

Jornadas de Cultivos de Cobertura – 28 y 29 de Septiembre de 2007

General Villegas y General Pico

Resultados parciales de la Red de Ensayos de Cultivos de Cobertura

Inclusión de Cultivos de Cobertura bajo Agricultura de Secano en la Región Semiárida Pampeana

EEA Anguil: Ing. Agr. Alberto Quiroga

Instituto de Suelos, INTA Castelar: Ing. Agr. Patricia Carfagno; Ing. Agr. Maximiliano Joaquín Eiza; Ing. Agr. Roberto Michelena

Introducción

En muchas zonas agrícolas de nuestro país las precipitaciones no logran cubrir los requerimientos del uso consuntivo de los cultivos y frecuentemente limitan el rendimiento y la respuesta a la fertilización. La evaporación es el principal factor de pérdida de agua, 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). Generalmente, en el período de barbecho, las precipitaciones ocurridas exceden la capacidad de retención de los suelos, evaporándose, escurriendo o percolando en profundidad, resultando en una baja eficiencia en el uso del agua (EUA). Por lo tanto, la inclusión de un cultivo de cobertura (CC) que utilice el excedente de agua en la generación de biomasa, secuestrando carbono (C), nitrógeno (N) y otros nutrientes, sería una alternativa a considerar, en rotaciones de cultivos bajo sistemas agrícolas de secano de la región Semiárida Pampeana, en los cuales el agua es el principal factor limitante en la producción.

El área cultivada de soja se ha incrementado de 6,7 a 15,0 millones de hectáreas a nivel nacional, en el período 1996/2006 (SAGPyA, 2007). En este sentido, cabe mencionar que la producción de biomasa de éste cultivo, tanto de rastrojo como de raíces, son limitados. Como se muestra en los resultados de Domínguez y Studdert (2006), cuando los rendimientos de la soja son medios a bajos, el balance de C resulta negativo, para las condiciones del Sudeste Bonaerense.

Diferentes estudios, en ambientes sub-húmedos, muestran que los distintos niveles de cobertura sobre el suelo, afectan al contenido de agua, al uso consuntivo y a las pérdidas de suelo por erosión (Quiroga *et al.*, 1996). En este sentido, una alternativa para incrementar la cobertura a través del aporte de residuos y, consecuentemente de materia orgánica (MO), bajo sistemas de producción agrícola, es la incorporación de CC. Éstos se establecen entre dos cultivos de cosecha y no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando los residuos en superficie protegiendo al suelo de los procesos de erosión y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y

radicular de los mismos (Mullen *et al.*, 1998; Rufo, 2003). En resumen, los objetivos perseguidos al incluir CC en una rotación son: optimizar el balance de C (Hendrix *et al.*, 1998; Ding *et al.*, 2006); inmovilizar nutrientes móviles durante el barbecho (Nyakatawa *et al.*, 2001; Strock *et al.*, 2004; Fernandez *et al.*, 2005); controlar malezas (Liebman y Davis 2000; Fisk *et al.*, 2001); y mejorar la EUA (Fernandez *et al.*, 2005).

En la elección de la especie como CC se deben considerar cuatro parámetros importantes: la tasa de descomposición de los residuos, la recarga de humedad del perfil, la rotación en la que se incluye el CC y la sincronización entre la mineralización de N acumulado en la biomasa de los CC, con los requerimientos del siguiente cultivo en la rotación. Considerando la rotación de los cultivos, en las secuencias donde predominan las gramíneas como el trigo y el maíz se tiende a acumular una gran cantidad de rastrojo en superficie, debido a la alta relación C/N de los mismos. En este tipo de rotación una leguminosa como CC aportaría N mineral a los cultivos de grano. Las especies usadas que integran esta familia son las Vicias, como la *Vicia villosa* (resistente al frío), la *Vicia sativa*, y los Tréboles, como el Trébol blanco, de olor, de Alejandría y encarnado (Rufo, 2003). La inclusión de una leguminosa entre la Soja y el Maíz aporta C, genera cobertura, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del maíz.

Entre las Gramíneas más usadas se encuentra el Centeno, por su gran resistencia al frío, tolerancia a sequía y producción de abundante volumen de residuo, la Avena, la cebada, el triticale y el raigrás. Una gramínea invernal sembrada luego de la cosecha de cultivos de verano absorbe nitratos residuales (Strock *et al.*, 2004), aporta C (Ding *et al.*, 2006) y compite con las malezas invernales (Fisk *et al.*, 2001).

Por lo expuesto hasta aquí, surge la necesidad de la realización de este ensayo, que tiene el objetivo de avanzar en el conocimiento acerca del efecto de los CC sobre la eficiencia en el uso del agua, la optimización en el balance de C y la reducción de la lixiviación de N, en suelos con diferentes regímenes hídricos pertenecientes a la región Semiárida Pampeana.

Para alcanzar el objetivo planteado, se postulan los siguientes objetivos específicos:

- 1- Evaluar la producción de materia seca (MS) de diferentes CC (raigrás, centeno y avena);
- 2- Evaluar el efecto de la inclusión de los CC, sobre la cantidad y calidad de MO del suelo;
- 3- Evaluar la eficiencia en el uso del agua en el suelo para cada uno de los sistema de cultivo planteados; y
- 4- Evaluar la producción de soja en cada una de las secuencias.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo esta experiencia se seleccionaron dos sitios: Sitio 1, 30 de Agosto (O de la Provincia de Buenos Aires) y Sitio 2, Dorila (NE de la Provincia de La Pampa) (Figura 1), con variaciones en sus condiciones climáticas (precipitación y temperatura). En la Figura 2 se presentan las precipitaciones históricas y las registradas en el período Enero-Agosto de 2007. Los suelos correspondientes a dichos sitios pertenecen a los Grandes Grupos Hapludoles y Haplustoles (Tabla 1).

