

ISBN 978-987-679-177-9 / Junio de 2013

"2013 Año del Bicentenario de la  
Asamblea General Constituyente de 1813"

# Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción

Cristian Álvarez; Alberto Quiroga; Diego Santos; Marcelo Bodrero

Publicación realizada en el marco del PNCER 022411 y PPR 224002



▪ Ediciones

Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria



# Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción

---

*Cristian Álvarez; Alberto Quiroga;  
Diego Santos; Marcelo Bodrero*



EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"  
**Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria**

## **Diseño Gráfico**

Dis. Gráf. Francisco Etchart

## **Impresión**

Gustavo J. Moyano

Luisa Blatner de Mayoral

Impreso en los talleres gráficos de la  
EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"

Tirada de 1000 ejemplares

*Junio de 2013*



EDICIONES INTA  
EEA INTA Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas  
(6326) Anguil, La Pampa, Argentina.

Contribución de los cultivos de cobertura a la sustentabilidad  
de los sistemas de producción / edición literaria a cargo de  
Cristián Alvarez ... [et.al.]. - 1a ed. - La Pampa : Ediciones  
INTA, 2012.

170 p. ; 28x20 cm.

**ISBN 978-987-679-177-9**

1. Cultivo de Cobertura . 2. Materia Orgánica. I. Alvarez,  
Cristián, ed. lit.

CDD 630

# Contenidos

---

1. La “interfase suelo-atmósfera” y su valor estratégico en regiones semiáridas	5
2. Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fé: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo	7
3. Costo hídrico de cultivos de cobertura invernales en San Luis. Primeras experiencias	16
4. Cultivos de cobertura de <i>Vicia villosa</i> Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado	21
5. Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano	29
6. Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa	36
7. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba	50
8. Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires	58
9. Utilización de un cultivo de cobertura luego de maíz, para recuperar nitratos residuales susceptibles de lixiviarse	69
10. Sistemas de cultivos de cobertura de suelo de otoño-invierno: sus efectos sobre la disponibilidad de agua	76
11. Efecto del residuo de vicia ( <i>Vicia sativa</i> L.) sobre el potencial de nitrificación del suelo	83
12. Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja	88
13. Cultivos de cobertura en el sur de la provincia de Santa Fe	92
14. Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas	105
15. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la Región Semiárida Pampeana	117
16. Introducción de cultivos de cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba	128
17. Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura	138
18. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos	148
19. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz	158
20. Inclusión de cultivos de cobertura en la rotación: experiencia de un productor	165
-----	
<b>ANEXO</b>	
A. Empleo de coberturas para el control de malezas en el cultivo de algodón	170
B. Abonos verdes para el cultivo del algodón en el suroeste de la provincia de Chaco	172
C. Antecesores de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura?	181
-----	
<b>RESUMEN</b>	
Avances en aportes de los cultivos de cobertura en la región agrícola Argentina	186



## La “interfase suelo-atmósfera” y su valor estratégico en regiones semiáridas

Durante los últimos 20 años se han producido cambios importantes en los sistemas mixtos de producción. Si bien se incorporó la siembra directa, el incremento de la superficie con cultivos de verano, la disminución de cereales de invierno y la intensificación en los planteos ganaderos (más silos y/o rollos) ha significado un cambio importante en los aportes de carbono al suelo. En algunos casos se han comprobado cambios en el funcionamiento físico-hídrico de los suelos que limitan la captación y eficiencia de almacenaje y uso del agua. En este contexto, la inclusión de cultivos de cobertura en la rotación aparece como una oportunidad para mitigar y/o revertir una serie de procesos que pueden condicionar la sostenibilidad de los sistemas de producción. Distintos objetivos pueden llevarnos a incorporar CC: mejorar el balance de C; fijar N para reducir los requerimientos de fertilizantes; atenuar las pérdidas de suelo por erosión eólica e hídrica; disminuir la presión de malezas y el uso de herbicidas; mejorar la captación de agua y reducir encharcamientos/encostramiento; mejorar transitabilidad; reducir riesgos de salinización por ascenso capilar desde napas; reducir evaporación incrementando la eficiencia de conservación y disponibilidad de agua en el perfil; disminuir la lixiviación de nutrientes; disminuir la susceptibilidad a la compactación favoreciendo la resiliencia del sistema; dependiendo de su manejo es posible sincronizar mejor la oferta de nutrientes para los cultivos sucesores; mejorar el anclaje de residuos de cultivos de cosecha minimizando las pérdidas por efecto del viento y/o agua; mejorar la actividad biológica. Posiblemente existan otro tanto de objetivos por los cuáles puede ser conveniente hacer CC, pero en la mayoría de ellos “el factor

común”, “el centro de operaciones” es la **interfase SUELO-ATMOSFERA**.

Dado que suena como algo complicado será conveniente definir, en primera instancia, que se entiende por interfase suelo-atmósfera:

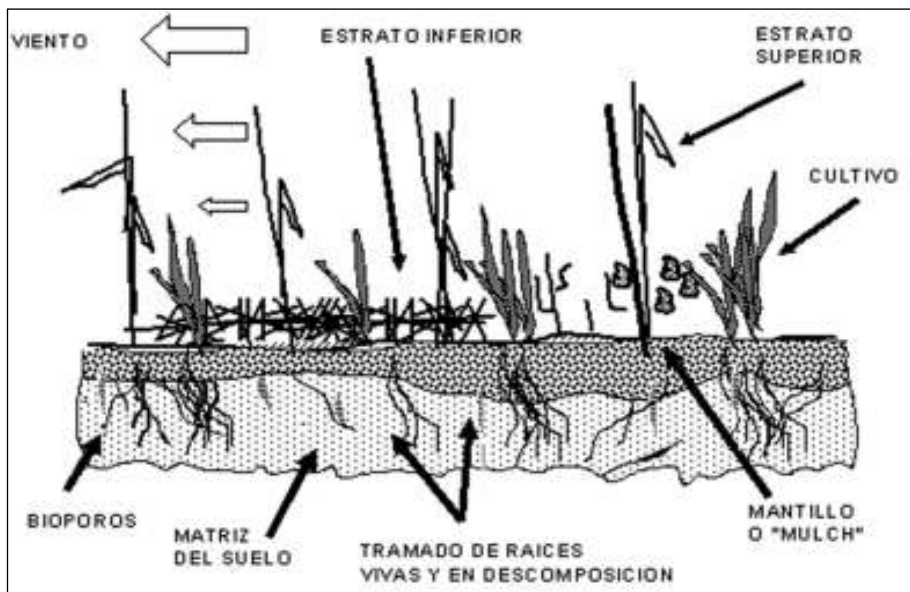
En sentido estricto sería la capa superior del suelo, que incluye parte o la totalidad del horizonte A, y los elementos que constituyen la cobertura superficial. En un sentido más amplio podría extenderse a la totalidad del perfil de suelo explorado por las raíces de los cultivos, especialmente cuando algún horizonte o característica influye sobre los procesos que ocurren en la superficie.

La zona de contacto entre el suelo y la atmósfera es el lugar de ocurrencia de la mayor parte de los procesos relacionados con su manejo y productividad. Su importancia estratégica surge inmediatamente si recordamos que, siendo la atmósfera el principal condicionante de la impredecibilidad de las zonas semiáridas, la superficie del suelo constituye lo que se podría denominar “el frente de batalla” en cuanto a su manejo.

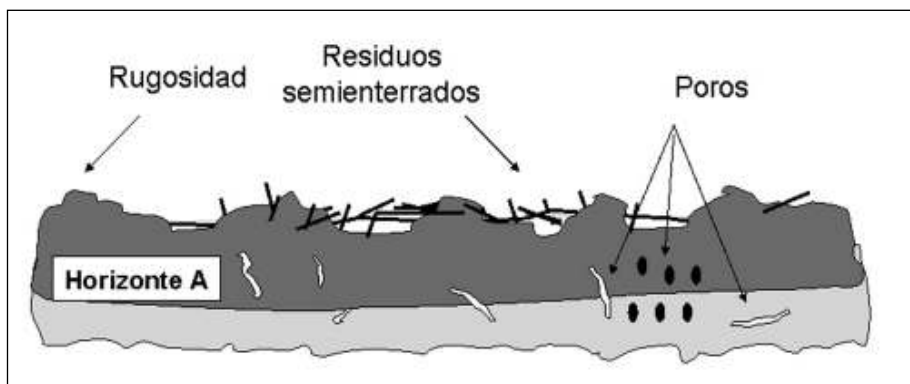
Los fenómenos de interfase se pueden analizar desde el punto de vista de los dos grandes sistemas alternativos de cultivo para las regiones semiáridas: Siembra directa y Labranzas. Ambos representan situaciones muy diferentes en cuanto a las características y evolución del sistema de cobertura superficial, y a la intensidad o dirección de los procesos que generan.

La SD funciona a través de una interfase compleja constituida por diferentes estratos de residuos, y otros elementos como el mantillo, los bioporos, y el tramado de raíces (Figura 1).

El suelo bajo labranza, por su parte, muestra una interfase aparentemente más simple, donde interesan: la rugosidad, el porcentaje de residuos



**Figura 1:** El ambiente del suelo bajo siembra directa permanente.



**Figura 2:** El ambiente del suelo bajo labranza.

semienterrados, la textura y estabilidad de los agregados, el tipo y tamaño de poros, y el contenido de agua de las capas superficiales (Figura 2).

A través de mecanismos específicos los elementos de la interfase se combinan para cumplir diversas funciones en cuanto a la reducción de la velocidad del viento, la insolación, el golpe de las gotas de lluvia, la provisión de nutrientes, la velocidad del escurrimiento superficial, etc. Todo esto influye sobre procesos importantes como evaporación, cambio térmico, erosión, encostramiento, fertilidad, compactación, y penetración de raíces entre otros, que, a su vez, determinan la productividad del suelo y su permanencia en el tiempo.

En base a lo expuesto, es evidente que al ela-

borar estrategias para un manejo eficiente del agua, resulta necesario considerar el peso relativo de los distintos factores que condicionan la misma. Por ejemplo, la adopción de la siembra directa puede contribuir significativamente a una mayor eficiencia de uso del agua pluvial si la secuencia de cultivos posibilita la realización de barbechos adecuados, si el nivel de residuos en la interfase suelo-atmósfera es suficiente para optimizar la relación transpiración/evaporación, si el perfil de suelo posee una adecuada capacidad de retención de agua, si la profundidad efectiva de raíces es adecuada para ese perfil y si los nutrientes no condicionan la EUA.

# Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fé: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo

## INTRODUCCIÓN

El proceso de agriculturización registrado en los sistemas agrícolas de la región pampeana y el aumento de hasta un 80 % de la superficie agrícola dominada por cultivos continuados de soja (SAGPyA, 2008) ha llevado a pérdidas en la cobertura de los suelos aún en sistemas de siembra directa (SD). La intercalación de cultivos invernales sería una alternativa a evaluar para proveer de residuos ricos en C y promover al desarrollo y al mantenimiento de la cobertura de los suelos. Pero, se reconoce que el consumo hídrico de éstos durante el invierno interferiría en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente (Duarte, 2002; Quiroga et al., 2007) y se desconocen los efectos acumulados de diferentes estrategias de manejo invernales de los suelos sobre estos y su productividad. A partir de la información disponible se infiere que la incorporación de diferentes volúmenes de rastrojos a través de cultivos de cobertura (CC) favorecería a la conservación de la materia orgánica total (MOT) y sus fracciones. La continuidad en el largo plazo de esta práctica contribuirá a mejorar el estado estructural y funciones de pedo-transferencias asociadas, permitiendo la prolongación de ciclos agrícolas anuales. En los sistemas de producción los cambios en la estructura y principalmente en la porosidad estructural de los suelos se asocian directamente con la capacidad de transporte de agua de los mismos (infiltración). Generalmente la reducción en la proporción de poros de conducción (“compactación”) es un proceso recurrente de los suelos arenosos donde los porcentajes de arenas finas o muy finas respecto del total superan el 30

%. Otro de los condicionantes en SD es la orientación de los poros que dan lugar a formaciones laminares que en términos relativos condicionan la entrada de agua al suelo. La utilización de CC con raíces que sean capaces de atravesar capas compactas y generar porosidad estable, podría constituir una alternativa del corto plazo para regenerar la estructura sin recurrir a la remoción del suelo. Además la intercalación de cultivos invernales sería una alternativa a evaluar para proveer de residuos ricos en C y promover al desarrollo y al mantenimiento de la cobertura de los suelos (Ruffo, 2004).

