácticas conservacionistas en el uso de los recursos aire, agua, biomasa y suelo resulta en una necesidad imperiosa.

El ensamble de factores de producción tales como, rotaciones, barbechos, estructura del cultivo, nutrición y protección, en armonía con el clima debe permitir una mayor captación de agua y mejorar la eficiencia de su uso como base para el logro de altos rindes. Al mismo tiempo, su buen uso debe mantener la viabilidad del sistema a través del desarrollo de una cobertura completa del suelo con rastrojos o barbechos vivos, abundante desarrollo de raíces, y un suficiente aporte de material orgánico que sea capaz de sostener un balance equilibrado de carbono en el suelo

(Gil, 2015). De esta manera, sería posible atenuar el impacto antrópico ocasionado por los cambios en el uso del suelo y la agricultura.

Los cambios en el uso de la tierra y la agricultura se han acentuado en el país (Núñez & Rolla, 2015) desde las últimas seis décadas por el avance de la frontera agrícola de cultivos anuales de grano, a cuenta del reemplazo de pastizales, pasturas y la deforestación. Para este período, los cambios ocurridos en el uso y la cobertura de la tierra en la Región Pampeana registran un incremento superior al 100% a favor de cultivos anuales (Viglizzo & Frank, 2015). Esto es acompañado con modificaciones en el “riesgo de intervención del hábitat” que se incrementó en la región pampeana desde 1956 al año 2005, aumentando de 0,33 a 0,59 y experimentando el mayor aumento en el período analizado para nuestro país (Viglizzo & Frank, 2015).

A su vez, todo esto ha sido facilitado e intensificado en Argentina por un nuevo paradigma de producción: la siembra directa (SD). Imponiéndose sobre todo durante los últimos 26 años, y alcanzando en la campaña 2014/2015 el 90% del área bajo cultivo (Nocelli Pac, 2015).

Álvarez *et al.*, (1998) expresan que “los efectos positivos de las labranzas reducidas y la SD han sido extensamente confirmados mediante numerosas investigaciones en la pradera pampeana”. El sistema de agricultura de SD actual solo presentará efectos positivos si se realizan todas las prácticas adecuadas de este paradigma de producción moderna. En este sentido, la mayor susceptibilidad de los ambientes frente a la acción antrópica originó una

serie de prácticas conservacionistas que acompañan a la SD con fertilización, terrazas, cultivos en contorno y rotación de cultivos basando su correcto funcionamiento en la existencia de una cobertura completa del suelo con rastrojos de cultivos que se mantenga a lo largo del año. Una alternativa para incrementar el aporte de residuos en sistemas de agricultura continua, especialmente bajo monocultivo, es la inclusión de cultivos de cobertura (CC) durante el período de barbecho.

Los CC son establecidos entre dos cultivos de verano y no son pastoreados, incorporados ni cosechados. Los residuos quedan en superficie protegiendo el suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos (Álvarez & Scianca, 2006). Una buena cobertura del suelo se obtendría principalmente con la inclusión de cultivos de gramíneas en la rotación, los que dejan residuos sobre la superficie del suelo de alta relación C/N, acompañando a cultivos de baja relación (e.g. soja, maní, girasol) durante mayor tiempo. En este sentido, cuando se realizan varios años de monocultura de soja, el suelo tiende a densificarse, a formar capas endurecidas que a su vez limitan el crecimiento de las raíces (Casas, 2006).

Si bien los CC han sido usados tradicionalmente para controlar la erosión (Álvarez, *et al.*, 2014), pueden cumplir múltiples funciones en el sistema de producción. Podemos citar gran cantidad de beneficios. Gonzalez *et al.* (2016) reportaron que los CC mejoraron en el mediano plazo la estabilidad estructural

del suelo. Esta mejora estuvo asociada particularmente al aumento en la actividad biológica del suelo producida por la intensificación de la rotación agrícola. Desde un punto de vista químico, permiten mejorar las cualidades del suelo y reducir las fuentes no puntuales de contaminación por nutrientes (e.g. NO_3^-) (Daliparthi *et al.*, 1994). También se detectaron aumentos en contenidos de materia orgánica (MO) (Ding *et al.*, 2006). En cuanto al control de malezas, estas pueden ser suprimidas por medio de la introducción de CC que sean más competentes (*Sustainable Agriculture Network*, 1998), lo que evita o disminuye las aplicaciones con herbicidas.