Tabla 1. Sitios de la región Semiárida Pampeana donde se ubican los ensayos de CC.

Sitio	Establecimiento	Posición geográfica del lote	Clasificación	Profundidad (cm)
30 de Agosto	“El Correntino”	36° 8' 50.9" Sur 62° 21' 51.9" Oeste	Hapludol	+ 200
Dorila	“Don Jesús”	35° 49' 28.8" Sur 63° 43' 46" Oeste	Haplustol	180



Figura 1. Ubicación de los ensayos en las localidades de 30 de agosto y Dorila.

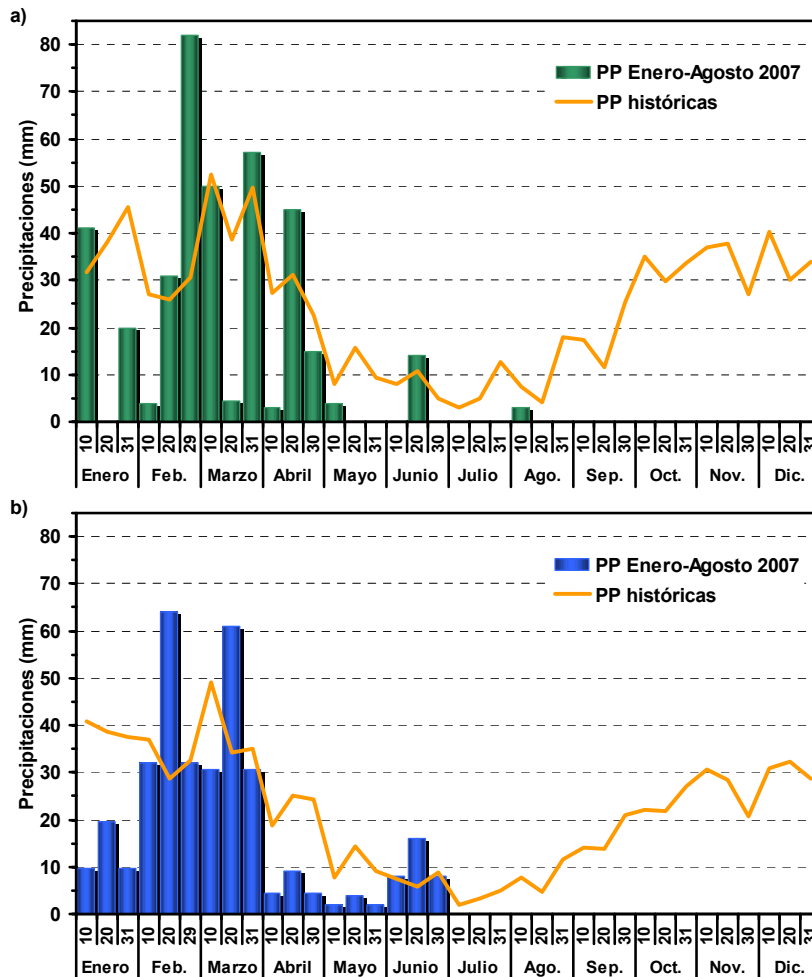


Figura 2. Precipitaciones de Enero-Agosto de 2007 e históricas correspondientes a 30 de Agosto (a) y Dorila (b).

En cada sitio se realizaron las descripciones morfológicas correspondientes y se tomaron muestras del perfil de suelo, a fin de realizar las determinaciones y análisis de laboratorio señalados más abajo. Estas determinaciones se efectúan en los laboratorios del Instituto de Suelos del CIRN-INTA, Castelar.

En cada uno de los sitios elegidos, se utilizó un diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo factorial en parcelas divididas, con 4 repeticiones (bloques) utilizando parcelas de 8 m x 30 m; quedando definidos, en cada sitio, tres CC, resultantes de la implantación, luego de la cosecha de soja, de tres especies forrajeras: raigrás (*Lolium multiflorum* var. Estanzuela), centeno (*Secale cereale* var. Quehué) y avena (*Avena sativa* var. Aurora) y un testigo (soja continua). Las densidades de siembra fueron 25, 50 y 55 Kg ha⁻¹ para raigrás, centeno y avena, respectivamente. En la parcela principal se establecieron dos niveles de fertilización: 0 y 46 kg N ha⁻¹ bajo la forma de urea (Figura 3). En las

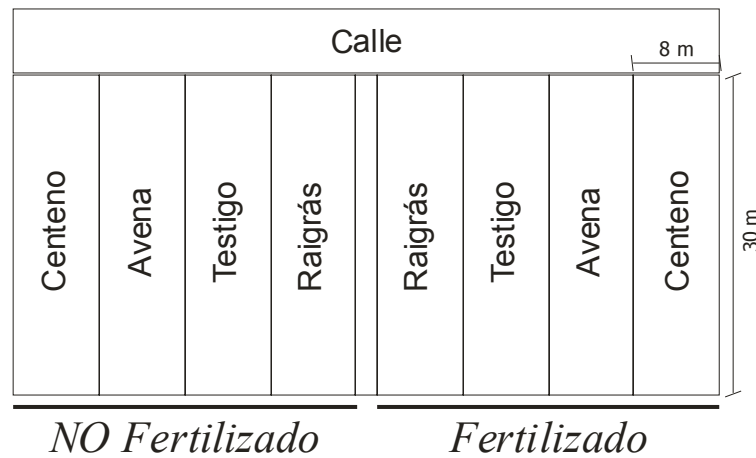


Figura 3. Ejemplo de un bloque (repetición) de los ensayos para cada uno de los sitios.

subparcelas se establecieron cuatro niveles de CC (Figura 3) y en la sub-subparcelas se asignaron tres momentos de secado del CC: julio, agosto y septiembre.

