

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURA SOBRE LA POROSIDAD DE UN SUELO HAPLUDOL DEL OESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Rivera Vázquez, J.M.; Carfagno, P¹ y Eiza, M.J.¹

¹ Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias Universidad de Morón

RESUMEN

Este experimento se llevó a cabo en cercanías de la localidad de Treinta de Agosto, oeste de la provincia de Buenos Aires, para evaluar el efecto de la inclusión de cultivos de cobertura (CC) sobre la porosidad de un suelo Hapludol. Los CC utilizados fueron Raigrás, Avena y Centeno, contrastados con un Testigo bajo barbecho químico (i.e. suelo desnudo) entre los dos cultivos de soja. Los CC, así como el cultivo de soja fueron implantados con siembra directa (SD). En otoño de 2009, luego de la cosecha del cultivo de grano y antes de la siembra de cada CC, se tomaron 15 muestras de cada tratamiento para el estudio de la distribución del tamaño de poros. Para la determinación de la porosidad en cada rango de tamaños se utilizaron ollas de presión (i.e. ollas de Richards). Para las condiciones planteadas en este experimento la inclusión de Raigrás y Centeno como CC, incrementan los mesoporos y disminuyen los microporos. En cuanto al valor de los macroporos y porosidad total (PT) no se observaron diferencias entre los diferentes tratamientos de CC y testigo.

Palabras clave: retención hídrica, porosidad de aireación

ABSTRACT

This experiment was carried out near of Treinta de Agosto City, west of Buenos Aires province, to assess the effect of the inclusion of cover crops (CC) on the soil porosity of a Hapludol. The CC were ryegrass, oats and rye, which were compared to a control under chemical fallow (bare soil) between two soybeans crops. The CC and soybeans were planting by direct seeding (SD). In 2009 autumn, after soybean harvest and before planting of CC, were sampled 15 samples of each treatment to study the size distribution of the pores. To determine the porosity for each range of size was utilized pressure pots (Richards pots). For conditions established for this experiment, the inclusion of raigras and rye as CC, increase the mesoporos and reducing the microporos fractions. With regard to the value of the macroporos and total porosity (PT) were no significant differences between the different CC and control.

Key words: water retention, aeration porosity

INTRODUCCIÓN

El uso irracional del suelo genera una alteración de sus propiedades que puede hacer perder su capacidad de cumplir con sus funciones. Esta pérdida de funcionalidad se conoce como “degradación de tierras” y es el resultado de uno o más procesos que ocasionan la pérdida total o parcial de su productividad. La degradación se produce generalmente cuando el hombre rompe el equilibrio natural entre la presión que ejerce el clima y la resistencia de los suelos a degradarse (Stallings, 1972). Según la naturaleza de los procesos, se diferencian tres tipos de degradaciones, la física (e.g. erosión), la química (e.g. pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, alcalinización y contaminación) y por último la biológica (e.g. pérdida de materia orgánica, alteración de la microflora y microfauna) (Michelena, 2008).

La erosión eólica es uno de los procesos de degradación de suelos más importante de ambientes secos, en donde las actividades agropecuarias que se realizan desde 1890 con reemplazo de la vegetación natural por la cultivada sobre suelos Hapludoles y Haplustoles típicos donde predominan partículas esqueléticas como arenas muy finas y limos (Bricchi, 1996). En este ambiente se ha detectado la degradación de las tierras por disminución de las funciones químicas y físicas de los suelos. Entre estas funciones se destaca la fuerte disminución de la infiltración y conductividad hidráulica (Cisneros *et al.*, 1997). A su vez, las regiones áridas y semiáridas del país, que cubren el 75 por ciento de la Argentina, poseen ecosistemas frágiles proclives a la desertificación (Casas, 2006).

El área cultivada de soja (*Glicine max.* L) se ha incrementado de 6,7 a 18,7 millones de has a nivel nacional, en el periodo 1996/2010 (SAGPyA, 2010). En los últimos años, se ha registrado una tendencia al monocultivo de soja que impacta negativamente sobre la calidad de los suelos y la sustentabilidad del sistema (Casas, 2006). Teniendo en cuenta el limitado aporte de rastrojo del cultivo de soja, junto con su baja relación C/N, comparado con especies gramíneas, el aumento de su presencia en las secuencias de cultivos agrícolas afectaría los contenidos de MO y el mantenimiento adecuado de niveles de cobertura (Rufo, 2003), lo cual podría llevar en el largo plazo al empobrecimiento de los suelos lo que genera preocupación respecto a la sostenibilidad del sistema agropecuario. Esta situación se potenció con la rápida incorporación de soja asociada al sistema de SD, combinación que posibilitó su cultivo en áreas marginales y en suelos con limitaciones para la agricultura convencional. A comienzos del período mencionado, la SD se basaba en la rotación de cultivos de soja, trigo y maíz, lo que aseguraba un buen funcionamiento de este. Durante esta etapa que abarcó hasta finales de los 90 bajo este esquema productivo, se produjo un paulatino mejoramiento de la calidad y salud de los suelos pampeanos. Esto se debió principalmente a la drástica disminución de la tasa de erosión de los suelos y al incremento de los niveles de materia orgánica y fertilidad, asociados al mayor nivel tecnológico empleado.