Puntualmente, analizando los parámetros físicos, se citan algunos resultados de ensayos en los que la inclusión de CC genera beneficios como: incrementos en la micro, meso y macroporosidad del suelo (Eiza *et al.*, 2016), o aumentos en la porosidad total (Moreno *et al.*, 2014). Otros autores encontraron disminuciones en la densidad aparente (DAP). (Scianca *et al.*, 2013) y Gudelj *et al.* (2016) encontraron diferencias significativas en un sistema de SD sin CC ($1,27 \text{ gr/cm}^3$) y con CC ($1,19 \text{ gr/cm}^3$). Con relación a la reducción en la compactación, Álvarez *et al.* (2014) atribuyen una disminución por la acción de la biomasa radicular. De manera similar, Mengoni *et al.* (2016) llegaron a la conclusión de que la resistencia mecánica a la penetración (RMP) debería tomarse como dependiente del contenido de arcilla y MO.

Por otro lado, la reducción en la DAP sumada a un incremento en la porosidad del suelo, conduce a una mayor capacidad de infiltración del agua, disminuyendo

la erosión hídrica potencial por una disminución en la escorrentía. Esto resulta de importancia ya que, si bien en Argentina el grado de deterioro actual de los suelos debido a la erosión hídrica es de variada intensidad, se estima que en los últimos 30 años la degradación por esta causa en todo el país se incrementó en 250.000 hectáreas por año y la gravedad del problema se manifiesta en una superficie de 1.600.000 hectáreas degradadas por la acción del agua, aproximadamente el 36% de las tierras cultivables de la Pampa Húmeda (Capurro, 2017).

Quiroga *et al.* (2005) describieron que el bajo aporte de rastrojos al suelo puede afectar la infiltración de agua en el suelo debido a la formación de estructuras laminares. La inclusión de CC contribuiría a evitar este proceso favoreciendo la infiltración durante la ocurrencia de lluvias o riego sin mayores cambios en la disposición de las partículas elementales y microagregados de la superficie del suelo. Es decir, evitando que estos fenómenos de precipitación reduzcan la rugosidad y efectos de sellado de la macroporosidad superficial, procesos comunes en suelos con presencia de limos o arenas muy finas (Chagas, 1991). En suelos limosos de la pampa ondulada, la formación de estructuras laminares bajo SD, generan menores tasas de infiltración (Álvarez, 2013). Esta situación implica que el arreglo u organización de las partículas del suelo bajo la forma estructural de tipo laminar impide la penetración vertical de las raíces, el agua y el aire (Cosentino, 2014).

Por lo expresado hasta aquí surge la necesidad de comprender la importancia

y el impacto de la implementación de prácticas conservacionistas en la producción agropecuaria. En concordancia, Álvarez (2013) resalta el interés de evaluar la acción de CC que favorezcan la reversión de la estructura laminar. Asimismo, surge el interrogante de cómo los CC afectan a las propiedades físicas de suelos con propiedades vérticas, en los cuales la información es escasa en comparación a zonas de suelos de texturas más gruesas y con menor disponibilidad hídrica, donde esta práctica está más adoptada. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inclusión de cultivos de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo Argiudol vértico bajo agricultura con SD en el norte de la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

En la clasificación climática definida por Peel *et al.* (2007) el ensayo se encuentra dentro de la región climática subtropical húmeda de la Argentina. Se utilizaron registros de la estación meteorológica del CNIA INTA Castelar de la serie 2009/2017. Las precipitaciones anuales promedio para el área de estudio son de 784 mm sin estación seca.

El suelo en estudio es una asociación de las series Hurlingham (50%), Las Cabañas (30%) y Los Reseros (20%). La serie Hurlingham pertenece al subgrupo de los Argiudoles vérticos (Tabla 1). Presenta sedimentos loessicos como material originario de 130 cm de espesor. La posición en el relieve es en la loma. Existe una pendiente de 0,5 a 1% de gradiente con grado 1 de peligro de erosión potencial mantiforme. Una limitación es la

permeabilidad baja del horizonte Bt. Tiene moderadamente lenta y moderadamente un escurrimiento medio, permeabilidad bien drenado.

Tabla 1. Textura del suelo Serie Hurlingham (Gómez, 1993).