## OBJETIVOS

El **objetivo principal** del trabajo fue evaluar la eficiencia de barbecho entre los cultivos de maíz y soja 1<sup>a</sup> dentro de una rotación agrícola Trigo/soja 2<sup>a</sup>-Maíz-Soja 1<sup>a</sup> con y sin un CC de avena. De esta manera, se quiso evaluar el efecto del CC sobre la humedad edáfica a la siembra del cultivo sucesor.

Como **objetivo secundario** se quiso estudiar los cambios en las propiedades físicas del suelo: tasa de infiltración y densidad aparente 0-12 cm, que afectan a la capacidad de captación de agua del suelo. Adicionalmente, se quiso evaluar la producción de biomasa aérea (Kg MS ha<sup>-1</sup>) de cada tratamiento.

## CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El ensayo se realizó en un establecimiento ubicado en la localidad de Las Parejas, en el Departamento Iriondo, en el sur de la provincia de Santa Fe. El clima de la zona es templado, sin una



**Tabla 1.** Balance hídrico mensual, según Thornthwaite (mm).

Elementos	Jun	Jul.	Ago.	Invier	Sep.	Oct.	Nov.	Primav.	Dic.	Ene.	Feb.	Verano	Mar.	Abr.	May.	Otoño	Año
Evapotransp. potencial	22	24	28	74	45	71	101	217	133	143	115	391	99	59	43	201	883
Precipitación	32	32	33	97	63	95	105	263	96	126	94	316	134	81	49	264	940
Almacenaje de agua	300	300	300		300	300	300		265	250	233		268	290	296		
Variación de almacenaje	4	0	0		0	0	0		-35	-15	-17		35	22	6		
Evapotransp. real	22	24	28	74	45	71	101	217	131	141	111	383	99	59	43	201	875
Deficiencia de agua	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	8	0	0	0	0	8
Exceso de agua	6	8	5	19	18	24	4	46	0	0	0	0	0	0	0	0	65

marcada amplitud térmica anual. Según la carta de suelos de la zona de Rosario-Cañada de Gómez de INTA, el balance hídrico mensual de la zona utilizando el método de Thornthwaite arroja saldos positivos entre precipitación y evapotranspiración potencial para los meses de marzo a noviembre y negativos en los meses de verano. El exceso de agua de los meses de otoño (marzo, abril y mayo) recarga el perfil del suelo, mientras que el excedente generado en los meses de invierno y hasta noviembre se perdería por percolación, escurrimiento, etc, dado que se ha alcanzado la capacidad máxima de acumulación de agua del suelo. En la Tabla 1 puede verse en detalle el balance hídrico mensual.

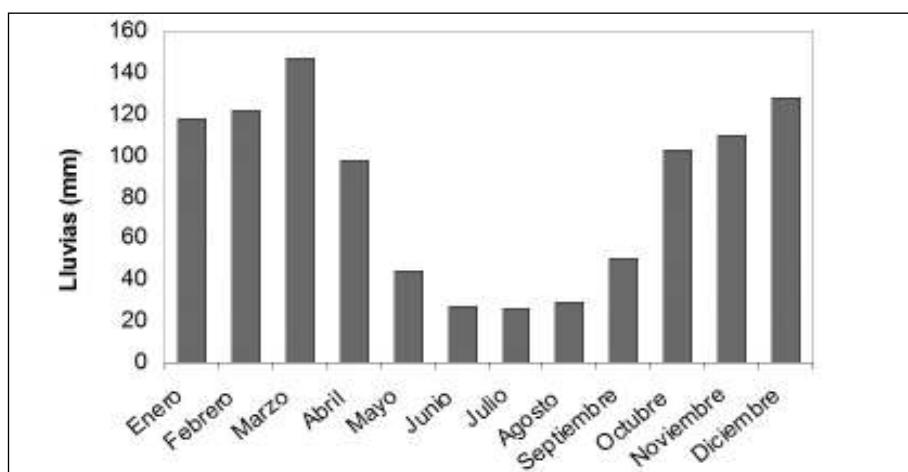
## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un lote con 30 años de agricultura continua y 11 años bajo una rotación

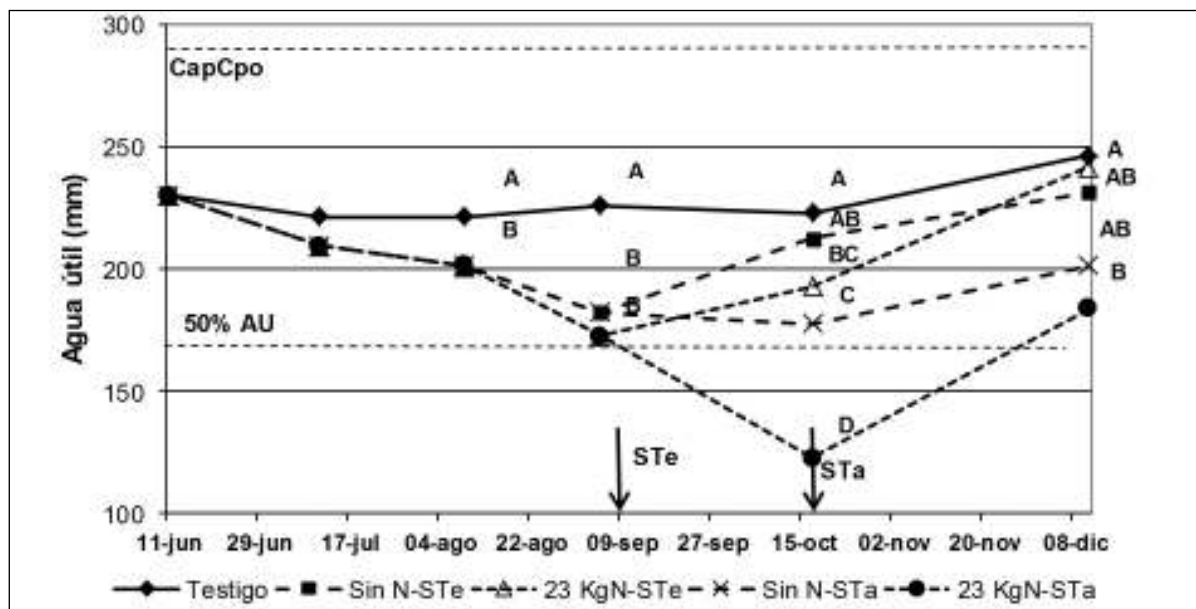
trigo/soja 2<sup>a</sup>- maíz - soja 1<sup>a</sup> en siembra directa. El régimen pluviométrico del establecimiento promedio de los últimos 45 años es de 999 mm anuales, cuya distribución mensual promedio se detalla en el Figura 1.

El suelo donde se realizó el ensayo correspondió a un Argiudol Típico, serie Armstrong, cuyo horizonte superficial contiene 76% de limo, 20% de arcilla y 4% de arenas finas. La especie utilizada como cultivo de cobertura (CC) fue avena blanca (*Avena sativa*). El ensayo se sembró el 21/04/06, luego de la cosecha de maíz, se utilizaron 50 Kg ha<sup>-1</sup> de semilla y un distanciamiento entre surcos de 19 cm. Se fertilizó con 70 Kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simple + 70 Kg ha<sup>-1</sup> de yeso, incorporado a la siembra totalizando 6 Kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y 27 Kg ha<sup>-1</sup> de azufre.

Los tratamientos provinieron de la combinación de niveles de fertilización nitrogenada y momentos de secado del CC. Además, se contó



**Figura 1:** Distribución mensual de las precipitaciones - Las Parejas (Santa Fe).



**Figura 2:** Evolución del agua útil o - 200 cm durante el barbecho para los distintos tratamientos.

CapCpo: Capacidad de campo - 50%AU: 50% del agua útil total - Sin N: Sin agregado de nitrógeno - STe: Secado temprano - STa: Secado tarde. Letras distintas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

con un testigo sin CC. Se utilizaron dos niveles de fertilización nitrogenada (0 y 23 Kg N ha<sup>-1</sup>), al voleo en V6, ya que los niveles de producción de materia seca (aérea y radical) en gramíneas invernales presentan altas respuestas a la fertilización nitrogenada (Quiroga et al., 2007). Las dos fechas de secado químico fueron 05/09/06, en Z31 (secado temprano), y 17/10/06, en Z73 (secado tardío). El diseño fue de bloques al azar con 5 repeticiones y el tamaño de parcelas fue de 4 metros de ancho X 10 metros de largo. El nitrógeno inicial fue el que proveyó el suelo: 42 Kg ha<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS

### 1. Evolución del contenido hídrico del suelo durante el barbecho

En el Figura 2 se observa la evolución de la lámina de agua útil (AU) hasta los 200 cm de profundidad desde el inicio del barbecho hasta los primeros estadios del cultivo sucesor de soja para los 5 tratamientos.

El testigo, así como el resto de los tratamientos, comenzó el barbecho con 231 mm de agua útil (78% de la capacidad máxima de retención del suelo). Durante el barbecho las precipitaciones totalizaron 342 mm, sin embargo en el testigo el aumento del AU fue sólo de 17 mm.

En el momento de la primera fecha de secado

(STe), el 05/09/06, los tratamientos con avena habían consumido significativamente más agua útil que el testigo; diferencia que desapareció para el último muestreo de humedad edáfica.

Los tratamientos secados tardíamente (STa) también mostraron diferencias significativas en el contenido de AU con el testigo al momento de secado, de entre 45 y 100 mm. Estas diferencias también fueron significativas entre el agregado o no de nitrógeno para esa fecha de secado. El tratamiento con N consumió en total 100 mm mas AU con respecto al testigo, llegando así al 39,4% del AUT. Este tratamiento mantuvo diferencias significativas con el testigo en la última medición de agua.

### 2. Distribución del agua edáfica dentro del perfil

El patrón de consumo y reposición de agua dentro del perfil durante el barbecho difirió en cada estrato de suelo. A medida que el CC fue desarrollándose, extrajo agua en un primer momento de los horizontes más superficiales del suelo y luego progresivamente, a medida que fueron creciendo las raíces, de los horizontes B y C.

La figura 3 muestra una comparación en la distribución del contenido de agua del suelo entre el testigo y los tratamientos de secado temprano y tardío con agregado de N para 2 momentos del barbecho, en un corte del perfil del suelo hasta

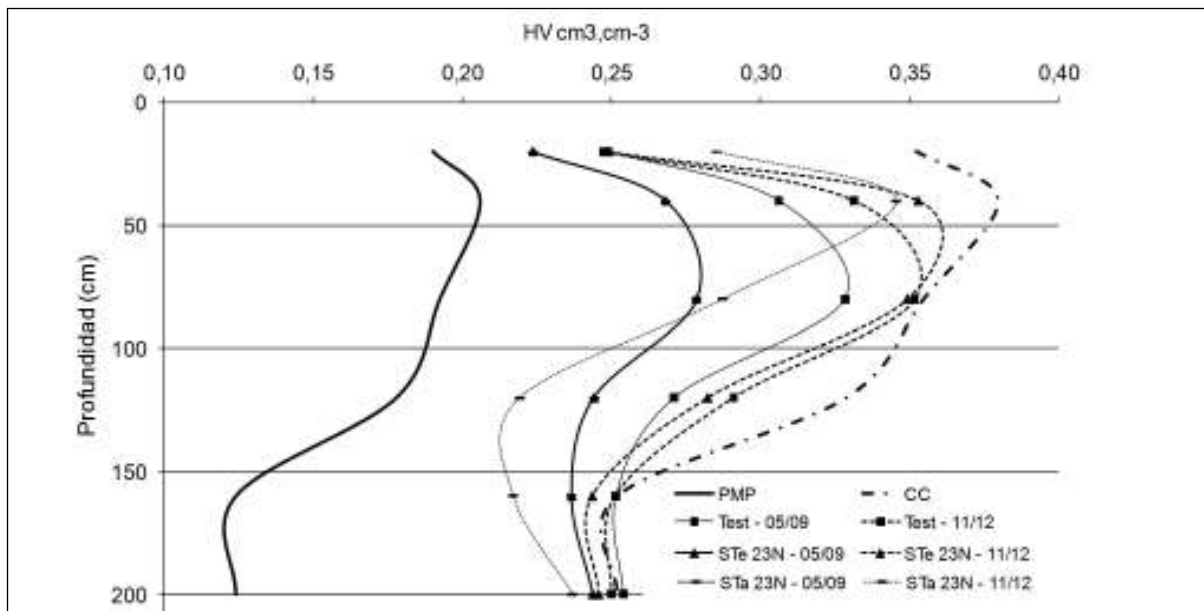


Figura 3: Comparación Con N: secado temprano (05/09) vs tardío (17/10).