La disponibilidad de agua para las plantas depende del sistema de raíces presente y de propiedades hidráulicas del suelo

(e.g. capacidad hídrica, conductividad hidráulica), que a su vez dependen de la geometría de su espacio poroso, la cual es modificada por las labranzas (Pla Sentis, 1994). Los suelos cultivados bajo secuencia soja-soja pasan entre 5-7 meses en barbecho invernal, con el objetivo de acumular agua de lluvia. La cantidad de agua almacenada en el perfil de suelo depende, entre otros factores, de la textura, la capacidad de retención hídrica, la profundidad efectiva para el desarrollo de raíces (Kruger *et al.*, 2005), el relieve, las precipitaciones y el sistema de labranza. Los suelos de aptitud agrícola en la región pampeana arenosa se caracterizan por presentar texturas superficiales arenosas a franco arenosas con moderada capacidad de retención de agua (Taboada y Micucci, 2002, Álvarez *et al.*, 2005).

La permeabilidad natural de un suelo o su habilidad para conducir agua depende de la disposición y geometría del sistema poroso impuesto por la génesis. Dependiendo del estado estructural inicial, la deformación de la estructura puede producir aumento o disminución de la permeabilidad, afectando, por lo tanto, el reservorio de agua (Kirby *et al.*, 1997). La porosidad se define como el volumen de espacios vacíos o poros del suelo, y esta determina su relación agua-aire. El tamaño, forma y continuidad de los poros condicionan muchos procesos físicos químicos y biológicos del suelo, los que afectan el desarrollo de las plantas, microorganismos y de la fauna edáfica (Pagliai *et al.*, 2003).

Los CC se establecen entre dos cultivos de cosecha y no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando

los residuos en superficie, luego de interrumpir su crecimiento mediante la aplicación de herbicidas. Los residuos generados por los CC permiten que la energía de las gotas de lluvia sea disipada, evitando la destrucción de los macroporos y favoreciendo la acumulación de agua en el suelo por disminución del escurrimiento (Stallings, 1972). El objetivo de estos cultivos, además de captar la energía de lluvia para evitar la erosión, es incrementar el aporte de material orgánico, mejorar la estructuración, reducir la compactación, minimizar la lixiviación de nitratos residuales, incrementar los contenidos de C y N del suelo (Rufo y Parsons, 2004). En el oeste bonaerense, la combinación de CC invernales con cultivos de grano de verano es otra alternativa a evaluar para proveer de residuos ricos en C y promover el desarrollo y el mantenimiento de la cobertura de los suelos (Eiza *et al.*, 2010). Además, contribuye a la reducción de la densidad aparente (DAP) y de la resistencia mecánica a la penetración (Álvarez *et al.*, 2005). Para cumplir con los beneficios antes mencionados, los CC se pueden incorporar en el período de barbecho invernal. En este sentido, se utilizan especies de ciclo otoño-invernal, pertenecientes a las familias de las gramíneas, leguminosas y crucíferas (Dinnes *et al.*, 2002; Restovich *et al.*, 2011). La elección de la familia/especie está relacionada con la cosecha y la siembra de los cultivos comerciales de la rotación (Ernst, 2004). Los principales problemas de esta práctica están relacionados con la recarga de agua y de nitrógeno del perfil para el cultivo siguiente. En consecuencia, la definición de los momentos de siembra

y secado son fundamentales para que no resulten limitantes del rendimiento de los cultivos principales (Vaughan y Evanylo, 1998), ni fomenten la pérdida de N hacia los acuíferos.

Sanzano y Fadda (2006) encontraron que con mayores niveles de cobertura del suelo se disminuye considerablemente el coeficiente de escurrimiento, además de reducirse la pérdida relativa de suelo, carbono orgánico y fósforo asimilable. Según Ruffo (2003) la presencia de una gramínea invernal sembrada luego de la cosecha de maíz es útil para absorber nitratos residuales, aportar C e incrementar la cobertura de suelo durante el período invernal. En los suelos de textura fina, susceptibles al efecto del viento, los CC también juegan un papel importante evitando que estos se degraden por efecto de la erosión eólica.