Serie Hurlingham	Ap	Bt1	Bt2	BC	C	
Arcilla	< 2 u	23,6	57,2	44	35,6	24,7
Limo	2 - 50 u	51,8	23,9	38,8	41,2	51,4
Arena	50 - 2000 u	24,61	18,93	17,21	23,09	21,95

La serie las cabañas es perteneciente al subgrupo de los Argiudoles típicos (Tabla II), presenta sedimentos loessicos de 90 cm de espesor. Su posición en el relieve es la pendiente con un gradiente de inclinación

de 0,5 a 1%. De escurrimiento medio y permeabilidad moderadamente lenta. Suelo bien drenado. Con peligro de erosión hídrica grado 2 muy leve de tipo mantiforme.

Tabla 2. Textura del suelo serie Las Cabañas (Gómez, 1993).

Serie Las Cabañas	Ap	A	BA	Bt1	Bt2	BC	
Arcilla	< 2 u	23,6	27,8	31,6	36,6	52,2	33,5
Limo	2 - 50 u	30,6	29,1	30,6	23,6	18,8	19,2
Arena	50 - 2000 u	41	30	36,6	41,9	28,3	44,5

La serie Los Reseros pertenece al subgrupo de los Argiudoles típicos (Tabla III). Formado por materiales loessicos hasta los 81cm de espesor y luego por tosca a más de 130 cm. Su posición en el relieve es la

pendiente, con gradiente de 0,5 a 1%. Tiene un escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente lenta y es moderadamente bien drenado. Con peligro de erosión hídrica grado 1 muy leve de tipo mantiforme.

Tabla 3. Textura del suelo serie Los Reseros. (Gómez, 1993)

Serie Los reseros	Ap	A	BA	Bt	BC	Tosca	
Arcilla	< 2 u	27,5	28,8	20,6	51,5	37,1	14,6
Limo	2 - 50 u	57,3	57,1	60,7	40	48	26,8
Arena	50 - 2000 u	15,2	14,1	18,7	8,5	14,9	42,2
Gravilla							38

En otoño de 2016 se instaló un ensayo de CC en el campo experimental CNIA INTA Castelar (34° 36' 36,39'' S; 58° 39' 33,68'' O). Se implantaron los siguientes

CC: Centeno (*Hordeum vulgare*), Trigo (*Triticum aestivum*), Vicia (*Vicia villosa*) y una consociación Trigo/Vicia. El cultivo de grano sembrado posteriormente a los CC fue

maíz (*Zea mays*). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados, con tres bloques o repeticiones y 5 tratamientos: 1) Vicia 2) Trigo 3) Centeno 4) Vicia+Trigo y 5) Testigo (barbecho tradicional), siendo las dimensiones de las parcelas experimentales 5m x 30m.

La preparación del sitio para la instalación del experimento se realizó sobre un lote enmalezado, en el que no se hacía agricultura desde hacía 4 años. Se realizó un corte con segadora de arrastre y se aplicó herbicida glifosato en pre-siembra para la limpieza del lote. Se marcó el ensayo y se sembró el 29 de junio de 2016 con una sembradora de arrastre marca Schiarre, modelo SDX2500 Tekno de 25 cuerpos. Se reguló para una siembra a 6 km h⁻¹, una separación entre líneas de 17,5 cm y una densidad teórica de 120 kg ha⁻¹ de trigo, 120 kg ha⁻¹ de Trigo+Vicia, 45 kg ha⁻¹ de centeno y 25 kg ha⁻¹ de Vicia. Debido a las intensas lluvias inmediatas a la siembra, la emergencia fue despereja.

En consecuencia, se debió resembrar el 23 de agosto con la misma metodología empleada en la primera siembra. El crecimiento de los CC se detuvo con el pasaje de un rolo faca el 24 de noviembre de 2016. En la imagen 1 se observa el resultado obtenido sobre el cultivo de vicia. Esta práctica tiene como ventaja que no se aplican herbicidas.



Imagen 1. Estado final del cultivo de vicia por el pasaje del rolo faca para la terminación de su ciclo de crecimiento.

Luego de un mes de realizado el rolado de los CC, el 5 de enero de 2017 se realizó la siembra de maíz a 70 cm de distancia de plantación y con 6 pl m⁻¹, resultando una densidad de siembra de 85.715 pl ha⁻¹. Se realizó con la misma sembradora utilizada para la siembra de CC. Con la finalidad de analizar el rendimiento obtenido en cada tratamiento antecesor (CC y testigo), al alcanzar la madurez fisiológica (35% de humedad en el grano) se recolectaron al azar espigas contenidas en un metro lineal (6 plantas) por tratamiento. Posteriormente se realizó el secado en estufa a 105°C, el deschalado y trillado de las espigas. Se pesaron los granos y se determinaron los valores de humedad de grano y peso hectolítrico.