Tabla 2. EB y EB corregida por la evapotranspiración para todos los tratamientos.

Tratamiento	H <sup>v</sup> volumétrica inicial (mm)	H <sup>v</sup> vol final (mm)	Eficiencia de barbecho	Evapotranspiración real calculada (mm)	Ef. barbecho corregida
Testigo		574	5,0%	—	5,0%
STe - 0 N		559	0,6%	196	57,6%
STe - 23 N	557	569	3,5%	200	61,8%
STa - 0 N		529	-8,2%	302	79,9%
STa - 23 N		511	-13,5%	307	76,1%

Tabla 3. Eficiencia de uso del agua del cultivo de cubierta.

Tratamiento	H <sup>v</sup> vol final (mm)	MS aérea (Kg.ha <sup>-1</sup> )	EUA* (Kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Dif con Test (mm)	EUA** (Kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
Testigo	574	-	-	-	—
STe - 0 N	559	2769	8,1	15	185
STe - 23 N	569	3411	10,0	5	682
STa - 0 N	529	3243	9,5	45	72
STa - 23 N	511	5352	15,6	63	85

\*EUA calculada según las precipitaciones caídas en el ciclo del cultivo

\*\* EUA calculada según la diferencia de almacenaje con el testigo al final del barbecho

los 2 metros. Allí se marcaron los límites hídricos superior de capacidad de campo (CCa) e inferior de punto de marchitez permanente (PMP) con líneas gruesas, y dentro de los cuales se ubicaron los niveles de agua edáfica disponible para el cultivo.

La humedad edáfica al 05/09 (cultivo en Z31) fue significativamente menor al testigo en los tratamientos con avena en los estratos superficiales de suelo. El tratamiento de secado tardío siguió

consumiendo agua hasta el 17/10 (cultivo en grano acuoso). Por ello, en la última medición, el 11/12, observamos la recuperación diferencial del perfil para los tratamientos con avena según la fecha de secado. El contenido de AU y la distribución en el perfil del tratamiento de secado temprano fue muy similar al testigo y no tuvo diferencias significativas. En el tratamiento secado tarde, la cantidad de agua fue significativamente menor

que en el testigo o el tratamiento de secado temprano ya que el cultivo extrajo AU de profundidad, que no se llegó a recargar completamente para la última medición.

### 3. Medición de la eficiencia de barbecho

Las precipitaciones caídas entre la primera y última medición de humedad edáfica fueron de 342 mm. En la tabla 2 se muestran los resultados de contenido de humedad volumétrica ( $H^{\circ}$  Vol) inicial y final y eficiencia de barbecho con y sin la corrección por la evapotranspiración real (ETr) calculada mediante el uso de modelos de simulación agronómica.

Si tomamos la eficiencia de barbecho sin tener en cuenta la evapotranspiración del CC observamos que el testigo tuvo una eficiencia de barbecho muy baja, del 5%. Esto significa que el 95% de las precipitaciones caídas correspondieron a pérdidas de agua mientras que solo el 5% quedó retenido en el suelo. La eficiencia de barbecho de los tratamientos secados tempranamente fue similar a la del testigo, es decir, que la producción de biomasa de avena, de entre 2769 y 3411 Kg ha<sup>-1</sup> no tuvo prácticamente costos hídricos para el lote, ya que al final del barbecho se acumularon 17 mm en el testigo y entre 2 y 12 mm en los tratamientos secados temprano con respecto a la humedad inicial. En los tratamientos secados tardíamente los resultados fueron contrastantes y la eficiencia de barbecho fue negativa, es decir, que terminaron

con menos agua que la inicial, con diferencias de entre 45 y 63 mm con el testigo según el agregado o no de N, respectivamente.

Ahora, si consideramos que el agua evapotranspirada por el CC no fue una pérdida neta de agua, sino que, como fue utilizada en el crecimiento del cultivo, constituye una ganancia de carbono para el sistema, los resultados son muy distintos y todos los tratamientos con avena tuvieron eficiencias de barbecho muy superiores al testigo, de entre 58% y 80%.

La eficiencia de uso del agua (EUA) varió entre 8 y 15 Kg ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> de lluvia caída. Estas diferencias se debieron a la duración del cultivo, en donde la fecha de secado tardía permitió una mayor exploración radical, y a la fertilización nitrogenada, que aumentó la EUA entre 23% y 64% según la fecha de secado.

Como uno de los objetivos principales del CC es la producción de biomasa con la mínima diferencia de agua edáfica al final del barbecho con respecto al testigo, podemos calcular la EUA según la diferencia de almacenaje de cada tratamiento con el testigo. En este caso, obtenemos valores muy superiores de EUA, de 72 a 68,2 Kg ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Por ejemplo, el tratamiento de secado temprano sin N tuvo una producción de 2769 Kg ha<sup>-1</sup> con una diferencia de agua almacenada al final del barbecho con el testigo de 15 mm, lo que arroja una EUA de 18,5 Kg ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

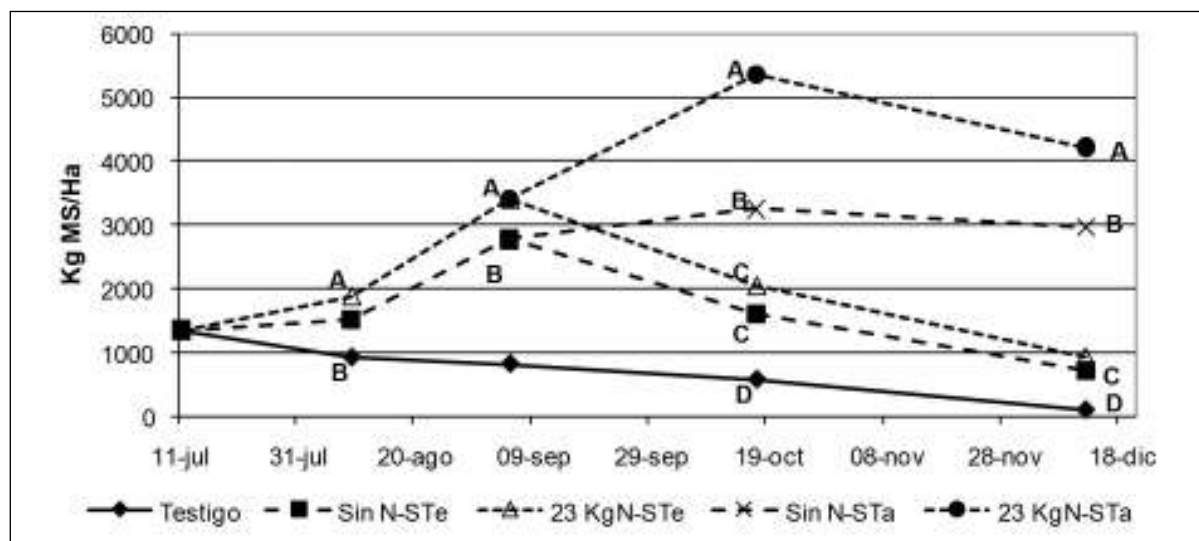


Figura 4: Evolución de la producción de materia seca aérea de avena durante el barbecho.

o N: Sin agregado de nitrógeno - STe: Secado temprano - STa: Secado tarde. Letras distintas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

#### 4. Producción de materia seca aérea de avena

En la figura 4 podemos observar la evolución de la producción de MS aérea de avena de cada tratamiento, al igual que la evolución de la degradación de la misma luego del secado químico.

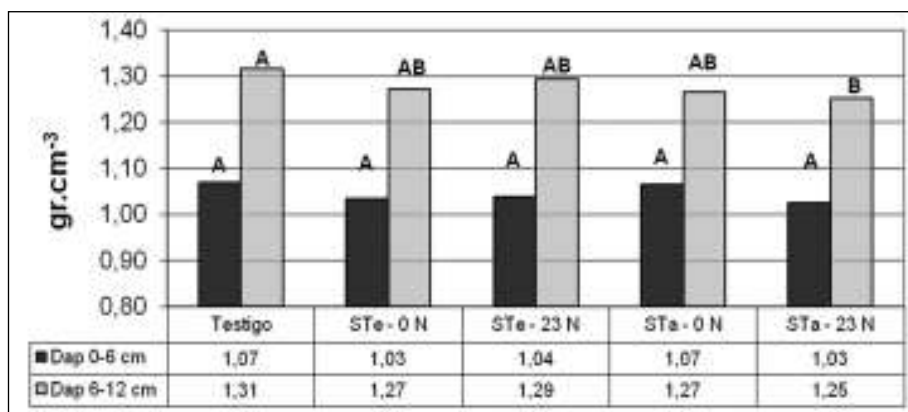
Este comportamiento se correspondió en alguna medida con la evolución de la lámina de agua útil del perfil (figura 2). Sin embargo, a pesar de que al 09/08 (29 días de aplicación de N) ya se detectaron diferencias significativas en la producción de materia seca, no se habían registrado diferencias en el consumo de agua total, tan solo una distribución diferencial en del perfil. En la primer fecha de secado (05/09) se mantuvieron las diferencias significativas entre los tratamientos con y sin N, con diferencias superiores a 600 kg MS ha<sup>-1</sup>, es decir, 26 kg MS ha<sup>-1</sup> por kg de N aplicado. Para la segunda fecha de secado las diferencias entre estos tratamientos fueron mayores (2100 Kg ha<sup>-1</sup>), lo cual corresponde a 91 Kg ha<sup>-1</sup> de materia seca por cada kg de N adicional.

#### 5. Densidad aparente

En los primeros estadios del cultivo sucesor, se realizó una evaluación de densidad aparente para determinar el efecto del CC sobre este parámetro. En la figura 5 se muestran los resultados.

Los mayores valores de densidad aparente correspondieron al testigo. Sin embargo, éste sólo se diferenció estadísticamente de un tratamiento (STa - 23 N) y para la profundidad 6 - 12 cm, a pesar de que los valores de coeficiente de variación fueron reducidos, de 4,27% para 0 - 6 cm y 2,71% para 6 - 12 cm. Este tratamiento también obtuvo el menor valor de densidad aparente 0 - 6 cm, junto con el tratamiento STe - 0 N. El resto de los tratamientos tuvieron una densidad intermedia, sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

A partir de los 6 cm de profundidad y hasta los 16-20 cm el suelo tenía una estructura masiva. En los tratamientos que habían tenido avena se observaron macroporos dejados por las raíces de avena en descomposición, como se indica en la Foto 1.

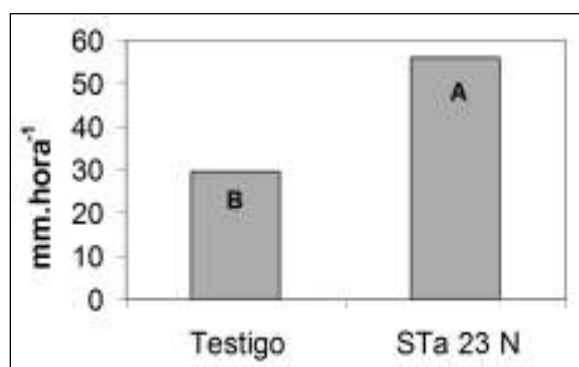


**Figura 5:** Densidad aparente (Dap) medida a los 0-6 cm y 6-12 cm luego del CC.

Letras distintas muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).



**Foto 1:** Macroporos de raíces.



**Figura 6:** Infiltración en suelo saturado al 01-05-07 en dos tratamientos contrastantes ( $p < 0,05$ ).

STa: Secado tarde - 23N: Con agregado de 23 kg.ha<sup>-1</sup> N.

## 6. Infiltración en suelo saturado

El hecho de haber producido macroporos claramente visibles sin cambios en la densidad aparente sugiere un cambio en la distribución del tamaño de poros en estos estratos superficiales del suelo. Estos macroporos son canales de flujo preferencial que conducen agua muy fácilmente a horizontes más profundos del suelo, aumentando la velocidad (y capacidad) de infiltración, sobre todo cuando el suelo ya está saturado de agua.