Los residuos de los CC quedan en la superficie protegiendo el suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos (Rufo 2003). La cantidad de biomasa que se acumula y la cantidad de agua que consume el CC depende de la especie y es determinante del efecto sobre el cultivo siguiente.

En ambientes semiáridos y áridos los CC podrían reducir la disponibilidad de agua para el siguiente cultivo, debido a la demanda de agua para la producción de biomasa de estos (Mitchell *et al.*, 1999; Salako y Tian, 2003). Sin embargo, está comprobado que el principal factor de pérdida de agua es la evaporación, estimándose que entre el 50 y 75 % de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso

productivo (Bennie y Hensley, 2000). En este sentido, Villalobos y Ferreres (1990) y Wagner-Riddle *et al.* (1997) mostraron que es posible reducir la evaporación utilizando CC, práctica que permitiría disponer de un mayor contenido de agua edáfica. Al respecto, mediante diferentes investigaciones se ha comprobado que el efecto de los residuos en el almacenaje del agua del suelo es altamente variable y depende fuertemente de las precipitaciones (Aboudrare *et al.*, 2006). En tal sentido Power *et al.* (1986) comprobaron que el beneficio de los residuos de cultivos sobre el almacenamiento del agua se magnifica en años secos.

En resumen, se destaca la importancia de la pérdida de porosidad de los suelos, produciendo compactación y sellado del mismo por mal uso. Como consecuencia de tal degradación de la estructura se produce que grandes volúmenes de agua de lluvia que se acumulan en la superficie o escurren hacia las tierras bajas, generan erosión o anegamiento en tierras planas e inundaciones. En este trabajo se planteó el objetivo de estudiar el efecto de la inclusión de cultivos de cobertura sobre la porosidad de un suelo Hapludol bajo monocultivo de soja en siembra directa, en el Oeste de la provincia de Buenos Aires. Para ello, se hipotetizó que para un Hapludol del Oeste de la provincia de Buenos Aires en sistemas de monocultivo soja bajo siembra directa: 1) la inclusión de cultivos de cobertura produce un aumento de los macroporos del suelo; y 2) la inclusión de cultivos de cobertura produce un aumento de la retención de agua en el suelo, a capacidad de campo y punto de marchites permanente.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

En 2007 se instaló un ensayo en la localidad de 30 de Agosto (oeste de la provincia de Buenos Aires) para evaluar los efectos de la

inclusión de CC sobre la dinámica del agua en el suelo. Estos suelos tienen textura superficial franco arenosa y pertenecen al gran grupo de los Hapludoles (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización del suelo estudiado.

Profundidad de horizontes (cm)	Localidad de Treinta de Agosto			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Clase Textural	FA	FA	FA	FA
	----- % -----			
Arcilla < 2 µm	15,7	10,3	12,3	13,5
Limo fino 2-20 µm	10,9	10,9	6,8	7,5
Limo total 2-50 µm	28,1	26,4	20,0	19,7
Arena muy fina 50-74 µm	10,7	11,4	12,1	14,5
Arena muy fina 74-100 µm	12,5	14,2	16,1	15,
Arena fina 100-250 µm	24,7	28,0	31,2	19,
Arena media 250-500 µm	8,5	9,5	8,0,7	7,8
Arena gruesa 500-2000 µm	0,0	0,1	68,1	0,9
Arena total 50-1000 µm	56,4	63,2	0,3	67,2
MO	2,1	0,6	6,7	0,1
pH 1:2,5 agua	5,8	6,3	3,1	7,8
% Na Intercambiable (PSI)	3,2	2,9		8,9
Precipitación promedio anual (mm)	931,0			
Posición geográfica	36° 8' 50,9" S		62° 21' 51,9" O	