Seguimiento del estado de humedad del suelo.

Los contenidos de humedad en el suelo fueron determinados gravimétricamente en ambos sitios a la siembra (15 de marzo y 15 abril, en los Sitios 1 y 2, respectivamente). El seguimiento del perfil hídrico se realizó en abril, junio y julio para Sitio 1 y en junio y julio para Sitio 2. Se realizó el seguimiento de las precipitaciones desde la siembra (Figura 5b).

Evolución de la producción de materia seca.

Se realizaron cortes de 0.25 m² por parcela de la biomasa aérea producida por los CC, y se registró el peso seco en estufa a 60°C. Los cortes son coincidentes con los momentos de muestreos de humedad.

Cuantificación de malezas:

Al momento de realizar los cortes de la biomasa se determina la densidad de las malezas que se desarrollan en los distintos tratamientos.

Procesamiento de datos.

Los datos analíticos cuantitativos son procesados estadísticamente mediante ANOVA y las diferencias entre medias a partir del test de Tukey.

Resultados parciales

Localidad de 30 de Agosto

Perfiles de humedad

Los perfiles de humedad volumétrica correspondientes a las parcelas de raigrás, avena, testigo y centeno, para cada fecha de muestreo, con y sin fertilización se muestran en las Figuras 4a, b, c y d, respectivamente. Del análisis realizado sobre los contenidos de humedad de los perfiles se observó que los CC y la fertilización tuvieron efecto sobre la humedad en todas las fechas (Figuras 4). A la siembra, todas las parcelas mostraban el mismo nivel de humedad, cercano a capacidad de campo (CC). Luego de la siembra y hasta el siguiente muestreo (abril) se registraron precipitaciones (Figura 5b) que generaron un incremento de la humedad en las parcelas testigo y en los cultivos de raigrás y avena no fertilizados (Figura 4). Por el contrario, el mayor consumo de raigrás, avena y centeno fertilizados, hizo que se registraran valores de humedad similares que al inicio en todo el perfil (Figura 4).

En junio, pasados tres meses desde la siembra, se generaron diferencias importantes por efecto de la fertilización y de los cultivos, lo que produce la diferenciación en tres grupos de comportamiento para ese momento de muestreo:

1) testigos y el raigrás no fertilizado: los tres perdieron humedad por evaporación y consumo del raigrás, respecto de la fecha muestro anterior (abril), aunque fueron los que mostraron mayor porcentaje de humedad volumétrica que los otros dos grupos. Cabe aclarar que entre abril y junio solo se registraron 18 mm de lluvia (Figuras 4 y 5a).

2) avena y centeno fertilizados: fueron los que contrariamente al grupo 1 mostraron los menores contenidos de humedad, debido a una mayor tasa de extracción de agua de estos cultivos, relacionada a una mayor biomasa producida bajo fertilización (Figura 4 y 5a).

3) raigrás fertilizado, avena y centeno no fertilizados: presentaron valores intermedios de humedad volumétrica entre los grupos 1 y 2, acordes a los consumos de agua de estos cultivos (Figura 4 y 5a).

En julio, último momento de muestreo, el contenido de humedad del perfil se redujo en todas las parcelas (Figura 4). Sin embargo, mientras que el testigo perdió agua hasta los 60 cm (Figura 4c), en las parcelas con cultivos se observó una pérdida de agua hasta 100 cm de profundidad (Figura 4a, b y d).