Los resultados de infiltración bajo suelo saturado de agua muestran que la tasa de infiltración del tratamiento con avena de cobertura prácticamente duplicó al testigo, pasando de 29,8 mm hora<sup>-1</sup> a 56,1 mm hora<sup>-1</sup>. Esta mayor velocidad de infiltración determina una mayor capacidad potencial de acumular agua, sobre todo en épocas estivales, cuando las lluvias suelen ser copiosas.

## DISCUSIÓN

### Agua edáfica, EB y EUA

La dinámica del agua edáfica del ensayo fue similar a la descrita por Gil et al (2005), en donde los tratamientos con cultivos de avena de cobertura llegaron a niveles de humedad edáfica similares a un testigo sin cultivo al final del barbecho. Por su parte, Álvarez et al., (2006), tampoco encontraron diferencias significativas en el contenido de agua edáfica al inicio del cultivo sucesor, secando el CC (triticale) en macollaje. Cuando se secó en encañazón, tuvieron diferencias significativas en uno de los tres años analizados.

En este ensayo, el testigo solo acumuló el 5% de las precipitaciones ocurridas durante el barbecho y los tratamientos con avena secada temprana consumieron entre 43 y 53 mm hasta el secado químico pero recargaron fácilmente el perfil, llegando al cultivo sucesor con diferencias de almacenaje con el testigo no significativas, de 5 a 15 mm, en la fecha de secado tardía, el consumo de agua fue mayor y el perfil de suelo no llegó a recargarse completamente, observándose diferencias significativas de agua útil al final del barbecho con el testigo y con la fecha de secado temprana. Mitchell et al., (1999) midieron diferencias almacenaje de humedad edáfica de entre 65 y 78 mm según la especie cultivada en tres años de estudio en la zona del valle de California.

Estos resultados muestran que la fecha de secado juega un rol decisivo en la determinación

del nivel de recarga del suelo para el cultivo sucesor. Secando el CC en macollaje o principios de encañazón, es más probable llegar a la siembra del cultivo sucesor con niveles de humedad edáfica similares al testigo; secando a fines de encañazón o más adelante en el ciclo, aumenta considerablemente la probabilidad de llegar al cultivo sucesor con significativamente menos agua que el testigo por mayor consumo del cultivo y menor tiempo de barbecho para acumular agua pluvial. Adicionalmente, las características texturales del horizonte B (35 - 38% arcilla y 61 - 56% limo) en los Argiudoles determinaría que el agua se mueva lentamente a través de este horizonte cuando está húmedo, dificultando aún más la recarga edáfica en fechas de secado tardías (Figura 3), en los casos en que se consumió agua por debajo del horizonte textural.

El consumo de agua edáfica en los tratamientos con N no fue significativamente mayor hasta Z32 (05/09), sobre los tratamientos sin N, con una producción de MS adicional de 642 Kg ha<sup>-1</sup>, lo que resultó en una eficiencia de conversión de 71,3 Kg. MS mm<sup>-1</sup> de agua adicional consumida. Estas diferencias sólo pueden explicarse por el bajo contenido de nitrógeno inicial del suelo (42 Kg ha<sup>-1</sup>), al efecto de inmovilización por el antecesor maíz y también por el hecho de que los tratamientos con agregado de N se mostraron mucho menos afectados por las heladas. Esta respuesta por el agregado de 23 Kg ha<sup>-1</sup> de N se tradujo en un incremento de entre 23 y 64% en la EUA según la fecha de secado. Quiroga et al., (2007) calcularon incrementos superiores al 100% en la EUA con el agregado 46 Kg ha<sup>-1</sup> de N en La Pampa.

Los valores de eficiencia de barbecho fueron bajos para el testigo y la fecha de secado temprana y negativos para el secado tardío, en concordancia con los datos observados por Álvarez et al., (2006). El hecho que la eficiencia de barbecho en los tratamientos con cultivo de cubierta de avena secados tempranamente haya sido similar al testigo sin cultivo deja en evidencia que el tratamiento testigo tuvo grandes pérdidas de evaporación, escurrimiento y/o drenaje en profundidad. Corrigiendo la eficiencia de barbecho por la evapotranspiración del cultivo de avena, los tratamientos con mayor eficiencia de barbecho fueron los secados tardíamente (en promedio 78%), seguido por los tratamientos secados temprano (59,7% en promedio). Estos datos obtenidos coin-

ciden con los valores de EB corregida observados por Gil et al., (2005).

### **Materia seca**

Como se observa en la figura 4, la producción aérea de MS dependió fuertemente del momento de secado y el nivel de fertilización nitrogenada, al igual pero en relación lineal inversa a los valores de humedad edáfica obtenidos (figura 2), relación similar a la obtenida por Caviglia et al., (2007) con distintos cultivos de cobertura. Los valores de producción de biomasa aérea variaron entre 2769 y 5352 Kg ha<sup>-1</sup> en 137 a 179 días de ciclo respectivamente. Quiroga et al., (2007), midieron producciones de avena de 3500 a 5500 Kg ha<sup>-1</sup> de MS en 131 días de ciclo en 30 de Agosto (Prov. Bs. As.) y 1100 a 1400 Kg ha<sup>-1</sup> en 100 días de ciclo en Dorila (Prov. La Pampa). Por su parte, Álvarez et al., (2006) trabajaron con triticale y obtuvieron, en promedio de 3 campañas, entre 3181 Kg ha<sup>-1</sup> y 4921 Kg ha<sup>-1</sup> de MS secando en macollaje y fines de encañazón respectivamente. Ruffo et al (2004) obtuvieron producciones de biomasa aérea de Rye grass de 3280 a 4460 Kg ha<sup>-1</sup> en Illinois, USA.

El uso de bajos niveles de fertilización nitrogenada (23 Kg ha<sup>-1</sup>) aplicados en macollaje fue suficiente para generar diferencias significativas en el nivel de producción de MS y cobertura de avena a partir de fines de macollaje y hasta el secado químico. Quiroga et al (2007) también obtuvieron incrementos muy importantes en la producción de cultivos de cobertura de gramíneas invernales con el agregado de 46 Kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno. Estas diferencias muestran la gran respuesta del cultivo de gramíneas invernales al nitrógeno, aumentando la EUA 23 a 64% y del nitrógeno (EUN) 26 a 91 Kg MS ha<sup>-1</sup>.Kg N<sup>-1</sup>, tal como encontró Quiroga et al., (2007). Adicionalmente, y a pesar de tratarse de dosis bajas de N, se observó una mayor resistencia a las heladas en los tratamientos fertilizados, aspecto no comentado en otros trabajos. Por otro lado, los valores de EUA encontrados en este ensayo fueron menores a los observados para avena por Scianca et al (2008) en Drabble (Prov. Bs. As.) en las campañas 2005/06 y 2006/07 o por Álvarez et al., (2006).

### **Propiedades físicas del suelo**

Las reducciones en la Dap medidas fueron de un 3% en promedio, 2,6% para la profundidad o-

6 cm y 3,4% para 6-12 cm. A pesar de haber atravesado la estructura masiva y haber dejado macroporos fácilmente visibles, esto no se vio reflejado en una disminución significativa generalizada de la Dap, que sólo se observaron en el tratamiento de secado tarde con N. Estas disminuciones en la Dap fueron menores al 7% (0-5 cm) obtenido en promedio de dos años por Villamil et al., (2006) con verdeos de cobertura de centeno en un Argiudol Ácuico en el estado de Illinois, USA. Por otro lado, el cambio en la distribución del tamaño de poros observado en el ensayo también fue observado por Villamil et al (2006), donde midieron un aumento significativo del porcentaje de poros de entre 5 y 50 micrones, con un consiguiente aumento significativo en la tasa de infiltración y en la capacidad de retención de agua en los tratamientos con CC.

La tasa de infiltración en condiciones de suelo saturado del tratamiento con avena de cobertura sobrepasó al testigo en un 88%. Folorunso et al., (1992) observaron incrementos del orden del 40% en uno de los dos sitios evaluados, mientras que Miller et al., (1990) midieron aumentos de la tasa de infiltración por surco de hasta 100-122% con el uso de cebada como CC y secada en grano pastoso. Dabney et al., (2001) también encontraron incrementos en la infiltración. Estos resultados son particularmente importantes para cultivos de cobertura invernales, ya que los macroporos formados podrían mejorar la eficiencia de captación de las lluvias primavera-estivales, que suelen ser más intensas y abundantes que las invernales.

### **CONCLUSIONES**

El uso de un CC de avena produjo aportes de materia seca importantes, que variaron de 2770 a 5350 Kg ha<sup>-1</sup>, según la fecha de secado y el nivel de fertilización nitrogenada. Con fechas de secado de principios de Septiembre y bajo las condiciones ambientales (precipitaciones y temperatura) de esta campaña se produjeron entre 2800 y 3400 kg MS aérea de avena por hectárea en 137 días de ciclo, asegurando a la vez una recarga completa del perfil edáfico al inicio del cultivo sucesor. Así, se aprovecharon los recursos de luz, agua y nutrientes que se hubiesen perdido, con el consiguiente aumento de la eficiencia de barbecho corregida por la evapotranspiración del cultivo de cubierta de 5% a 58-60%. De esta manera,

fue posible sembrar un CC, aportar carbono y llegar al inicio del cultivo sucesor sin diferencias de humedad edáfica con respecto a un testigo sin CC.

A medida que se demoró el secado químico, aumentó el consumo de agua por parte del CC por un lado y disminuyó el tiempo de barbecho para recargar el perfil por el otro. Como consecuencia, una demora en la fecha de secado aumenta las probabilidades de llegar al cultivo sucesor con mucha menos agua, además de consumir agua retenida en profundidad, de más difícil recarga.

Luego del secado químico del CC de avena, los niveles de densidad aparente del suelo se redujeron en un 2,6% para la profundidad 0-6 cm y 3,4% para 6-12 cm en promedio. Estas disminuciones sólo fueron significativas para el tratamiento secado tarde con N y para la profundidad 6-12 cm. En el resto de las determinaciones los valores fueron similares o levemente inferiores al testigo, es decir, que los cambios estructurales del suelo no pudieron ser detectados con la Dap como indicador, a pesar de haberse generado macroporos visibles al degradarse las raíces de avena.

El CC produjo aumentos significativos en la tasa de infiltración en condiciones de suelo saturado. La tasa de infiltración, medida en mm/hora, fue casi el doble en el tratamiento con avena evaluado, incrementando así la capacidad de acumular lluvias abundantes en los cultivos sucesores.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez C, Scianca C. 2006 "Cultivos de cobertura en moli- soles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas." Jornada profesional Agrícola. INTA Gral. Villegas.
- Dabney SM, Delgado JA, Reeves DW 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Soil Science and Plant Analysis*, Volume 32, Number 7-8 /2001 – pp. 1221-1250
- Caviglia OP, Melchiori RJM, Sasal MC, Van Opstal NV, Gregorutti WC, Wilson M, Indelangelo M. 2007. "Producción de materia seca, balance hídrico y porosidad edáfica en cultivos de cobertura antecesores de la soja de primera". Actualización técnica Cultivos de Invierno. E.E.A. Paraná.

Serie extensión N°42. Pp. 45-50.

- Dardanelli IJ, Collino DJ, Otegui ME, V. Sadras. 2003. Capítulo 16: "Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción". En: Satorre, E.H.; Vence Arnold, R.L.; Slafer, G.A.; De la Fuente, E.B.; Miralles, D.J.; Otegui, M.E. y R. Savin. "Producción de cultivos de grano: bases funcionales para su manejo". Ed. Facultad de Agronomía, U.B.A. 783 pp.
- Folorunso OA, Rolston DE, Prichardt, Lovi DT. Oct 1992. "Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter cover crops". *Soil Technology*. Vol 5, issue 3, pp. 189-197.
- Gil RC, Coronel JH, Martínez Quiroga E. "Eficiencia del Barbecho en la zona de Gancedo – Chaco. Grupo La Paloma - Campaña 2004/05". Datos no publicados.
- INTA, 1988. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360 – 13 y 14 – Cañada de Gómez – Rosario. INTA
- Miller PR, Graver WC, Williams WA, Madison BA. Oct 1990. "Cultivos de cobertura para la agricultura de California". University of California Davis. *Agronomy progress Report* No 219.
- Mitchell JP, Peters, DW; Shennan, C. 1999. "Changes in Soil Water Storage in Winter Fallowed and Cover Cropped Soils". *Journal of sustainable agriculture* Vol 15, No 2-3, pp.19-33.
- Quiroga A, Carfagno P, Eiza MJ, Michelena R. 2007. "Inclusión de Cultivos de Cobertura bajo Agricultura de Secano en la Región Semiárida Pampeana" Jornadas de Cultivos de Cobertura – 28 y 29 de Septiembre de 2007 General Villegas y General Pico
- Ruffo ML, Bullock DG, Bollero GA. 2004. "Soybean Yield as Affected by Biomass and Nitrogen Uptake of Cereal Rye in Winter Cover Crop Rotations" *Agronomy Journal*. 96:800–805.
- Scianca C, Álvarez C, Barraco M, Quiroga A, Pérez M. B. 2008. "Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja". E.E.A. General Villegas. Publicaciones regionales. Memoria técnica 2007-2008. Pp. 55-58.
- Villamil MB, Bollero GA, Darmody RG, Simmons FW, Bullock DG. 2006. "No-Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops: Effects on Soil Properties". *Soil Science Society of America Journal*. 70:1936–1944.
- Zadoks JC, Chang TT, Konzak, CF. 1974 "A decimal growth code for the growth stages of cereals". *Weed Research* 14, pp. 415-421.