Determinaciones realizadas

Se determinó la DAP a partir del método del cilindro, en los primeros 10 cm superficiales del suelo. El método consiste en introducir un cilindro biselado de volumen conocido (387,7 cm³) en el suelo, y enrasando el suelo con los bordes, se secó la muestra en estufa a 105°C hasta peso constante. Para su cálculo se utilizó la ecuación 1.

$$DAP[g m^{-3}] = \frac{\text{Peso suelo seco [g]}}{\text{Volumen del cilindro [m}^{-3}]} \times 100 \quad [1]$$

La RMP es una estimación indirecta de la fuerza requerida por las raíces para penetrar los poros o deformar la estructura del suelo, para así brindar soporte y absorber nutrientes

y agua para el adecuado desarrollo de los cultivos. La RMP se midió a partir del uso de un penetrómetro de golpes o dinámico, al momento de la siembra de los CC y luego del secado de los CC. Se midió la humedad gravimétrica tomando una muestra de cada tratamiento para cada uno de los tres bloques de 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm de profundidad.

La operación consistió en apoyar el penetrómetro perpendicularmente a la superficie del suelo, retirando todo tipo de material en el punto de contacto y evitando irregularidades del suelo como grietas. Para su operación, se levantó la pesa hasta el límite de altura y se dejó caer sin ejercer empuje. Se anotó la cantidad de golpes cada 5cm. Conociendo el peso y la distancia que recorre la pesa afectada por la gravedad se pudo calcular la presión que ejerce el instrumento, calculada en 0,28 Mpa por golpe.

La infiltración es la entrada de agua desde la superficie del suelo, bajo la conducción de las fuerzas de gravedad y de capilaridad. La misma es limitada por la fuerza viscosa involucrada en el flujo de ingreso en los poros del suelo cuantificando en términos de la permeabilidad y la conductividad hidráulica (Forero, 2000). El 5 de diciembre de 2016, luego de secados los CC, se realizaron ensayos de infiltración con simulador de lluvias Modelo Instituto de Suelos y con infiltrómetro de anillo simple en cada tratamiento, excepto en el cultivo de vicia. Se registraron las mediciones en intervalos de 5 minutos. Los ensayos de ambos métodos se realizaron bajo flujo no saturado de agua.

La determinación de infiltración con

infiltrómetros de anillo consistió en clavar hasta la marca de enrase, 4 anillos distribuidos al azar, en el mismo tratamiento. Se registró la lámina de agua infiltrada a los 2,5 minutos, a los 5 minutos y luego cada 5 minutos, cambiando los botellones al instante en que se vaciaban, hasta los 60 minutos de infiltración.

La determinación con simulador de lluvia requirió el clavado de la base con la bandeja de escurrimiento. Posteriormente se montó la estructura y el simulador de lluvias en la parte superior. Se reguló la intensidad de lluvia a 120 mm h⁻¹. Se realizaron mediciones del escurrimiento generado de agua cada 5 minutos hasta los 60 minutos de simulación de lluvia.

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples mediante test de Tuckey para cada parámetro. Los valores de correlación, R², e infiltración final, tanto para infiltrómetros de anillo simple como para simulador de lluvias, se obtuvieron a partir de la ejecución del programa "Calcula.infi versión 2017" desarrollado para el cálculo de los parámetros del modelo no lineal de Horton, utilizando como base planillas de cálculo Excel y la función Solver (Eiza *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se presentan las precipitaciones diarias desde junio de 2016 a junio de 2017. Durante el desarrollo de los CC se registraron 217.8 mm de precipitación desde el 23 de agosto al 24 de noviembre de 2016 (Figura 1). Aunque los registros climáticos indican que en primavera se registran las mayores precipitaciones,

para el año en que se realizó este ensayo las precipitaciones primaverales fueron menores.

Figura 1. Precipitación diaria ocurrida durante el período de crecimiento de los cultivos de cobertura.