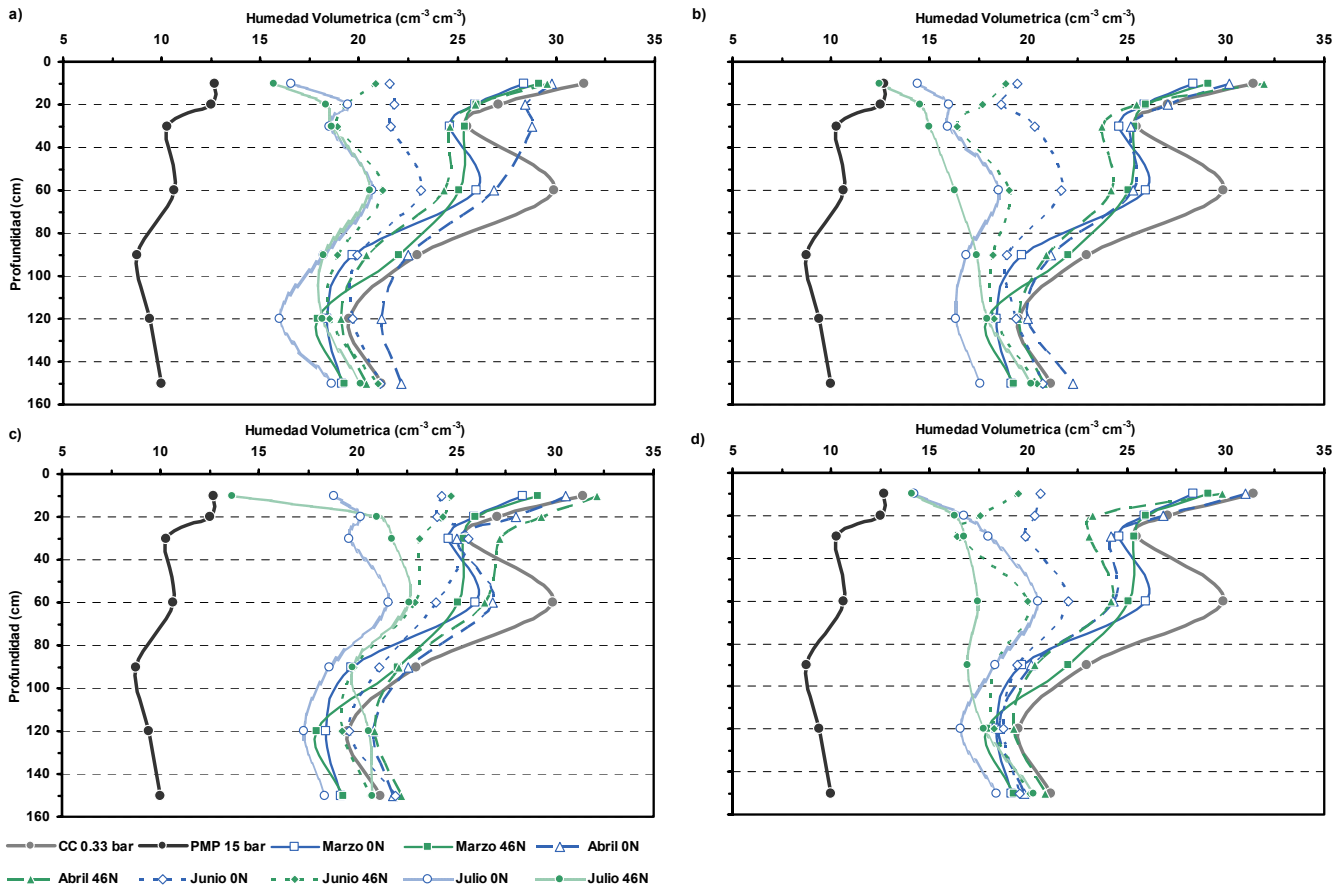


Figura 4. Perfiles de humedad volumétrica correspondientes a las parcelas de raigrás (a), avena (b), testigo (c) y centeno (d) para cada fecha, fertilizados (46 N) y no fertilizados (0N), correspondientes al ensayo ubicado en la localidad de 30 de Agosto.

Evolución del agua útil del suelo

La evolución en la lámina de agua útil hasta 1.5 m de profundidad y las precipitaciones ocurridas en ese período se muestran en la Figura 5. Hasta el primer muestreo se observó un incremento de la lámina útil en los tratamientos testigos, raigrás y avena no fertilizados, que estuvo relacionado con las precipitaciones ocurridas en dicho período, las que fueron el 86% de las lluvias totales desde la siembra al último muestreo (julio) (Figura 5). Las precipitaciones ocurridas en dicha período fueron utilizadas por la avena y el centeno fertilizados y el centeno no fertilizados, por lo que las láminas de los suelos bajo estos cultivos se mantuvo al mismo nivel que al momento de la siembra (Figura 5).

En los períodos sucesivos abril-junio y junio-julio, solo se registraron 18 y 0 mm de precipitaciones, respectivamente, lo que junto al consumo de los cultivos y la evaporación produjo una reducción del agua útil disponible, incluso en los testigos, que mostraron no ser eficientes en conservar el agua acumulada (Figura 5a). En este sentido, los cultivos fertilizados, fueron los que mostraron las mayores pérdidas en la lámina de agua útil.

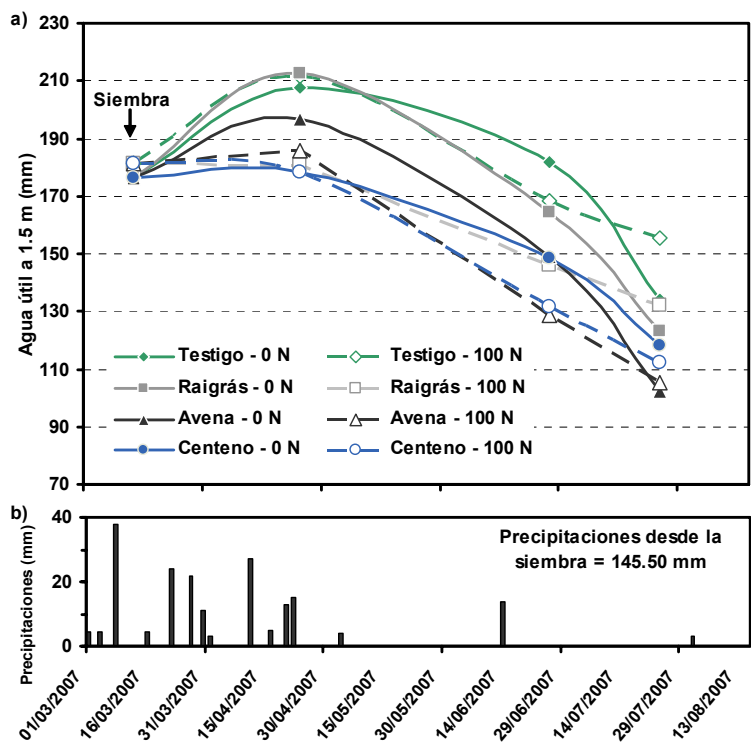


Figura 5. a) Evolución de la lámina de agua útil a 1.5 m de profundidad de las parcelas de raigrás, avena, testigo y centeno fertilizados (100 N) y no fertilizados (0N), del ensayo ubicado en la localidad de 30 de agosto. b) Precipitaciones registradas desde el 1 de marzo.