## Costo hídrico de cultivos de cobertura invernales en San Luis. Primeras experiencias

### INTRODUCCIÓN

En la región semiárida pampeana las precipitaciones anuales oscilan entre 700 mm, en el este, y 500 mm, en el oeste (Glave, 1989). La isohieta de este último valor atraviesa el centro de la provincia de San Luis delimitando en su región oriental aquellas zonas con aptitud para sistemas de producción agrícolas y mixtos (Garay et al., 2009).

En los sistemas de producción mixtos la ganadería se basa principalmente en bovinos para carne. En general la cría y recría se realiza a pasto y la invernada con suplementación estratégica sobre pasturas o a corral (Veneciano, 1998). La actividad agrícola extensiva se basa principalmente en cultivos de verano en secano, incrementándose su participación hacia el este. Los cultivos agrícolas de mayor relevancia en el área son: maíz, girasol, soja y sorgo granífero, con un rendimiento medio de 4400, 1600, 2000 y 4250 kg ha<sup>-1</sup> de grano respectivamente, con una superficie agrícola total cercana a las 300.000 ha (RIAN, 2010). Entre los sistemas de labranza predomina la siembra directa (SD) siendo cultivada de esta forma el 85% de la superficie destinada a soja y cerca del 50% del área destinada al resto de cultivos citados anteriormente (Garay et al., 2009).

A partir de 1980 comenzaron a ingresar al país sistemas de riego presurizado, creciendo a razón de 5,5% anual la superficie bajo este sistema de riego (Morábito et al., 1997). Actualmente en la provincia de San Luis se riegan mediante pivot 33.216 ha lo que permite mejorar y estabilizar la producción.

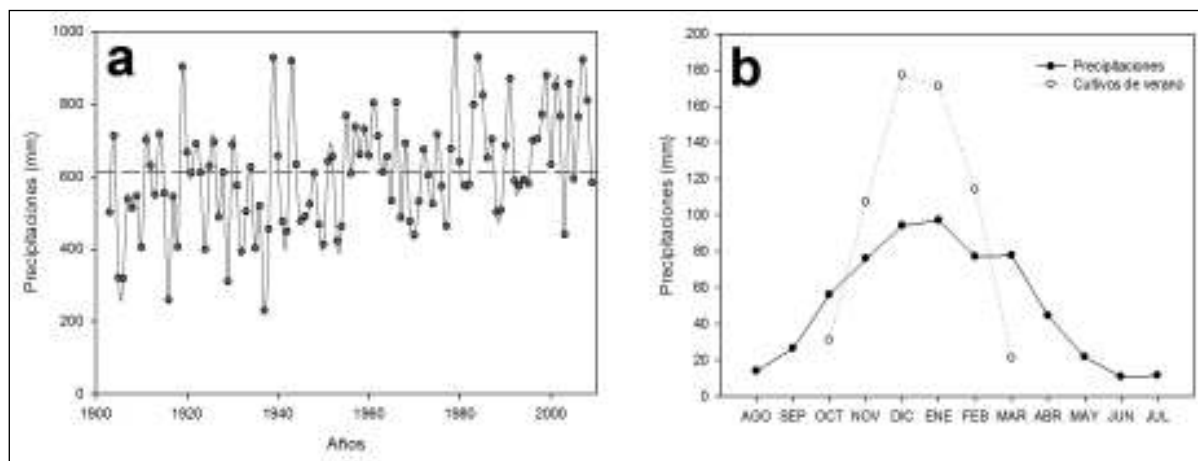
Los suelos de esta región son de textura franca a arenosa, poco desarrollados, uniformes, profundos y muy permeables (Peña Zubiarte et al.,

2000). Se ha estimado que la capacidad para almacenar agua útil de estos suelos varía desde 60 mm m<sup>-1</sup> en el sur y en el oeste de la provincia con texturas arenosas, a 110 - 125 mm m<sup>-1</sup>.

En el área de Villa Mercedes y el valle del Conlara, los suelos son de textura franca (Kirby, 1999; Sáenz, 2008). En el este del área con aptitud agrícola existen sectores con influencia de napa cuyo aporte a los cultivos varía de acuerdo a la profundidad y a la calidad de la misma.

Las precipitaciones se concentran desde fines de primavera hasta el comienzo del otoño con una variabilidad estacional e interanual muy importante, con inviernos extremadamente secos (Orta, 2006). Durante el último siglo las precipitaciones se incrementaron a razón de 1,8 mm año<sup>-1</sup> (Echeverría y Kall, 1990), lo que ha producido que los cultivos hayan aumentado sus rendimientos por una mayor disponibilidad hídrica (Figura 1a). Esto, más la adopción del sistema de SD, ha generado el corrimiento de la frontera agrícola hacia el oeste, desplazando a la ganadería hacia zonas de menor aptitud productiva (Sáenz, 2009).

Si comparamos el requerimiento hídrico medio mensual de los cultivos de verano con la precipitación efectiva mensual en Villa Mercedes (Figura 1b), observamos que se produce un déficit hídrico marcado durante los meses estivales. Contribuye a reducir este déficit la transferencia de agua a través de barbechos de los excedentes hídricos que se producen desde el otoño hasta la primavera temprana, esto es aproximadamente 187 mm que precipitan entre los meses de marzo y comienzo de octubre, que permitirían recargar el perfil (Sáenz, 2009). En este caso, juega un papel preponderante la eficiencia de almacenamiento que se pueda obtener, determinada por la textura



**Figura 1:** a) Precipitaciones anuales, la línea rayada indica el promedio y b) Precipitación media mensual (1903-2009) y requerimientos hídricos de los cultivos de verano, en Villa Mercedes.

del suelo y por el nivel de cobertura de rastrojo que queda en el lote durante los meses de invierno. De acuerdo a mediciones realizadas en la zona durante los últimos dos años, la eficiencia de almacenamiento media en lotes en SD pueden alcanzar el 60% en barbechos entre los meses de julio y septiembre incluidos (Sáenz, 2009).

Una alternativa a esta práctica sería utilizar las lluvias otoñales en la producción de cultivos de cobertura (CC). Entre los beneficios de esta práctica se encuentran: atenuar la pérdida de carbono de los suelos, prevenir la erosión, capturar nutrientes reduciendo la pérdida por lixiviación y contribuir al control de malezas (Quiroga et al., 2009). Sin embargo se reconoce que el consumo hídrico del CC podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor, en especial en ambientes semiáridos (Dabney et al., 2001).

Si bien existe abundante información del efecto de los CC en la disponibilidad de agua en suelos con regímenes más húmedos (údicos) (Álvarez et al., 2009) o sobre suelos de similar régimen pero con diferente distribución de precipitaciones (Fernández et al., 2007), no existe información local del efecto de los CC sobre la disponibilidad

de agua en el este de San Luis.

Es por ello que los objetivos del siguiente trabajo fueron: a) Evaluar la eficiencia de almacenamiento de agua en barbechos invernales en dos ambientes representativos de los sistemas de producción del este de San Luis, y b) Determinar el costo hídrico de la inclusión de CC invernales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental y sitios de estudio

Durante el invierno de 2009 se realizaron dos ensayos comparativos entre un cultivo de cobertura (CC) y un testigo en barbecho (T) en dos ambientes representativos de la región, en Villa Mercedes (VM) y al sur de Liborio Luna (LL). En VM, el ensayo se realizó en la Estación Experimental INTA San Luis (33° 39' 33" S, 65° 24' 33" W). El suelo de este sitio se caracteriza por poseer una capacidad de almacenaje de agua útil de 113 mm m<sup>-1</sup>. (Tabla 1). La napa freática se encontró a 1,3 m de profundidad durante el ensayo. El tratamiento T consistió en un barbecho sobre rastrojo de soja y el CC fue centeno (*Secale cereale*), sembrado el 1 de mayo de 2009 y seca-

**Tabla 1.** Textura y características hídricas de los sitios de estudio, CCa (Capacidad de Campo), PMP (Punto de marchitez permanente), CAD (Capacidad de almacenamiento de agua útil) y PN (Profundidad de Napa). Datos tomados de Saézn (2008).

Sitio	Textura	CCa (mm)	PMP (mm)	CAD (mm)	PN (m)
VM	Franco	165	52	113	1,3
LL	Arenosa franca	148	43	105	> 5

do con 4 L ha<sup>-1</sup> de Glifosato el 2 de octubre de 2009.

Un segundo ensayo se realizó en las cercanías de Liborio Luna (LL), 25 km al O de VM (33° 40' 05" S, 65° 40' 20" W). El suelo es de textura arenosa, con una capacidad de almacenaje de agua útil de 105 mm m<sup>-1</sup>. La napa se encuentra profunda y no es utilizada por los cultivos (Tabla 1). El tratamiento T consistió en un barbecho sobre rastrojo de girasol (*Helianthus annuus*) y el CC fue un triticale (x *Triticosecale Wittm.*) sembrado el 13 de marzo de 2009 y secado el 16 de octubre de 2009. En este sitio se aplicó riego complementario mediante un equipo de aspersión de pivot central. La lámina total fue de 180 mm distribuidos en aplicaciones de 30 mm.

### Determinaciones analíticas

El contenido de humedad fue evaluado por gravimetría (Gardner, 1965) en tres estratos: 0 – 0,2 m; 0,2 – 0,4 m y 0,4 – 1 m en VM, mientras que en LL se agregó el estrato 1 – 2 m a los anteriores. Para expresar el contenido de agua disponible en milímetros se utilizó una densidad aparente de 1,3 g cm<sup>-3</sup> en VM y de 1,4 g cm<sup>-3</sup> en LL. El contenido de agua útil para el cultivo (AU, mm) fue calculado según la Ec. 1:

$$AU = H (CCa - PMP) \quad (1)$$

Donde H es el contenido de humedad (mm), CCa es la capacidad de campo (mm) y PMP es el punto de marchitez permanente (mm).

La eficiencia de almacenaje (EA) fue expresada como la proporción (%) de agua útil al finalizar el barbecho en relación a los ingresos de agua al sistema (Ec. 2), mientras que el uso consuntivo (UC) en el CCa fue calculada según las Ec. 3 (López & Arrue, 1997).

$$EA = AUF / (AUi + PP + R) \quad (2)$$

$$UC = AUi + PP + R - AUF \quad (3)$$

Donde AUi es el agua útil al inicio de la experiencia (mm), PP las precipitaciones durante el periodo de ensayo (mm), R lámina de riego aplicada durante el periodo evaluado y AUF el agua útil al finalizar la experiencia.

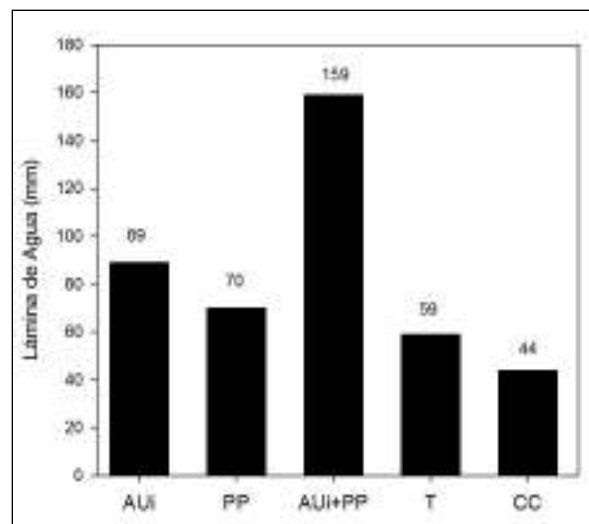
## RESULTADOS

### Sitio Villa Mercedes (VM)

Debido a que el otoño fue muy seco (70 mm durante el ensayo), el CC no logró un desarrollo importante con una productividad de 700 kg MS ha<sup>-1</sup>. En la Figura 2 se presentan los valores de AU al inicio y final del ensayo para ambos tratamientos.