En la figura 2 se observan los valores de DAp de los tratamientos. El tratamiento testigo mostró una DAp intermedia (1.15 Mg m^{-3}) entre los valores extremos del suelo bajo Vicia + Trigo y Centeno (1.13 Mg m^{-3}) y del suelo bajo Vicia y Trigo (1.19 Mg m^{-3}). De todas maneras, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos. La DAp varía con la textura del suelo y el contenido de MO; puede cambiar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad (Taboada & Álvarez, 2008), sobre todo en el suelo en estudio, con arcillas expandentes de tipo montmorillonita. Si bien este método es altamente confiable para suelos blandos y cohesivos, deben ser muestreados con contenido de agua cercano a capacidad de campo (Blake & Hartge, 1986), y la situación para el día del muestreo fue en promedio de 14,4% de humedad gravimétrica, muy por debajo de la capacidad de campo. Esta situación podría incurrir en un mayor error en la medición y en que no se hayan registrado diferencias entre los tratamientos con CC y Testigo.

Asimismo, Gil (2015) reafirma que la capacidad de “trabajo” de las arcillas a través del fenómeno de expansión y contracción propios en los ciclos de humedecimiento y secado, permitirían recomponer parcialmente la estructura

de estos suelos volviéndolos menos susceptibles a este tipo de deterioro físico. Lo que también genera una considerable variabilidad en la DAp, incluso para distintos contenidos de humedad en cada tratamiento.

En relación con otros parámetros físicos Hamza & Anderson (2005) describen que aumentos en la DAp se asocian a ambientes edáficos más pobres para el crecimiento de las raíces, debido a la reducción de la aireación y al aumento de la resistencia a la penetración, y a la generación de cambios no deseados en las funciones hidrológicas, tales como la infiltración y la percolación.

Gil (2015) describe que la densificación de los suelos está muy relacionada principalmente con reducciones en los contenidos de MO y de la actividad biológica, incluidas las raíces. Así, este parámetro se relaciona con la funcionalidad del suelo siendo sensible a las prácticas de manejo (Agostini, 2014).

Para los suelos arcillosos, se ha informado que la extensión de las raíces podría detenerse a partir de $1.5\text{-}1.6 \text{ Mg m}^{-3}$ (Reynolds *et al.*, 2002), por lo que para ninguno de los tratamientos esta propiedad sería un impedimento para la extensión radicular ya que en ninguno de los casos se superó los 1.19 Mg m^{-3} . Se observó una tendencia en la disminución de la DAp para el centeno y la mezcla de vicia y trigo (Figura 2), estos tratamientos parecerían ser los más aptos para mitigar problemas de compactación en un plazo inmediato.

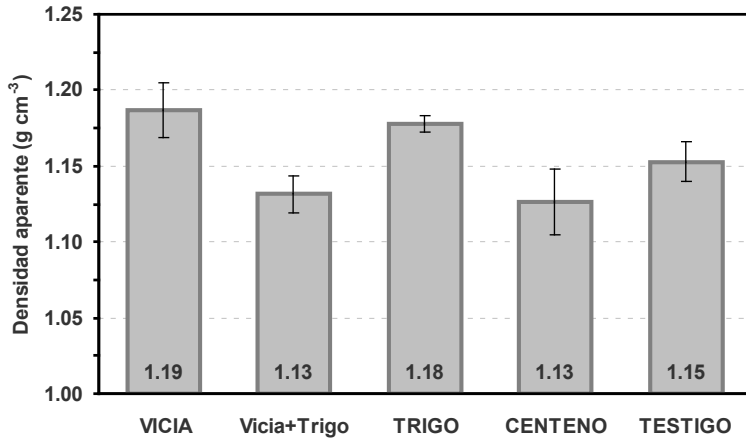


Figura 2. Densidad aparente promedio para los distintos tratamientos.

En la figura 3 se muestran las resistencias mecánicas a la penetración al inicio y al final del ciclo de crecimiento de los CC y la humedad final al secado de los CC para los distintos tratamientos. Al inicio del ensayo, debido a la elevada cantidad de precipitaciones ocurridas previo a la siembra de los CC la humedad del suelo se encontraba alrededor de CC (datos no mostrados). Este motivo explicaría la baja RMP registrada en dicho momento hasta 30 cm de profundidad, con una RMP menor a 2,30 Mpa (Figura 3). A partir de esta profundidad, a pesar de que la humedad edáfica continuó siendo elevada, la RMP se incrementó, aunque en este caso se debió a la presencia de un horizonte argílico con muy alto contenido de arcillas (Figura 5). Luego de que fueron secados, la RMP medida en cada tratamiento fue diferente, aunque el contenido hídrico del suelo no varió entre ellos. De todas maneras, es importante destacar que la humedad en