Producción de materia seca

La producción de MS de cada una de los cultivos de cobertura se analizó diferenciando el efecto de la fertilización (Figura 6) y de los cultivos para cada una de las fechas de muestreo.

Del análisis del efecto de la fertilización sobre cada uno de los cultivos, se observó una respuesta positiva de la fertilización nitrogenada sobre todos los cultivos de cobertura en las tres fechas de muestreo. En este sentido, el raigrás mostró diferencias estadísticamente significativas en todas las fechas de muestreo entre tratamiento fertilizado (F) y no fertilizado (NF), mientras que la avena y el centeno las tuvieron en las últimas fechas de muestreo (Figura 6).

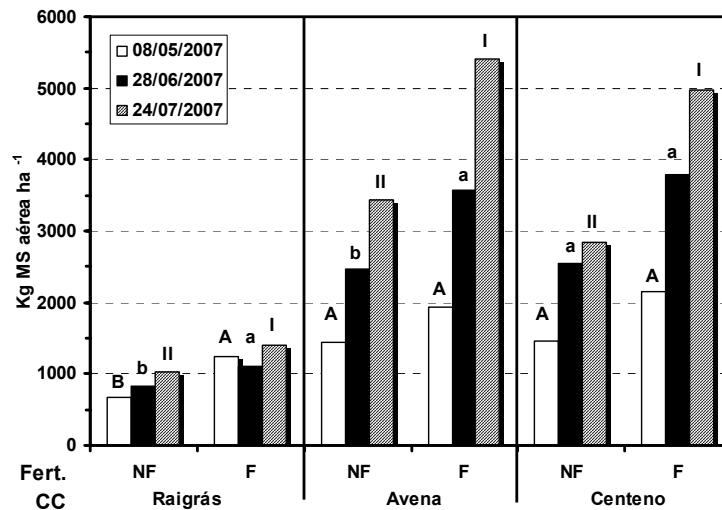


Figura 6. Producción de materia seca aérea de las parcelas de raigrás, avena y centeno fertilizados (F) y no fertilizados (NF), ordenados según cultivo. Para cada cultivo letras mayúsculas, minúsculas o números romanos diferentes indican diferencias significativas entre nivel de fertilización ($P < 0.05$). Los datos corresponden al ensayo de 30 de Agosto.

Analizando el comportamiento de los cultivos en las tres fechas de corte, se observó que para ambos niveles de fertilización, en el primer momento de muestreo el raigrás se diferenció del centeno, mientras que en las fechas restantes se diferenció de la avena y del centeno (datos no mostrados). Esta diferenciación se produjo debido a que la acumulación total promedio de MS del raigrás fue de alrededor de 257 Kg ha^{-1} , mientras que la avena y el centeno aumentaron en promedio 2414 Kg ha^{-1} (Figura 6).

Eficiencia del Uso de Agua.

Las eficiencias de producción de materia seca aérea (KgMS mm^{-1}) de las parcelas de raigrás, avena y centeno, fertilizados y no fertilizados, en cada intervalo entre fechas de corte: 15 de marzo-8 de mayo (08/05/07), 8 de mayo-28 de junio (28/06/07) y 28 de junio-24 de julio (24/07/07), se muestran en la Figura 7. Del análisis de la eficiencia en el uso del agua de los diferentes CC, se observó el efecto positivo de la fertilización nitrogenada; en este sentido, el raigrás, la avena y el centeno, bajo este tratamiento mostraron mayores eficiencias en los tres períodos considerados. Asimismo, los cultivos más eficientes en el uso del agua fueron la avena y el centeno fertilizado, mostrando grandes incrementos en el tercer período.