El agua útil final fue inferior en el tratamiento CC con una diferencia de 15 mm en el primer metro de espesor. Esta disminución se observó en los primeros 0,4 m, los cuales puede ser atribuibles al consumo de agua por parte de las raíces del CC (Tabla 2).

La eficiencia de almacenamiento fue superior en el rastrojo de soja 66 % (T) respecto de 52 % en CC.



**Figura 2:** Agua útil inicial (AUi), precipitaciones durante la experiencia (PP), agua útil inicial mas el aporte de las precipitaciones (AUi+PP), agua útil al finalizar el ensayo en el testigo (T) y en cultivo de cobertura (CC). Ensayo Villa Mercedes.

**Tabla 2:** Contenido de agua útil por estrato al finalizar el periodo de barbecho en Villa Mercedes. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

Estrato (m)	Tratamiento	Agua útil (mm)	
0 - 0,2	CC	3,4	A
	T	12,3	B
0,2 - 0,4	CC	8	A
	T	15,4	B
0,4 - 1,0	CC	71,9	A
	T	75	A

### Sitio Liborio Luna (LL)

En este sitio la productividad del triticale fue de 2000 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca. El agua útil presente en el perfil hasta los 2 m de profundidad al finalizar el ensayo fue de 81 mm y 116 mm para CC y T respectivamente (Tabla 3).

Esta diferencia fue significativa a partir de los 0,4 m de profundidad. Esto probablemente se deba a que el agua de riego aplicada durante el invierno se almacenó con mayor eficiencia en profundidad, mientras el agua más superficial fue más susceptible a procesos de evaporación. Teniendo en cuenta solo el primer metro de perfil, la diferencia de agua útil al finalizar la experiencia entre CC y T fue de 15 mm. Pero esta cifra es de 35 mm si tenemos en cuenta los 2 m de perfil (Figura 3).

La eficiencia de almacenamiento fue menor al considerar los primeros 2 m (12% en T y 8% en CC) respecto al considerar solamente el primer metro (17% en T y 12% en CC).

El costo hídrico del cultivo de cobertura fue de 15 mm y 35 mm para VM y LL respectivamente. Estos resultados son cercanos a los obtenidos por Fernández et al. (2007) en un Haplustol Éntico de La Pampa quienes encontraron un costo hídrico de 30 mm en un centeno utilizado como CC.

La eficiencia de almacenaje en VM para el T fue de 66%. Valores similares fueron reportados por Saenz (2009), en lotes de siembra directa bajo barbecho entre los meses de julio y septiembre. En el caso de LL esta eficiencia fue considerablemente menor, 12% para el T con riego considerando los 2 m de profundidad del perfil. Esto probablemente se deba a la diferencia en aporte de agua durante el periodo de evaluación, 70 mm y 253 mm en VM y LL respectivamente. En el primer

**Tabla 3:** Agua útil en el perfil del suelo al finalizar el periodo de barbecho en Liborio Luna. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según prueba t con un nivel de significación ( $p < 0,05$ ).

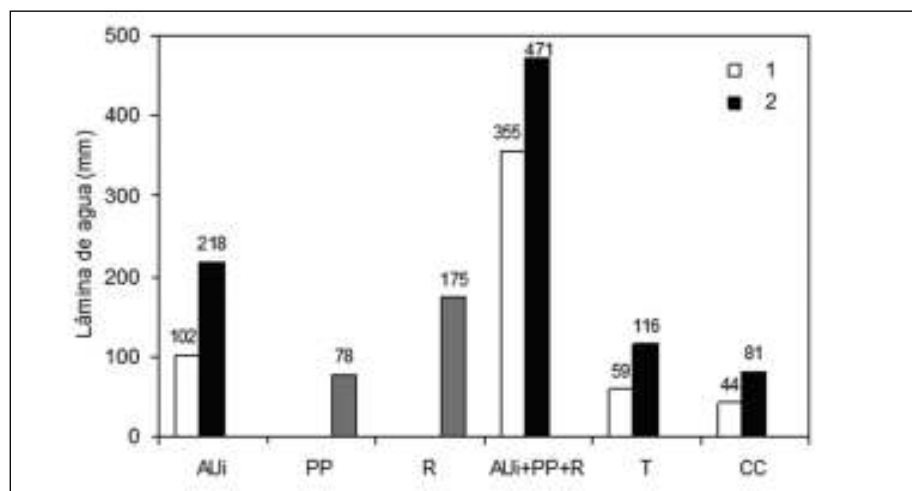
Estrato (m)	Tratamiento	Agua útil (mm)	
0 - 0,2	CC	8,1	A
	T	7,8	A
0,2 - 0,4	CC	10,8	A
	T	11,4	A
0,4 - 1,0	CC	24,9	A
	T	40,1	B
1,0-2,0	CC	37,3	A
	T	56,6	B

caso hay aportes de napa que pueden mejorar los contenidos hídricos del suelo. En el segundo caso al haberse regado con pequeñas láminas (30 mm) probablemente las pérdidas de agua por evaporación sean importantes y disminuyan la eficiencia con que se almacena el agua.

### CONCLUSIONES

Durante el invierno, en sistemas de agricultura en siembra directa en secano, podemos lograr eficiencias de almacenamiento del orden de 60%. Mientras que en el caso puntual del ensayo realizado en Liborio Luna la eficiencia fue muy baja, 12 y 8% para el testigo y el cultivo de cobertura, respectivamente.

En sistemas bajo riego por aspersión si se desea recargar el perfil previo a la siembra del cultivo de verano, sería recomendable hacerlo a la menor velocidad posible del pivot, es decir con la



**Figura 3:** Agua útil inicial (AUi); precipitaciones (PP) y riego (R) durante la experiencia; agua útil inicial más el aporte de las precipitaciones y riego (AUi+PP+R); agua útil al finalizar el ensayo en el testigo (T) y en cultivo de cobertura (CC). Clasificado considerando el perfil hasta 1 (0-1) y 2 (0-2) m de profundidad. Ensayo Liborio Luna.

mayor lámina posible por evento de riego que permita el sistema, de modo de minimizar las pérdidas por evaporación desde el suelo.

En el caso de utilizar cultivos de cobertura en base a cereales de invierno, estos primeros resultados indican que el costo hídrico varió entre 15 y 35 mm.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez C, C Scianca, M Barraco, A Quiroga, M Díaz Zorita. 2009. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre el movimiento de agua en suelo. En Jornadas Nacionales: Sistemas Productivos Sustentables. Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura. AACs. (En CD).
  - Dabney SM, JA Delgado, DW Reeves. 2001. Using winter crops to improve soil and water quality. *Comm Soil Sci Plant Anal.* 32(7-8): 1221-1250.
  - Echeverría JC, GF Kall. 1990. Las lluvias en Villa Mercedes, San Luis. *Información Técnica* 113. Centro Regional La Pampa – San Luis, EEA San Luis. 16 pp.
  - Fernández R, A Quiroga, F Arenas, C Antonini, M Saks. 2007. Agua en el Suelo. Pp 51-59. En: A Quiroga & A Bono (Eds.). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos.* Publicación Técnica 71. INTA Anguil. 104 pp.
  - Garay J, J Veneciano, C Peña Zubiato. 2009. Áreas agroecológicas y superficie cultivada. Pp 7-14. En: A Quiroga; J Casagrande y JC Colazo. *Aspectos de la evaluación y manejo de los suelos en el este de San Luis.* *Información Técnica* 173. INTA San Luis. 66 pp.
  - Gardner WH. 1965. Water Content. Pp 82-127. In: CA Black (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.* ASA. Madison, WI, USA. 770 pp.
  - Glave AE. 1989. Manejo del suelo y del agua en la Región Semiárida Pampeana. *Revista ACAECER* 15 (155): 33-36.
  - Kirby M. 1999. Water balance and sustainability under irrigation in San Luis province. Bureau of Rural Science. Canberra, Australia. 31 pp
  - López MV, J Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil & Till. Res.* 44: 35-54.
  - Morábito JA, S Salatino, C Mirábile, J Chambouleyron, L Fornero, M Núñez. 1997. Evolución del riego presurizado en diferentes regiones de Argentina. INA-CRA. UNCuyo-FCA.
  - Orta JO. 2006. Aplicación del Modelo CERES-Maize como Herramienta para Evaluar Estrategias de Manejo del Cultivo de Maíz Bajo Riego y secano, en el Área de Villa Mercedes (San Luis). Tesis para optar al grado de MSc. UNCor.
  - Peña Zubiato CA, A d'Hiriart, ER Aguirre, MA Demmi, JD Elizondo, SM Garcia, AP Pascuarelli. 2000. Carta de Suelos de la República Argentina – Hoja Villa Mercedes Provincia de San Luis. INTA - Gobierno de la Provincia de San Luis. 195 pp.
  - Quiroga A, R Fernández, I Frasier, C Scianca. 2009. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. En *Jornadas Nacionales: Sistemas Productivos Sustentables. Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura.* AACs. (En CD).
  - RIAN. 2010. Red de información agropecuaria nacional. Disponible en <http://rian.inta.gov.ar>. Verificado el 31/10/2010.
  - Sáenz CA. 2008. Respuesta del cultivo de maíz y las características físico químicas del suelo al riego complementario con agua subterránea salina en la región semiárida pampeana. Tesis para optar al grado de MSc. UNCU.
  - Sáenz CA. 2009. El riego complementario en relación a la agricultura en el este de San Luis. Pp. 39-42. En: A Quiroga; J Casagrande y JC Colazo. *Aspectos de la evaluación y manejo de los suelos en el este de San Luis.* *Información Técnica* 173. INTA San Luis. 66 pp.
  - Veneciano JH. 1998. Apreciaciones acerca de la actualidad ganadera de San Luis y sus posibilidades. *Información Técnica* 147. INTA San Luis. 38 pp.
-

## Cultivos de cobertura de *Vicia villosa* Roth. en el valle bonaerense del Río Colorado

### INTRODUCCIÓN

Los cultivos de cobertura (CC) se incluyen en los sistemas agrícolas generalmente como herramientas para el manejo de nutrientes (Ruffo y Bollero, 2003a). La utilización de CC de leguminosas tiene como uno de sus objetivos cubrir parte del requerimiento de nitrógeno (N) de los cultivos estivales sembrados posteriormente a su secado. La mayoría de las leguminosas poseen una alta capacidad de acumular N en su biomasa aérea (Fageria et al., 2005) que puede quedar disponible para cultivos posteriores durante la descomposición de sus residuos (Ruffo y Bollero, 2003b).

El contenido de N de los residuos de CC de leguminosas varía según la especie utilizada, su adaptación a condiciones específicas, tanto climáticas como edáficas, el N disponible en el suelo y el momento de supresión del crecimiento (Reeves, 1994). Diversos autores señalan al género *Vicia* como el más indicado para utilizar como CC (Smith et al., 1987) y dentro de este género destacan las especies *V. villosa*, *V. sativa*, *V. faba*, *V. benghalensis*, *V. dasycarpa* y *V. angustifolia* (Fageria et al., 2005). Frecuentemente, el efecto de un CC de vicia se relaciona estrechamente con el cambio producido sobre la disponibilidad de N en el suelo (Corak et al., 1991; Kuo y Jellum, 2000) y este cambio es señalado como un beneficio de corto plazo (Kuo et al., 1997).

En el extremo sur de la provincia de Buenos Aires se ubica el área de riego que comprende el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC), compartida entre los partidos de Villarino y Patagones. La superficie bajo riego abarca 500.000 ha; una parte de ellas (140.000 ha) tienen concesión de riego, y se riegan, efectivamen-

te, unas 90.000 ha (Sánchez et al., 1998; Lurman, 2009). Habitualmente el riego se aplica por gravedad, en manto o guiando el agua por surcos. El clima en el VBRC es semiárido, las precipitaciones promedian los 450 mm anuales, distribuidos principalmente en otoño y primavera. El balance hídrico en el verano es deficitario. Los suelos de esta zona, en general, son Haplustoles Énticos, de textura arenosa a arenosa franca, muy sueltos, susceptibles a erosión eólica, y con niveles de materia orgánica (MO) en promedio cercanos a 1%, y que rara vez superan valores de 2%. Son suelos de escasa retención hídrica y sus niveles de P Bray oscilan entre 5 y 30 ppm (Sánchez et al., 1998). Por su textura y baja retención hídrica, estos suelos tienen alto riesgo de lixiviación de nitratos durante barbechos.