este momento de medición fue muy baja, por lo que la RMP de todos los tratamientos fue muy superior a la medida inicialmente. Los tratamientos testigo y centeno fueron los que mostraron la máxima RMP (9.6 y 10.1 Mpa, respectivamente entre los 15 y 25 centímetros de profundidad (Figura 3). El tratamiento trigo también presentó una RMP alta entre los 15 y 25 centímetros de profundidad (8.6 Mpa promedio). El tratamiento vicia (Figura 3) propició una menor RMP que los otros CC en todas las profundidades (Figura 3). De todas a partir de los 10 cm de profundidad todas las profundidades presentaron RMP superiores a 2.5 MPa con un máximo de 5.7 MPa a los 25 cm (Figura 3). La consociación entre vicia y trigo mostró una curva de RMP similar a la de vicia, aunque con valores más elevados, ocurriendo la máxima RMP a la profundidad de 25 cm con 7.8 MPa (Figura 3).

Pozzolo & Ferrari (2007) registraron en mayor medida el efecto de la SD sobre aumentos en la compactación en el estrato de 5 a 15 cm con valores de hasta 2,7 Mpa de RMP. Los valores registrados en el presente ensayo para todos los tratamientos superan considerablemente este valor a partir de 5 cm de profundidad, alcanzando valores máximos de 10 Mpa. Con este manejo, el tránsito vehicular es el principal responsable de la compactación inducida en suelos agrícolas y su textura y contenido de humedad las variables más importantes relacionadas a disminuciones de porosidad (Upadhyaya *et al.*, 1994).

Por lo tanto, aceptando esta afirmación, los altos valores de resistencia se pueden atribuir a la combinación entre las características intrínsecas de un Argiudol vértico, con materiales finos arcillo limosos y un bajo contenido de humedad al momento del muestreo (cerca al 14% en promedio para todo el perfil) y el paso de la maquinaria utilizada en el secado días previos al muestreo por lo que no hubo tiempo ni precipitaciones suficientes para notar algún efecto de resiliencia característico de un suelo vértico en distintas condiciones de humedad. El bajo contenido de humedad al momento de muestreo hace que se reduzcan las fuerzas de adhesión entre las partículas del suelo, en comparación con mayores grados de humedad, pero aumentan significativamente las fuerzas de cohesión. Con independencia del grado de compactación, a medida que el suelo se seca, y se hace más coherente, aumenta su resistencia mecánica (Rucks *et al.*, 2004). A su vez, aunque la plasticidad sea una característica particular de las

arcillas (Baver, 1972) y aumente con el contenido de estas (Moreno *et al.*, 2014) se está considerablemente por debajo del límite plástico de Atterberg por lo que no existieron condiciones de plasticidad al momento del muestreo.

Reafirmando, Paredes *et al.* (2007) evidenciaron una significativa influencia de la humedad sobre los valores de resistencia mecánica a la penetración en un Argiudol vértico. Esto fue verificado a través de la medición inicial con mayor humedad, en la que no se registraron valores extremos que sí se observaron con un perfil más seco.

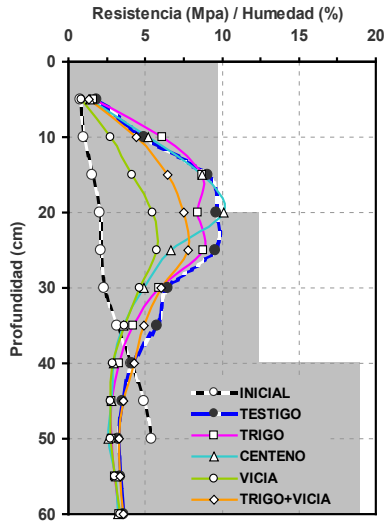


Figura 3. Resistencia mecánica a la penetración (curvas) y humedad final (área) al secado de los cultivos de cobertura para los distintos tratamientos.

En la figura 4 se muestran las curvas de infiltración obtenidas por el método de anillo simple, para los tratamientos centeno,

trigo, trigo + vicia y testigo. Las tasas de infiltración entre testigo y los CC centeno, vicia y vicia+trigo fueron similares con un promedio de 17.4 mm h^{-1} para los tres tratamientos. Sin embargo, bajo trigo como CC la infiltración fue de 7.8 mm h^{-1} . En general, se espera que bajo CC la infiltración sea mayor que bajo barbecho convencional. El momento en el que se llevaron a cabo los ensayos de infiltración podría haber impedido visualizar este efecto, ya que este se realizó inmediatamente luego del secado de los CC. De esta manera, no hubo tiempo suficiente para la descomposición radicular y para la generación de porosidad estructural que permita la conducción del agua. En este sentido, las raíces aún se encontraban ocupando volumen de aireación del suelo.