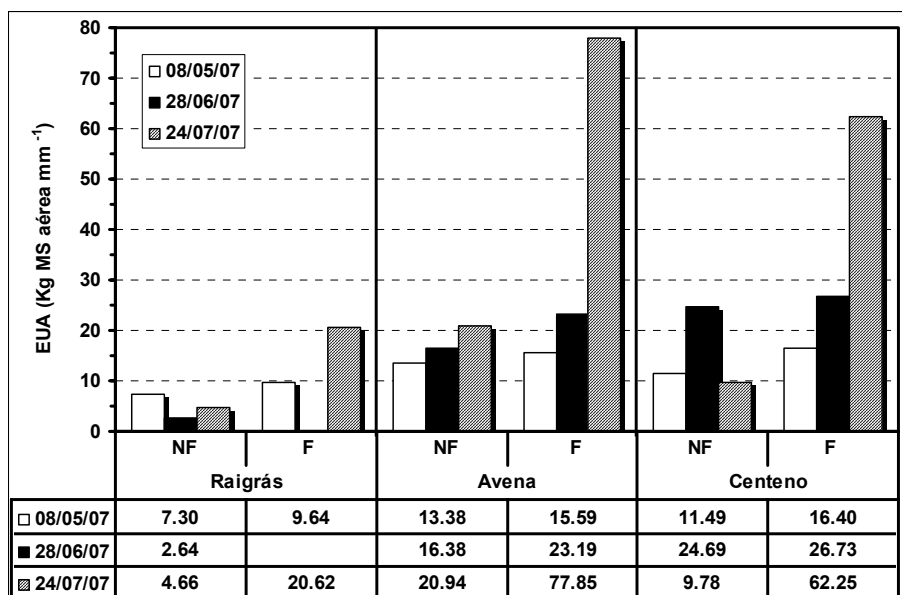


Figura 7. Eficiencias de producción de materia seca aérea de las parcelas de raigrás, avena y centeno fertilizados (F) y no fertilizados (NF), en cada intervalo entre fechas de corte: 15 de marzo-8 de mayo (08/05/07), 8 de mayo-28 de junio (28/06/07) y 28 de junio-24 de julio (24/07/07), correspondientes al ensayo de 30 de Agosto.

Localidad de Dorila

Perfiles de humedad

Los perfiles de humedad volumétrica correspondientes a las parcelas de raigrás, avena, testigo y centeno, para cada fecha de muestreo, con y sin fertilización se muestran en las Figuras 8a, b, c y d, respectivamente. A la siembra (abril), todas las parcelas mostraban el mismo nivel de humedad, cercano a 50% del agua útil. Luego de la siembra y hasta el siguiente muestreo (junio) hubo consumo de la humedad del suelo hasta los 30 cm de profundidad bajo raigrás, avena y centeno, siendo el testigo el único que no mostró diferencias con respecto a la humedad de siembra. Cabe aclarar que en este período las precipitaciones registradas fueron de 26 mm.

En el siguiente muestreo (julio), se registraron 32 mm de lluvia, lo que se tradujo en un aumento de la humedad volumétrica de las parcelas testigo, raigrás y avena no fertilizada. Por el contrario, la avena y el centeno fertilizados y el centeno no fertilizado no mostraron aumentos en esta variable, especialmente en superficie, debido a la utilización del agua en la producción de biomasa.

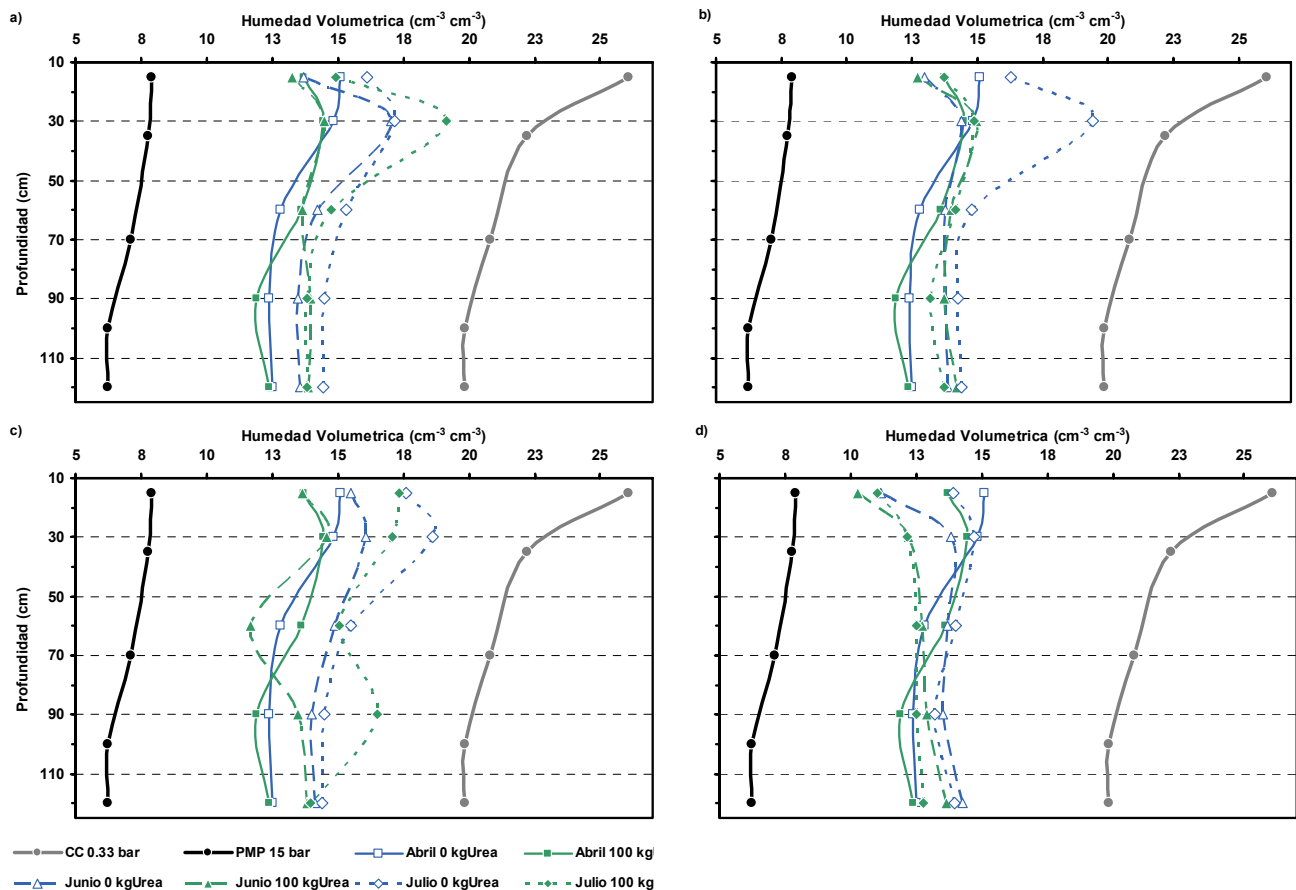


Figura 8. Perfiles de humedad volumétrica correspondientes a las parcelas de raigrás (a), avena (b), testigo (c) y centeno (d) para cada fecha, fertilizados (46 N) y no fertilizados (0N), correspondientes al ensayo ubicado en la localidad de Dorila.