La vicia villosa (*V. villosa* Roth.) es una leguminosa anual, de ciclo otoño invierno primaveral. En el VBRC, presenta alta plasticidad a la época de siembra, por lo tanto, puede implantarse desde fines de verano hasta el invierno (Vanzolini et al., 2010). Experiencias realizadas en la zona destacaron la mayor capacidad de producción de materia seca de vicia villosa respecto de vicia sativa (Renzi, 2008; Renzi y Cantamutto, 2008).

Los sistemas de producción bajo riego suelen ser altamente dependientes de insumos, en especial de fertilizantes nitrogenados. Además, los suelos son sometidos a un importante número de labranzas para la preparación del lote previo a la siembra, lo que repercute negativamente sobre su calidad. Con este escenario, es necesario aumentar la eficiencia de uso de la fertilización, así como encontrar fuentes alternativas de N, como lo son las leguminosas que fijan el N atmosférico. A la vez, es indispensable la adopción de

técnicas que minimicen el laboreo de los suelos y, de esta manera, reducir el impacto sobre propiedades físicas, químicas y biológicas. En este sentido, la siembra directa puede alcanzar rendimientos similares a los obtenidos bajo labranza convencional, proveyendo mientras tanto de beneficios ambientales como la protección del suelo y reducción de la erosión (Galantini et al., 2006).

El conocimiento de la dinámica de producción de materia seca (MS) y la acumulación de N en la biomasa durante la primavera, facilita la toma de decisiones para maximizar el beneficio de la utilización de CC (Odhiambo y Bomke, 2001). El objetivo del trabajo fue determinar el aporte de carbono y nitrógeno que realiza un CC de vicia villosa y la modificación que produce en el balance de agua y nutrientes para el cultivo siguiente a medida que se demora su secado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en EEA INTA, H. Ascasubi, partido de Villarino, Provincia de Buenos Aires (39° 22' S, 62° 39' O), durante dos años consecutivos (2006-7 y 2007-8). El primer año se realizó sobre un suelo con 1,25% de MO, 31 ppm de PE y 7,4 de pH; el segundo año las características del suelo fueron: 1,85% de MO, 25 ppm de PE y pH igual a 7,0.

A mediados de julio se sembraron los CC que consistieron en cultivos puros de vicia villosa (120 semillas viables m<sup>-2</sup>). Los tratamientos evaluados fueron: VTe: CC de vicia villosa, desecada con herbicidas tres semanas antes de la siembra del maíz; VMe: CC de vicia villosa, desecada con herbicidas dos semanas antes de la siembra del maíz; VTa: CC de vicia villosa, desecada con herbicidas una semana antes de la siembra del maíz; T: Barbecho químico, suelo desnudo a modo de testigo durante el período de crecimiento de los CC. Se evaluó la producción de MS al momento de secado y se determinó la concentración de N en la biomasa.

Se determinó la concentración de N de nitratos (N-NO<sub>3</sub>-) previos a la siembra de los CC y antes de la siembra del maíz, es decir, luego del secado de los CC; a dos profundidades (0-0.2 y 0.2-0.6 m).

La siembra del cultivo de maíz (Nidera AX820) se realizó una semana después de la última fecha de

secado, en SD. La densidad de siembra utilizada fue de 90.000 pl ha<sup>-1</sup> y 95.000 pl ha<sup>-1</sup>, en 2006 y 2007, respectivamente. En ambos años se aplicó fosfato diamónico a la siembra en dosis de 70 kg ha<sup>-1</sup>. En estadios fenológicos cercanos a V6, se dividieron las parcelas principales y se aplicaron las siguientes dosis de N: 0, 69, 138 y 207 kg ha<sup>-1</sup> en forma de urea. Durante el ciclo del cultivo de maíz se realizaron de 5 a 6 riegos para satisfacer la demanda hídrica del cultivo. Se estimó la aplicación de aproximadamente 100 mm agua riego. La cosecha se realizó a mano sobre 5 de los surcos centrales. Se determinó contenido de N en la biomasa del cultivo (planta+ espiga) a cosecha.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante Anova doble, para un diseño en bloques con parcela dividida. En los casos donde se hallaron diferencias estadísticamente significativas, las medias se compararon mediante LSD (p<0,05).

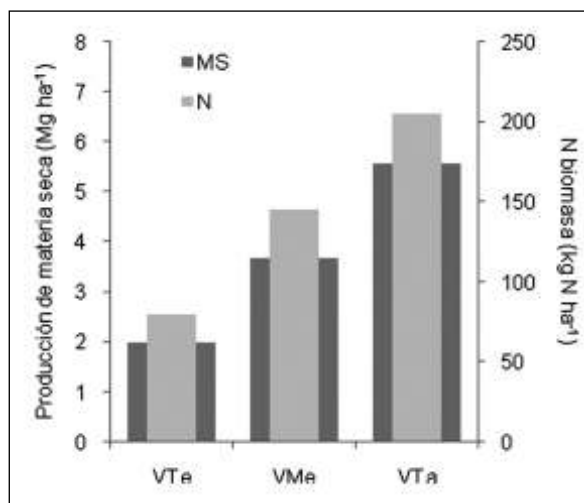
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Producción de materia seca y acumulación de N en CC de vicia

En el primer año de experiencia, los CC se sembraron el 19 de julio. El ciclo de crecimiento (desde siembra a secado) fue de 98 días para VTe, 105 días para VMe y 113 días para VTa. Durante estos períodos, las precipitaciones fueron de 130 mm para VTe, 143 mm para VMe y 150 mm para VTa. En 2007, los CC se sembraron el 26 de julio. El período entre la siembra y el secado de cada CC fue de 103 días para VTe, 110 días para VMe y 117 días para VTa. En el transcurso de estos períodos ocurrieron lluvias de 115 mm para VTe, 125 mm para VMe y 133 mm para VTa. Los estadios fenológicos al momento de corte del ciclo de los CC fueron: 10% de floración, 50% de floración y 90% de floración, para VTe, VMe y VTa, respectivamente.

Tanto en la producción de MS como en el contenido de N, no se halló interacción entre año y momento de secado. Se encontraron diferencias significativas en la producción de MS de vicia y en la acumulación de N en la biomasa, entre años y entre fechas de secado en cada año (Figura 1).

Para el promedio de los dos años, el retraso en el secado aumentó significativamente la producción de MS de vicia que siguió el orden VTa (5,58 Mg ha<sup>-1</sup>), VMe (3,67 Mg ha<sup>-1</sup>) y VTe (1,98 Mg ha<sup>-1</sup>). Estos resultados concuerdan con Waggener (1989) y



**Figura 1:** Producción de MS y N acumulado en la biomasa al momento del secado de los CC, promedio de ambos años de experiencia.

Clark et al. (1995; 1997), que hallaron diferencias significativas en el rendimiento en MS y el contenido de N entre CC secados con dos o tres semanas de diferencia. Vaughan y Evanylo (1998) y Sainju y Singh (2001) encontraron resultados similares respecto del aumento en la producción de MS y el contenido de N cuando el secado de los CC se retrasa unas semanas. En este estudio, cuando el secado del CC de vicia se postergó dos semanas, la leguminosa aumentó su producción en 3,6 Mg MS ha<sup>-1</sup>.

En 2006 la producción de biomasa de los CC de vicia fue mayor que en 2007 (4,5 Mg MS ha<sup>-1</sup> vs. 3,0 Mg MS ha<sup>-1</sup>). Esta diferencia se atribuyó principalmente a las bajas temperaturas durante el invierno y principios de primavera de 2007. El contenido promedio de N de la vicia también fue mayor en 2006 (170 kg N ha<sup>-1</sup>) que en 2007 (116 kg N ha<sup>-1</sup>).

El contenido de N fue mayor en VTa (205 kg N ha<sup>-1</sup>) que en VMe (145 kg N ha<sup>-1</sup>) y VTe (79 kg N ha<sup>-1</sup>). También se encontraron diferencias significativas entre VTe y VMe, por lo que una semana de retraso en el secado de la vicia sería suficiente para aumentar el contenido de N de su biomasa. En promedio, la vicia acumuló 126 kg N ha<sup>-1</sup> durante las dos semanas que separaron el secado temprano del secado tardío. La tasa diaria de acumulación de N estimada en este período fue de 8,4 kg N día<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

La producción de MS y el contenido de N en la

fecha de secado tardío fueron superiores respecto a la de las dos primeras fechas. Este aumento se atribuye al rápido crecimiento de los CC de vicia en primavera, debido principalmente al aumento de temperatura (Clark et al., 1995; Sainju et al., 1998). La tasa de acumulación de MS para el período considerado fue de 240 kg MS día<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

El contenido de C de los residuos de los CC de vicia fue similar entre las tres fechas de secado y promedió los 400 g C kg<sup>-1</sup>. Por lo general, una relación C:N de 25:1 es considerada el límite entre la mineralización o la inmovilización del N del residuo (Allison, 1966). La relación C:N de los residuos estuvo por debajo de 11:1, indicando que no fue limitante para la descomposición del residuo en ninguna de las fechas de secado.

## 2. Nitrógeno disponible a la siembra del maíz

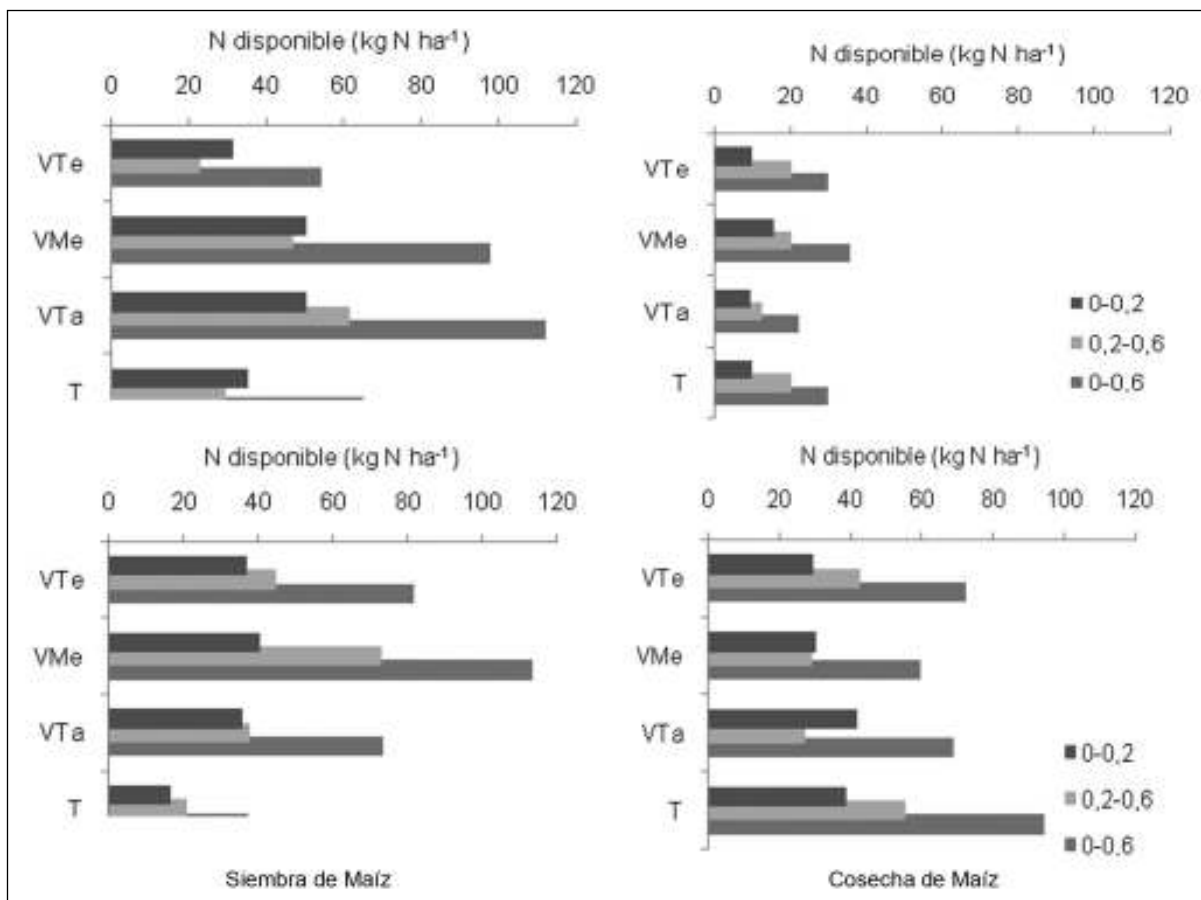
En el análisis del N disponible previo a la siembra del maíz, se halló interacción significativa año\*antecesor, por lo tanto el análisis de los datos obtenidos se realizó separadamente entre años.