“La infiltración de agua en el suelo cumple un rol clave en la hidrología superficial y subsuperficial, la dinámica de utilización del agua por los cultivos, la generación de escurrimientos y la erosión de suelo” (Eiza et al., 2013). Por este motivo, una mayor infiltración resulta en menor cantidad de escurrimiento y, por lo tanto, menor erosión hídrica; uno de los procesos más

importantes de degradación de los suelos. La erosión hídrica en el suelo es difícil de manejar, pero la inclusión de CC podría disminuir los escurrimientos y aumentar la infiltración. Al disponer de mayor humedad en el suelo los cultivos tienen mayor producción de biomasa aérea y radicular, mayor capacidad de almacenaje de agua, retención de nutrientes y gracias a estas condiciones, un mayor rendimiento del cultivo predecesor.

Es importante destacar que a simple vista el terreno donde se realizó la experiencia muestra ondulaciones y grietas en superficie, lo que podría interpretarse como una correlación positiva entre los fenómenos de expansión y contracción conforme varía la humedad del suelo que explicarían mayores niveles de infiltración inicial. A su vez, los resultados obtenidos se condicen con la afirmación de Ratto (2014) quien explica que la presencia de grietas grandes en el suelo provoca infiltración inicial alta, la cual se reduce tan pronto como las grietas se cierran, al expandirse las arcillas, haciendo que la velocidad se pueda reducir a un valor cercano a cero.

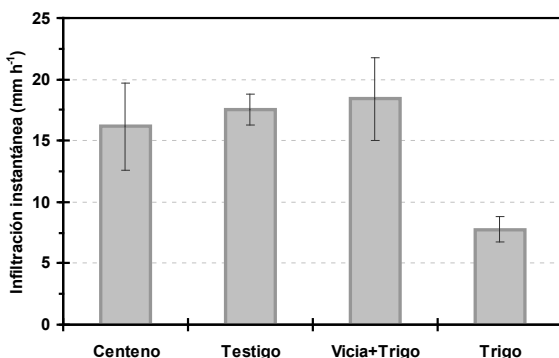


Figura 4. Tasa de infiltración instantánea promedio acumulada, estimada determinada con infiltrómetros de anillo simple para los tratamientos centeno, trigo, trigo + vicia y testigo. Las líneas verticales representan el error estándar de la media.

Los CC se utilizan para objetivos específicos, como mejorar la calidad física del suelo o aumentar el rendimiento del cultivo predecesor entre muchas otras. Esto es posible de lograr con decisiones de manejo óptimas, como la elección de especies, fecha de siembra, densidad de plantación, fecha de corte, etc. Asimismo, se podrían mejorar significativamente los parámetros físicos del suelo y rendimientos de cultivos posteriores a partir de una inclusión continua de CC. Los suelos Argiudoles vérticos del norte de la provincia de Buenos Aires presentan arcillas de tipo expansibles. Este tipo de arcillas en presencia o ausencia de humedad genera expansión y contracción del suelo, respectivamente. Esta situación incurre en la formación de grietas, lo que dificulta la precisión de los datos. Para solucionar esto se debería recurrir a técnicas metodológicas más precisas, o para las mismas herramientas utilizadas realizar un mayor número de repeticiones. Por lo expresado hasta aquí, la posibilidad de aumentar la calidad física de un suelo resulta necesaria de ser comprobada a fin de lograr dar recomendaciones de aplicación sencilla para la implementación de esta práctica en la región agrícola del norte de la provincia de Buenos Aires.

El momento óptimo de muestreo para la evaluación de los efectos generados por la implementación de la práctica de CC

debería ser posterior al secado de estos, cuando se expresen marcadamente los efectos de estos, como el momento previo a la siembra del siguiente cultivo en la rotación.