Evolución del agua útil del suelo

La evolución de la lámina de agua útil hasta 1.2 m de profundidad y las precipitaciones ocurridas en ese período se muestran en la Figura 9. Hasta el primer muestreo (junio) se observó un incremento en la lámina útil en todas las parcelas no fertilizadas, y en las de raigrás y avena fertilizadas, que estuvo asociado a los 26 mm de precipitaciones ocurridas en dicho período. Por el contrario, la lámina del centeno fertilizado disminuyó alrededor de 7 mm respecto a la lámina inicial, debido al mayor consumo de este cultivo.

En el segundo período, junio-julio, se registraron 32 mm de precipitaciones, observándose que las láminas de agua útil siguieron las mismas tendencias que en el período anterior, a excepción de la avena fertilizada que utilizó el agua de las precipitaciones en la generación de biomasa. Por lo tanto, este cultivo mantuvo la lámina, arrojando valores similares que en el muestro de anterior. En cuanto al centeno fertilizado, continuó extrayendo agua, por lo que mostró una disminución marcada de la lámina de agua útil.

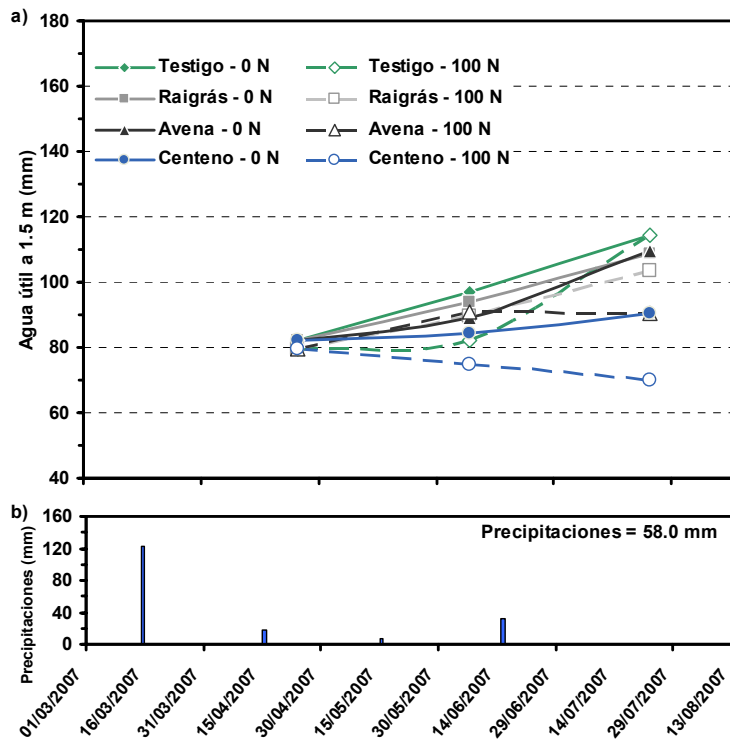


Figura 9. Evolución de la lámina de agua útil a 1.2 m de profundidad de las parcelas de raigrás, avena, testigo y centeno fertilizados (100 N) y no fertilizados (0N), del ensayo ubicado en la localidad de Dorila. b) Precipitaciones registradas desde el 1 de marzo.

Producción de materia seca

La producción de MS de cada una de los cultivos de cobertura se analizó diferenciando el efecto de la fertilización (Figura 10) y de los cultivos para cada una de las fechas de muestreo.

Del análisis del efecto de la fertilización sobre cada uno de los cultivos, se observó que existe un incremento de la biomasa generada bajo el tratamiento fertilizado (100 Kg ha⁻¹ de urea) en todos los cultivos. Sin embargo, este incremento no fue estadísticamente significativo en ninguna de las fechas de corte.

De la observación del desarrollo de biomasa aérea de los tres CC en dos fechas de corte (junio y julio) se desprende que bajo ambos niveles de fertilización el raigrás se diferenció de la avena y del centeno, como consecuencia del mayor volumen producido por estas dos últimas especies (datos no mostrados).

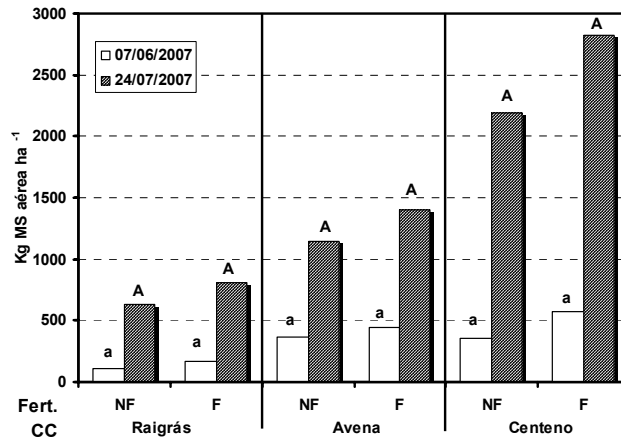


Figura 10. Producción de materia seca aérea de las parcelas de raigrás, avena y centeno fertilizados (F) y no fertilizados (NF), ordenados según cultivo. Para cada cultivo letras mayúsculas o minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre nivel de fertilización ($P < 0.05$). Los datos corresponden al ensayo de Dorila.