El ensayo tenía una estructura factorial 4 x 3 con cuatro niveles (CC): 1) Centeno (*Secale cereale* L. var. Quehué), 2) Avena (*Avena sativa* L. var. Aurora), 3) Raigrás (*Lolium multiflorum* L. var. Estanzuela), implantados todos bajo SD, inmediatamente después de la cosecha de la soja y 4) un barbecho invernal (testigo); y tres niveles (momentos de secado): 1) primer secado (julio), 2) segundo secado (agosto) y 3) tercer secado (septiembre), empleando en los tres casos herbicidas (glifosato) (Figura 1). Las densidades de siembra fueron de 50, 55 y 25 Kg ha⁻¹, para centeno, avena y raigrás respectivamente. Se empleó un diseño experimental de

bloques divididos con 3 repeticiones. Las parcelas que se asignaron al factor CC tenían una dimensión de 8 x 30 m, mientras que las correspondientes al momento de secado eran de 10 x 30 m. Las parcelas de CC fueron designadas de manera aleatoria en los distintos bloques, pero no ocurrió lo mismo con las de momento de secado, ya que los secados fueron realizados con pulverizadora motora. En otoño de 2009, luego de la cosecha de soja y antes de la siembra de cada CC, se tomaron cinco muestras (Fotografía 1) al azar de cada unidad experimental, correspondiente al último momento de secado (septiembre), completando un total

de 15 muestras por tratamiento.

Para la extracción de muestras se tomó la precaución de que el suelo tuviera humedad de manera que permitiera la extracción de las muestras sin que se fracturaran. Cuando el suelo no tuvo la humedad deseada, se debió humedecer el sector donde se extrajo la muestra. Se clavaron los cilindros a la profundidad deseada. Una vez extraída la muestra de suelo, se dejó que sobrepasara de los extremos del cilindro unos 5 mm. Se envolvió el cilindro conteniendo la muestra sin disturbar con papel de aluminio con el fin de evitar la compactación, pérdida de humedad y pérdida de material por manipulación. Finalmente, cada muestra fue correctamente identificada para su posterior análisis. Se tomó la precaución de que el volumen del cilindro estuviera completamente cubierto de suelo, sin grietas o faltante de material.



Fotografía 1. Muestras de suelo enrasadas y preparadas para su procesamiento, con papel de filtro en la parte inferior del anillo.

Para determinar la porosidad se utilizó una olla de presión de Richards (Richards, 1948) (Fotografía 2) del Laboratorio de Física del Instituto de Suelos del INTA Castelar. Las presiones a las que se sometieron las

muestras fueron de 1, 2, 3, 6, 10 y 33 kPa.



Fotografía 2. Olla de presión de Richards.

Para lograr mayor precisión en las mediciones de los valores de presión que generaba el compresor en los 4 primeros puntos de succión, se construyó una columna de agua (Fotografía 3) ya que el manómetro del equipo de presión no contaba con una escala adecuada para observar dichos valores (Fotografía 3). La columna se realizó colocando una escala con valores de 0 a 100 cm y con divisiones cada 10 cm sobre una madera de 1,5 m de alto. Sobre esta escala se ubicó una manguera de 1 cm de diámetro en forma de "U", con uno de sus extremos conectado a la línea de presión y se llenó de agua teñida con azul de metileno. El otro extremo se colocó en posición vertical, y se extendió varios centímetros por encima de la escala para evitar que se escape el agua cuando se genera presión. En este sistema una diferencia de 10 cm entre su nivel más alto y más bajo (5 cm de desplazamiento de cada lado) generó una presión equivalente a 1 Kpa.



Figura 3. Olla de presión de Richards. Izquierda: columna de agua para determinaciones a bajas presiones Derecha: detalle del manómetro.

Para calcular el diámetro de poros que es sometida la muestra, se utilizó la equivalente a cada presión (KPa) a la siguiente ecuación (Tabla 2):

$$D (\mu m) = 300 / KPa$$

Tabla 2. Equivalencia entre diámetro de poros y presiones

Presión KPa	Diámetro (micrones)	Altura columna de agua (m)	
1	300,0	0,10	
2	150,0	0,20	<i>Macroporos</i>
3	100,0	0,30	

4	75,0	0,40	
5	60,0	0,50	
6	50,0	0,60	
8	37,5	0,80	
10	30,0	1,00	<i>Mesoporos</i>
12	25,0	1,20	
16	18,8	1,60	
20	15,0	2,00	
24	12,5	2,40	
33	9,1	3,30	

50	6,0	5,00	
100	3,0	10,00	
500	0,6	50,00	<i>Microporos</i>
1000	0,3	100,00	
1500	0,2	150,00	

El volumen de agua extraída entre dos diámetros específicos de poros equivale al volumen del espacio poroso para ese rango de poros. Los poros son clasificados en macroporos (> 100 μm), mesoporos (100 – 9,1 μm) y microporos (< 9,1 μm). Estos rangos se calcularon a través de la diferencia de humedad volumétrica (HV) retenida entre 0 y 3 KPa para los macroporos, 3 y 33 KPa para mesoporos y el valor de HV a 33 KPa equivale el total de microporos. El valor de PT de cada muestra fue calculado como la HV en el punto de

saturación, ya que se consideró que todos los poros de la muestra se encontraban ocupados con agua.