CONCLUSIONES

En planteos agrícolas bajo SD, en el primer año de rotación, bajo un Argiudol vértico del norte de la provincia de Buenos Aires, para las condiciones planteadas en este ensayo, la metodología utilizada y los parámetros físicos analizados se concluye que:

La inclusión de CC en la rotación agrícola no produce mejoras verificables de las propiedades físicas del suelo en un corto plazo. Sin embargo, se demostró que existen tendencias en la mejora de las variables medidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, M.A.; M.G. Monterubbianesi; G.A. Studdert & S. Maurette. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del suelo. Versión On-line* ISSN 1850-2067. vol.32 no.2. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Álvarez, C.; C. P. Lienhard & R. Bagnato. 2014. Cultivo de Cobertura leguminosa en rotación con cultivo de maíz, efecto sobre la dinámica de nitrógeno y agua en la región semiárida-subhúmeda pampeana. En actas del XXIII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires.
- Baver, L.D.; W.H. Gardner & W.R. Gardner. 1972. *Física de suelos*. Ed.

- Hispanoamericana.
- Casas, R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Buenos Aires.
 - Capurro, J.; J. Surjack; J. Andriani; M.J. Dickie & M.C. González. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en secuencias soja-soja en el área sur de la provincia de Santa Fe. En: "Para mejorar la producción". p. 55-58. INTA EEA oliveros.
 - Chagas, C. I. 1991. Efectos de la rugosidad superficial y el nivel de degradación física sobre la dinámica hídrica y la erosión entre surcos en un Argiudol. Tesis de *Magister Scientiae*. Escuela de Graduados de la Facultad de Agronomía UBA, programa Ciencia del Suelo.
 - Cosentino J.D. 2014. Estructura. En: M.E. Conti & L. Giuffré. Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas. 2ª ed. p. 188. Facultad de Agronomía. CABA.
 - Daliparthi, J.; S.J. Herbert & P.L.M. Veneman. 1994. Dairy manure application to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil wáter. Agron. J.86, 927-933.
 - Eiza M.; P. Carfagno; S. Hernández; C. Álvarez & A. Quiroga. 2016. Cambios en la porosidad de un Argiudol bajo cultivos de cobertura. En actas del XXV Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. Río Cuarto, Córdoba.
 - Eiza M.; P. Carfagno & C. Iruña. 2013. Automatización de la ecuación de Horton aplicada a mediciones de infiltración con simuladores de lluvia e infiltrómetros utilizando Excel Solver. INTA Castelar. CIRN. Instituto de Suelos.
 - Forero J.A. 2000. Parámetros Hidrodinámicos para riego. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Unidad de publicaciones. P. 31.
 - Gil, R. C. 2015. El uso del agua en una agricultura sustentable. En: R. R. Casas. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo I. 1ª ed. p. 249-285. FECIC.
 - Gómez L.A. 1993. Carta básica semidetallada de suelos. Complejo de investigaciones. INTA. Provincia de Buenos Aires.
 - INTA Castelar CNIA Instituto de clima y agua. Base meteorológica. 13/06/2017. <http://siga2.inta.gov.ar/en/datoshistoricos/>
 - Mengoni H.; C.R. Álvarez; P. Fernández; D. Cosentino; M.A. Taboada & S. Imhoff. 2016. Contenido hídrico, densidad y resistencia mecánica crítica para el crecimiento radical en suelos de pampa ondulada. En actas del XXV Congreso argentino de la Ciencia del Suelo. Río Cuarto, Córdoba.
 - Nocelli Pac, S. 2015. Estimación de superficie en siembra directa. Campaña 2014-2015. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (Aapresid).
 - Paredes, D.; J.P. D´amico; M. Roba; A. Romito; R. Florean; J. Cura & M.O. Tesouro. 2007. Calibración del índice

- de cono de un suelo argiudol vértico por humedad y profundidad. Instituto de Ingeniería Rural, CNIA - INTA Castelar, Provincia de Buenos Aires.
- Quiroga A., D. Funaro & R. Fernández. 2005. Propiedades edáficas en Molisoles bajo siembra directa. Boletín de divulgación técnica Nº 87. p. 3-17.
 - Ratto S.E. 2014. Agua del suelo. En: M.E. Conti & L. Giuffré. Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas. 2ª ed. p. 214. Facultad de Agronomía. CABA.
 - Scianca, R.; M. F. Varela; M. Barraco; C. Álvarez & A. Quiroga. 2013. Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas.
 - Sustainable Agriculture Network. 1998. Managing cover crops profitably. Second edition. Handbook Series Book 3. Beltsville, MD, Estados Unidos de América.
 - Taboada, M.A. & C.R. Álvarez. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
 - Viglizzo, E. F. & F. C. Frank. 2015. Dinámica territorial de la producción agropecuaria en Argentina: Impacto ecológico-ambiental. En: R. R. Casas. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo I. 1ª ed. p. 140-166. FECIC.