Eficiencia del Uso de Agua.

Las eficiencias de producción de materia seca aérea de las parcelas de raigrás, avena y centeno fertilizados (F) y no fertilizados (NF), en cada intervalo entre fechas de corte: 15 de abril-7 de junio (07/06/07), y 7 de junio -23 de julio (23/07/07), se muestran en la Figura 11. Del análisis de la eficiencia en el uso del agua de los diferentes CC, se observó un efecto positivo de la fertilización nitrogenada; en este sentido, en el segundo período se observó la mayor eficiencia, para los tres CC, siendo el centeno (fertilizado y no fertilizado) el cultivo más eficiente en el uso de agua hasta este momento del ensayo.

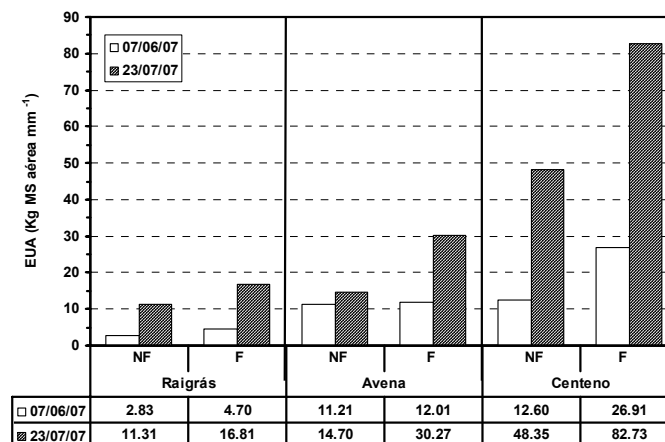


Figura 11. Eficiencias de producción de materia seca aérea de las parcelas de raigrás, avena y centeno fertilizados (F) y no fertilizados (NF), en cada intervalo entre fechas de corte: 15 de abril-7 de junio (07/06/07), y 7 de junio -23 de julio (23/07/07), correspondientes al ensayo de Dorila.

Comentarios finales

En el ensayo ubicado en 30 de Agosto, la producción de materia seca aérea de centeno y avena se destacó por sobre la de raigrás. De lo observado hasta este momento, se podría considerar que para siembras realizadas en el mes de marzo, la avena y el centeno son cultivos adecuados para ser utilizados como cultivos de cobertura en ésta zona subhúmeda. La fertilización mejoró esta situación haciendo que avena y centeno tuvieran una mayor producción. Asimismo, estos cultivos tuvieron un mejor aprovechamiento del agua, lo que hace a una mayor eficiencia de este recurso.

En el ensayo ubicado en Dorila, sobresalió la producción de materia seca aérea de centeno sobre las de los otros cultivos. Para esta zona, Semiárida Pampeana y para siembras de abril, el centeno parecería ser el cultivo más apropiado como cultivo de cobertura. Por otra parte, la fertilización mejoró la producción de materia seca de esta especie, lo que estuvo reflejado en una mayor eficiencia en el uso del agua para convertir biomasa aérea.

Estos ensayos continúan siendo evaluados con el mismo rigor y serán presentados en Congresos y publicaciones relacionados al área de estudio.

Esta página está sujeta a modificaciones, ya que seguirá siendo actualizada en línea con la obtención de nuevos resultados.

VII. Bibliografía.

- Bennie, A. y Hensley, M. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241:124-139
- Ding, G.; Liu, X.; Herbert, S.; Novak, J.; Dula, A. y Xing. B. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*. 130:229-239
- Domínguez, G. y Studdert, G. 2006. Balance de Carbono en un Molisol bajo labranza convencional. (En actas en CD). XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Fernández, R.; Funaro, D. y Quiroga, A. 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
- Fisk, J.; Hesterman, O.; Shrestha, A.; Kells, J.; Harwood, R.; Squire, J. y Sheaffe C. 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn *Agronomy Journal* 93:319-325.
- Hendrix, P.; Franzluebbers, A. y McCracken, D. 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. *Soil Till. Res.* 47:245-251.
- Liebman, M. y A. Davis. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low- external- input farming systems. *Weed Res.* 40:27-47.
- Mullen M., Melhorn C., Tyler D., Duck B. 1998. Soil properties in no till corn with different cover crop. *Soil and Water cons.* 53:219-224
- Nyakatawa, E.; Reddy, K. y Sistanib, K. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil. Till. Res.* 58:69-79.
- Quiroga A., Adema, E.; Buschiazzo, D. y Peinemann, N. 1996. Efecto de dos sistemas de labranzas sobre el rendimiento de trigo y sorgo, y propiedades de un Haplustol Entico en la región semiárida pampeana. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pág. 213.
- Rufo, M.L. 2003: Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. Actas XI Congreso de AAPRESID: 171-176.
- SAGPyA. 2007. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Ministerio de Economía, República Argentina. www.sagpya.mecon.gov.ar.
- Strock, J; Porter, P. y Russelle, M. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. *J. Environ. Qual.* 33: 1010-1016.