Para la obtención de la HV y de la PT de cada rango se multiplicó el valor de HG por el valor de la DAP de cada muestra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio de PT (%) para los tratamientos Raigrás, Avena, Centeno y Testigo para 0-5 cm de profundidad. El análisis de varianza indicó que la introducción de CC en la

secuencia soja-soja no produjo cambios significativos ($P > 0,05$) en los valores de PT para los diferentes tratamientos de CC y Testigo. Estos resultados coinciden con resultados reportados por Taboada *et al.* (2003), para un suelo Hapludol franco arenoso, Serie Lincoln. Estos autores afirmaron que la introducción de los CC no causó cambios en la PT ni en la DAP. También expresaron que la falta de efecto de los CC sobre estas propiedades físicas del suelo podría atribuirse al momento de la rotación en la que se realizó el muestreo (siembra del CC). En este sentido, el cultivo de soja que antecedió al muestreo podría haber conducido a homogeneizar las variables evaluadas, enmascarando el efecto de los CC sobre las mismas (Taboada *et al.*, 2003).

Tabla 3. Valores medios (%) de PT, para los tratamientos de Raigrás, Avena, Centeno y Testigo. Se muestra el error estándar de la media (EE) para los valores de cada tratamiento. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos.

Tratamiento	Porosidad	
	total	EE
Raigrás	51,8 a	0,6
Avena	51,7 a	0,6
Centeno	51,3 a	0,9
Testigo	53,3 a	1,1

En la Figura 1 se presentan los valores medios (%) de macroporos ($> 100 \mu\text{m}$), mesoporos (100 a $9,1 \mu\text{m}$) y microporos ($< 9,1 \mu\text{m}$) para los tratamientos Raigrás, Avena, Centeno y Testigo. No se encontraron diferencias significativas en la macroporosidad ($P > 0,05$) entre los diferentes tratamientos (Figura 1).

Estos resultados son coincidentes con los presentados por Sasal y Andriulo (2005) y Restovich *et al.* (2011), quienes trabajando en Argiudoles típicos afirmaron que la inclusión de CC no generó cambios en el volumen de macroporos a 5 cm de profundidad. En cuanto a los mesoporos, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los diferentes tratamientos (Figura 1). El volumen de mesoporos del suelo bajo Centeno fue estadísticamente mayor al volumen de mesoporos del suelo bajo Testigo y Avena. El Raigrás con valores intermedios de mesoporosidad no se diferenció estadísticamente del Testigo y del Centeno. Por último, se observó que la Avena generó menor volumen de mesoporos. La mayor proporción de mesoporos del suelo bajo dos años de inclusión de centeno como CC en un monocultivo de soja, no se debió a la ruptura de los poros de mayor tamaño, ya que la proporción de macroporos no se alteró. La generación de los mesoporos se puede atribuir al efecto de la actividad biológica estimulado por el aporte de MO (Campos *et al.*, 1999). La formación de poros dentro del rango de -10 a -33 Kpa está relacionado con las raíces laterales de 1° y 2° orden y con los pelos radiculares (Hamblin, 1985).

Por último, en la Figura 1 también se observan los valores de microporosidad para todos los tratamientos. Avena y Testigo fueron los tratamientos con mayor volumen de microporos sin presentar diferencias significativas ($P > 0,05$) entre ellos. A su vez estos se diferenciaron estadísticamente ($P < 0,05$) de los tratamientos Raigrás y Centeno, que generaron menor volumen de microporos y no presentaron diferencias significativas entre ellos.

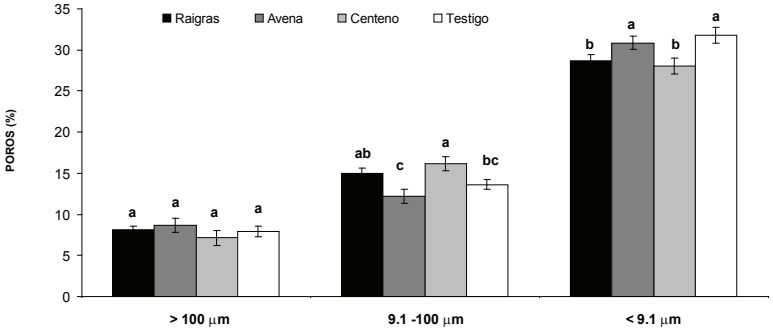


Figura 1. Distribución media de la porosidad por tamaño en los primeros 5 cm de suelo, para los tratamientos de CC y testigo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

En la Figura 2, se muestra la correlación entre el porcentaje de meso- y microporos para cada tratamiento, a fin de explicar la manera en que se relacionan estas dos variables. Para cada tratamiento se calculó el modelo matemático de la función que representa la correlación lineal simple, junto al coeficiente de correlación (r). Para todos los tratamientos, el valor de “ r ” fue de

signo negativo ($-1 < r < 0$), lo que explica que, dichas variables se correlacionan de manera negativa (Figura 2). Esto ayudó a explicar los motivos por los que Centeno y Raigrás fueron los que presentaron menor volumen de microporos (Figuras 2 a y b), con relación a Avena y Testigo, debido a que sufrieron un aumento en el volumen de mesoporos (Figuras 2 c y d).

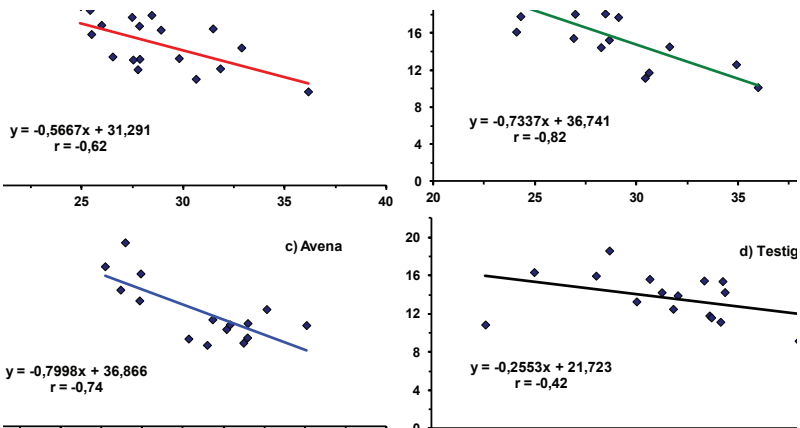


Figura 2. Correlación lineal simple entre los contenidos (%) de mesoporos y microporos para los tratamientos a) Raigrás, b) Centeno, c) Avena y d) Testigo.

La Figura 3 muestra las curvas de retención hídrica característica para Raigrás, Avena, Centeno y Testigo, las cuales se construyeron con los valores medios de HV para los diferentes puntos de succión entre 0 y -33 Kpa. Esto también permitió el análisis más detallado de los mesoporos, donde se observó que las diferencias significativas en el volumen de poros entre tratamientos se produjeron en el rango entre -10 a -33 Kpa, el que se corresponde a un tamaño de poro de 30 – 9,1 μm . Los poros que

pertenecen a este rango son principalmente poros que se encuentran entre agregados. Estos poros tienen por función transmisión, transportando el agua y permitiendo la entrada de aire. Con la inclusión de Raigrás y Centeno como CC se produjo un aumento de los poros en el rango de -10 a -33 Kpa (Figura 3). Estos resultados coinciden con los expresados por, Bollero *et al.* (2006), quienes reportaron cambios similares en la macro y mesoporosidad del suelo con el uso de CC.

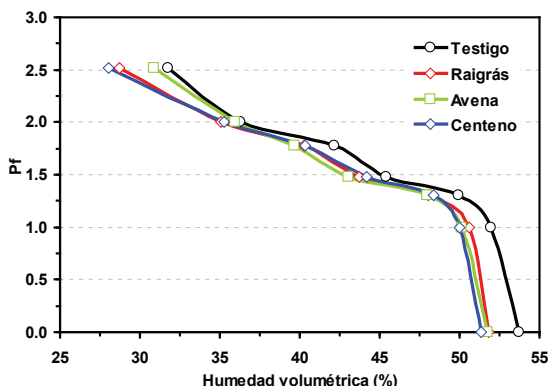


Figura 3. Curva de retención hídrica para Raigrás, Avena, Centeno y Testigo en función de la humedad volumétrica (% HV). En la tabla adjunta se muestran los errores estándar de la media (EE). Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

En la Tabla 4 se muestran los valores promedio de MS (Kg ha^{-1}) que produjeron los tratamientos Raigrás, Avena, Centeno y Testigo en dos años consecutivos (2007 y 2008).

La producción de materia seca de Centeno en 2007 fue significativamente mayor que la de Raigrás y Avena. En 2008 la producción de MS de Centeno y Avena fueron estadísticamente mayores a la

de Raigrás y Malezas del Testigo. A su vez la producción de MS de Raigrás fue estadísticamente mayor a la producción de MS de las Malezas del Testigo (Tabla 4). Los resultados mostrados son coincidentes con los que presentaron Campos *et al.* (1999), quienes atribuyen el aumento en la mesoporosidad al mayor aporte de MO, proveniente de la producción de biomasa de los CC, ya que de esta manera se

estimula la actividad biológica. Contrario a lo que sucedió con el Centeno y Raigrás, la Avena no se diferenció del testigo en cuanto al volumen de mesoporos. Aunque este último CC produjo gran cantidad de MS no provocó cambios significativos en el volumen de mesoporos con respecto al testigo. Restovich *et al.* (2011) expresaron que, en un suelo bajo colza, en los primeros 5 cm de profundidad, hay una reducción del volumen de mesoporos y aumento de los macroporos. El cultivo de colza podría presentar raíces con diámetros

predominantemente superiores al de los mesoporos (Restovich *et al.*, 2011). Por tal motivo, el menor diámetro de las raíces de Avena no sería suficiente para generar mesoporos, tal como ocurre con Centeno y Raigrás.

Tabla 4. Producción de materia seca (Kg ha^{-1}) para Raigrás, Avena, Centeno y malezas en Testigo para 2007 y 2008. Se incluye el error estándar y letras diferentes indicando diferencias significativas entre tratamientos.

Sitio	Año	Secado	Cultivo	Kg MS/ha	EE
"El Correntino"	2007	Septiembre	Raigras	2010,7 (b)	366,5
			Avena	2650,7 (b)	383
			Centeno	4092,7 (a)	247,7
	2008	Septiembre	Raigras	5106,7 (b)	282,2
			Avena	8746,7 (a)	262,4
			Centeno	10333,0 (a)	612,3
			Malezas	1826,7 (C)	854,6

CONSIDERACIONES FINALES

Considerando que, en ambientes semiáridos y subhúmedos se ha ido reemplazando la vegetación natural por la cultivada, disminuyendo así la cobertura del suelo y aumentando la evaporación, que es el principal factor de pérdida de agua, la inclusión de CC en secuencias soja-soja podría ser una práctica que recomendar con el fin de mejorar la sustentabilidad de los sistemas productivos. Los CC reducen la evaporación y absorben la emergía de las gotas de lluvia, evitando los efectos negativos sobre la disponibilidad de agua para el siguiente cultivo y propiciando sistemas productivos sostenibles. En este trabajo se observó que Centeno y Raigrás incluidos como CC, produjeron una

modificación en la distribución del tamaño de poros, incrementando el volumen de mesoporos y, de esta manera, aumentando la cantidad de agua captada por el suelo capaz de ser retenida. Los CC también protegieron al suelo del impacto de las gotas, con lo cual no se redujo el volumen de macroporos, favoreciendo una mayor infiltración y un menor escurrimiento superficial del agua. El centeno por ser la especie mejor adaptada a la zona por su tolerancia al frío y a las sequías, produjo mayor cobertura. Asimismo, el tratamiento que generó mayor volumen de mesoporos sin afectar a los macroporos fue Centeno. En cuanto a las propiedades químicas, los CC incrementan los contenidos de MO y N en el suelo (Rufo, 2003). El aumento

de la MO contribuye a la reducción de los valores de DAP y de resistencia mecánica a la penetración (Alvarez, *et al.*, 2005). En este sentido, por su mayor producción de MS, el Centeno aportaría mayor cantidad de MO y N al suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que para las condiciones de estudio y para un suelo Hapludol de la región subhúmeda pampeana la inclusión de CC, en una secuencia de soja continua, no produjo un aumento en los niveles de Macroporos en los primeros 5 cm de profundidad. De todas maneras, la distribución del tamaño de poros del suelo bajo Centeno y Raigras se modificó respecto del suelo bajo Avena y el Testigo. El suelo bajo Centeno y Raigras produjo un aumento en el volumen de mesoporos. Se debe tener en cuenta que el Centeno fue la especie que más se destacó por el alto volumen de mesoporos y por ser el mayor productor de MS.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C.; Barraco M.; Díaz Zorita M.; Scianca C. y C. Pecorari. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación técnica N° 87. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana.
- Aboudrare A., Debaeke P., Bouaziz A., Chekli H. 2006. Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 83, 183-196.
- Bennie A. and M. Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241: 124-139.
- Bricchi, E. 1996. Relaciones entre la compactación, morfología y propiedades físicas de un Hapludol típico de Río IV. Tesis para obtención del título *Magister Scientiae* – Área Ciencias del Suelo. UBA.
- Bollero G. A.; Villamil M.B; Darmody R.G; Simmons F.W. y Bullock D.G. 2006. No-till corn/soybean Systems includ winter Cover Crops: Effects on soil properties. *Soil Science Society of America Journal*. 1936 – 1944. Published by Soil Science Society of America.
- Campos, B.C., Reinert, D.J, Nicoladi, R., Cassol, L.C. 1999. Dinámica da agregação inducida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:383-391.
- Casas R.R. 2006. Preservar la calidad y salud de los suelos: una oportunidad para la Argentina. INTA., Instituto de Suelos. Informe Técnico.
- Dinnes, D.L., D.L. Karlen, D.B. Jaynes, T.C. Kaspar, y J.L. Hatfield. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agron. J.* 94:153-171
- Eiza, M.J. 2010. Mesa Redonda: Cultivos de cobertura: una alternativa de manejo del agua en tierras de secano. En: Actas en CD del I

- Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. 21 al 24 de septiembre de 2010. Azul, Buenos Aires, Argentina.
- Ernst, O. 2004. Leguminosa como cultivo de cobertura. IMPOFOS informaciones agronómicas del cono sur, nº21. Pág: 16 – 20.
 - Gavande, A.G. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa, 347: 157-199.
 - Hamblin, A.P. 1985. The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Adv. Agron.*, 38:95-158.
 - Kirby, J. M.; B. G. Blunden; C. R. Trein. 1997. Simulating soil deformation using a critical state model: II. Soil compaction beneath tyres and tracks. *European Journal of Soil Science*, 48: 59-70.
 - Kruger H.; Agamennoni R. y M. Ripoll. 2005. Siembra directa de trigo en el sur de la región semiárida pampeana. *Boletín técnico N° 14*. INTA Bordenave. p. 1-15.
 - Michelena, R.O. 2008. Cómo controlar la erosión hídrica para que no destruya los suelos. INTA. Instituto de Suelos. Informe Técnico.
 - Mitchell, J.P., Peters, D.W. and C. Shennan. 1999. Changes in soil water storage in winter fallowed and cover cropped soils. *J. Sust. Agric.* 15: 19-31.
 - Pagliai, M.; A. Marsili; S. Pieranna; N. Vignozzi; S. Pellegrini. 2003. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research*, 73: 119–129.
 - Plá Sentis I. 1994. Curso sobre efectos de la labranza en las propiedades físicas de los suelos. Instituto de Suelos. C.I.R.N. INTA Castelar. Capítulo II, Labranzas y Propiedades Físicas de los Suelos. P. 20.
 - Power, J; W Wilhelm & J Doran. 1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soya bean production. *Soil Till. Res.* 8: 101-111.
 - Restovich, S.B; Andriulo, A.E. y Amendola, C. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ci. Suelo* 29 (I): 61-73.
 - Rufo, M.L. 2003: Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso de AAPRESID*: 171-176.
 - Rufo, M. y A. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. IMPOFOS informaciones agronómicas del cono sur, nº21. Pág. 13-15.
 - SAGPyA. 2010. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Ministerio de Economía, República Argentina. www.sagpya.mecon.gov.ar.
 - Salako, F.K. y G. Tian. 2003. Soil water depletion under various leguminous cover crop in the derived savanna of West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100: 173-180.
 - Sanzano, G. A. y Fadda, G. S. 2006. Esguerramiento, pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica con

la introducción de la rotación soja-maíz. En: Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 20, Salta, R. Argentina, p. 412.

- Sasal, M. C. y A. Andriulo. 2005. Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus sativus* L. (nabo forrajero). INTA Pergamino. Informe técnico.
- Stallings, J.H. 1972. El suelo, su uso y mejoramiento. Ed. C.E.C.S.A., traducido por Celedonio Sevillano Mayo. 480: 145-293.
- Taboada, M.; Varela, M.F; Fernández, P.; Álvarez, C.; Scianca, C.; Rubio, G. 2003. Propiedades Físicas que varían por la incorporación de cultivos de cobertura en Hapludoles Francos Arenosos. INTA General Villegas. Informe técnico.
- Taboada, M.A. y Micucci, F.G. 2002. Fertilidad física de los suelos. Orientación grafica editora. Pág. 237.
- Vaughan, J.D. y Evanylo, G.K. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. Agron. J. 90: 536-544.
- Villlobos, F.J. and E. Ferreres. 1990. Evaporation measurements beneath corn, cotton and sunflower canopies. Agron. J. 82: 1153-1159.
- Wagner-Riddle, C., Gillespie, T.J., Hunt, L. A. and C. J. Swanton. 1997. Modeling a rye cover crop and subsequent soybean yield. Agron. J. 89: 208-218.