En 2006, en la observación del estrato completo (0-60 cm) a la siembra del maíz, el contenido de N ordenó a los antecesores de la siguiente manera: VTa, VMe, T y VTe (Figura 2). Los CC de vicia incrementaron el nivel de N disponible en el suelo, con excepción de VTe que mostró menor nivel. El N proveniente del CC de vicia secado temprano, probablemente fue perdido por efecto de precipitaciones ocurridas luego del riego pre-siembra para maíz. El barbecho fue ineficiente en su función de almacenar N y esto puede estar asociado a características del suelo, como la textura, que facilitan las pérdidas del N del sistema.

En 2007, el análisis del N disponible en los primeros 60 cm de suelo, ubicó los distintos tratamientos en el siguiente orden: VMe, VTe, VTa y T. No se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los CC de vicia, y sólo VMe y VTe fueron estadísticamente diferentes del testigo. El barbecho de este año fue invadido tempranamente por malezas como la quínoa (*Chenopodium sp*) que posiblemente hayan disminuido el nivel de N disponible al momento de la siembra del maíz y hayan liberado parte del nutriente durante el ciclo del cultivo estival.

A diferencia del año anterior, el CC de vicia de secado tardío no evidenció incremento en el N del suelo. Es probable que el escaso tiempo transcu-





**Figura 2:** Nitrógeno disponible el momento de la siembra del maíz y a la cosecha del mismo, para los dos años de experiencia.

rrido entre el secado del CC y la determinación de N disponible, junto con la abundante cantidad de residuos dejados en superficie y las condiciones ambientales de escasa humedad que pudieron limitar la descomposición los mismos en el corto plazo, hayan sido las causas por las que no se encontró el cambio esperado en el N del suelo.

Las características texturales de los suelos del área donde se realizó el estudio, sumadas a la escasa capacidad de retención hídrica que poseen, pudieron haber promovido el movimiento del N en profundidad, así como su salida del sistema. No obstante, no se determinó el contenido de N más allá de los 0,60 m y por lo tanto tampoco puede definirse si afectó el balance de N en el cultivo estival.

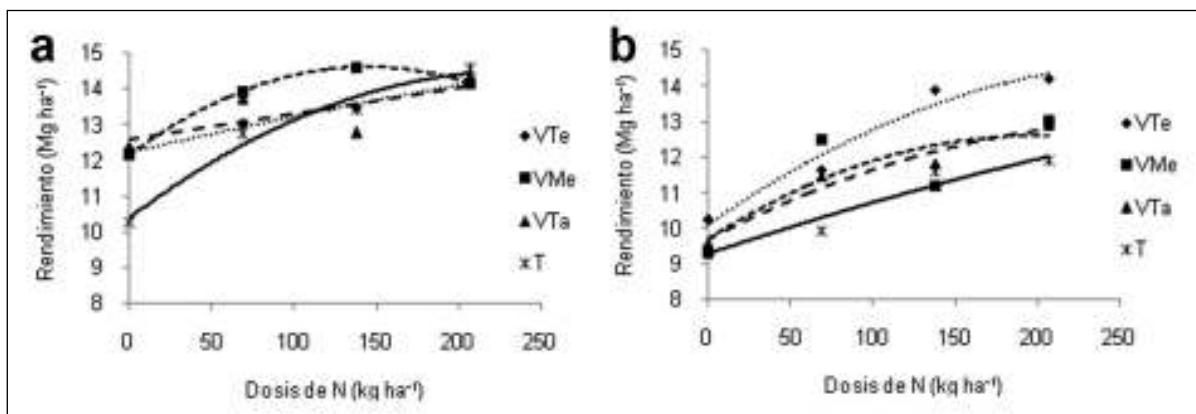
El análisis del contenido de N en el suelo a la cosecha del maíz mostró diferencias entre años (Figura 2). En el primer año, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo

que muestra el aprovechamiento del N aportado por la leguminosa como por la MO del suelo, durante el ciclo del cultivo. En el año posterior, se observó una alta cantidad de N remanente en el suelo, aún en el testigo. Probablemente se relacione con una menor descomposición inicial de los residuos, que provocó la liberación tardía del N contenido en ellos, causando la asincronía con el momento de mayor demanda del nutriente por parte del cultivo. En el barbecho, también se observó la liberación tardía del N retenido en las malezas.

### 3. Rendimiento de maíz

Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se advirtió una tendencia de mayor rendimiento en el cultivo de maíz con antecesor CC de vicia respecto del testigo.

En el primer ciclo de ensayo, el cultivo de maíz con antecesor CC expresó mayor rendimiento que el testigo, sin el agregado de N (Figura 3a). Esta diferencia en el rendimiento se atribuyó fundamentalmente al aporte de N realizado por los CC



**Figura 3:** Rendimiento de maíz en función de las dosis de fertilizante nitrogenado agregado para los dos años de experiencia (a, 2006/07; b, 2007/08).

(Ruffo y Parsons, 2004). Cuando se aplicaron dosis crecientes de N, la ventaja encontrada inicialmente en el maíz sobre CC, fue desapareciendo. Con el agregado de 69 kg N ha<sup>-1</sup>, los rendimientos de VTe y T fueron similares. Sin embargo, el cultivo de maíz sobre CC de secado medio (VMe) tuvo buena respuesta al agregado de N y su rendimiento fue superior al testigo. Mediante regresiones lineales y cuadráticas se comprobó la respuesta al agregado de fertilizante. El maíz con antecesor VTa no mostró respuesta al agregado de N, por lo tanto podría afirmarse que el aporte de N de este CC fue suficiente para cubrir sus requerimientos.

Hargrove, (1986) evidenció la respuesta del maíz con diferentes antecesores al agregado de N mediante regresiones. Mc Vay et al., (1989) no encontraron regresiones significativas entre el rendimiento de maíz y las dosis de fertilizante cuando el antecesor fue CC de leguminosa y de esta manera expresaron la falta de respuesta al fertilizante nitrogenado. En 2006-7, se obtuvieron regresiones significativas en el testigo ( $R^2=0,97^*$ ) y en los antecesores VTe ( $R^2=0,99^{**}$ ) y VMe ( $R^2=0,99^{**}$ ) (Figura 3). En tanto, VTa no evidenció respuesta a la aplicación de N, por lo que se podría inferir que el N aportado por la vicia fue suficiente para cubrir los requerimientos.

En el segundo año de experiencia no se encontraron diferencias en el rendimiento del maíz sobre CC y el testigo, sin el agregado de N (Figura 3b). A pesar de haber encontrado diferencias significativas en el N disponible a la siembra del maíz, éstas no se reflejaron en el rendimiento del cultivo.

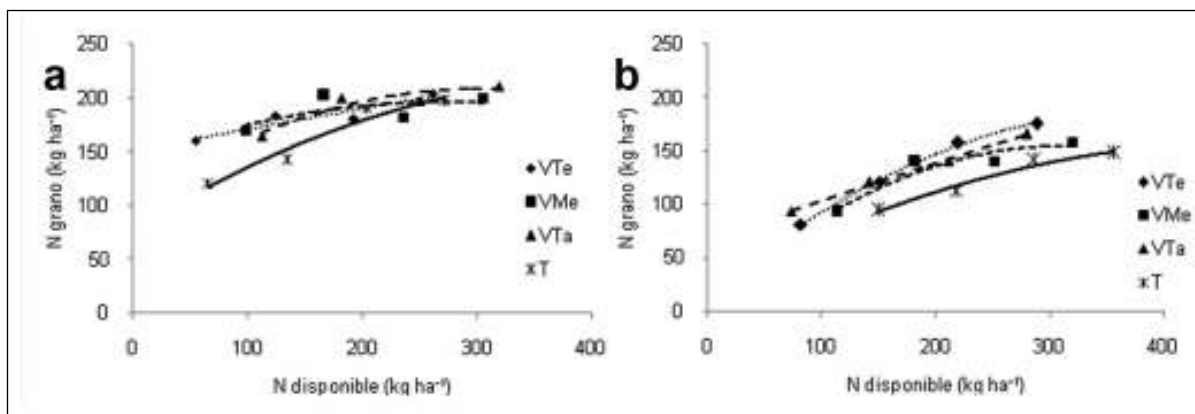
Las regresiones planteadas fueron significativas para VTe ( $R^2=0,96^*$ ), VTa ( $R^2=0,95^*$ ) y T ( $R^2=0,93^*$ ). Mientras que para VMe ( $R^2=0,64$ ), no se halló relación.

A altas dosis de N, las diferencias entre los tratamientos se mantuvieron o incrementaron. Ruffo y Parsons, (2004) denominan esta respuesta como “efecto rotación” y la atribuyen a la mejora en la conservación del agua, la menor competencia de malezas y el mejoramiento de propiedades físicas del suelo. Baldock et al., (1981) dividieron el efecto total de los CC sobre el rendimiento de maíz en dos partes: el efecto rotación, que detectaron por la diferencia de rendimiento entre el CC y el testigo con la mayor dosis de N; y el efecto del N, que hallaron por la diferencia de rendimiento entre el CC y el testigo, ambos sin el agregado de N. Según estos conceptos, en el año 2006-7, se relacionó el efecto del CC de vicia con el aporte de N; y en 2007-8, el efecto se produjo sobre algunas otras propiedades edáficas y determinó mayores rendimientos del maíz con antecesor CC de vicia con el agregado de N.

#### 4. Nitrógeno en el grano de maíz

Hargrove, (1986) y Mc Vay et al., (1989) mencionan el análisis de N en grano como más sensible que el rendimiento para medir la disponibilidad de N entre los diferentes tratamientos. Se analizaron los contenidos de N en grano de maíz entre tratamientos dentro de cada año (Figura 4).

El contenido de N en grano fue variable entre años y entre los diferentes antecesores. En el primer año, se encontró relación entre el N en grano y el N disponible ( $N_{inicial} + N_{fertilizante}$ ) en maíz con VTe ( $R^2=0,87^*$ ) y T ( $R^2=0,94^*$ ) como antecesor (Figura 4a). Cuando el antecesor fue CC de vicia, el maíz tuvo mayor contenido de N en grano que



**Figura 4:** Contenido de N en el grano de maíz con antecesor CC de vicia y antecesor barbecho en los dos años de experiencia (a, 2006/07; b, 2007/08).

con antecesor barbecho, sin el agregado de N. Con el agregado de dosis crecientes de N, las diferencias en el contenido de N en grano se nivelaron. En la evaluación de parámetros de eficiencia, se encontró que el índice de cosecha de N (ICN) fue mayor en el maíz con CC de vicia (0,78) que el maíz con barbecho (0,75). La ausencia de significancia en la relación entre N en grano y el N disponible en los antecesores VMe y VTa probablemente fue consecuencia de mayor disponibilidad y mayor eficiencia de absorción de N, incluso sin el agregado de fertilizante.

En el segundo año de ensayo, se observó una relación similar al año anterior entre el N en grano y el N disponible en VTe ( $R^2=0,99^*$ ), VTa ( $R^2=0,99^{**}$ ) y T ( $R^2=0,97^*$ ) (Figura 4b). Sin embargo, los contenidos de N en grano de maíz con antecesor VTe fueron mayores que el testigo aún con aplicaciones elevadas de N. El maíz con antecesor VTa se comportó de manera similar a VTe. Este año se encontró una tendencia a una mayor acumulación de MS en maíz con antecesor CC de vicia, lo que puede explicar la diferencia en el rendimiento y en el contenido de N en grano.

De manera similar al primer año, no se encontró relación entre el N disponible en el suelo y el N en grano en el maíz con antecesor CC de vicia de secado medio (VMe).

### 5. Eficiencia de uso de N en grano (EUNg)

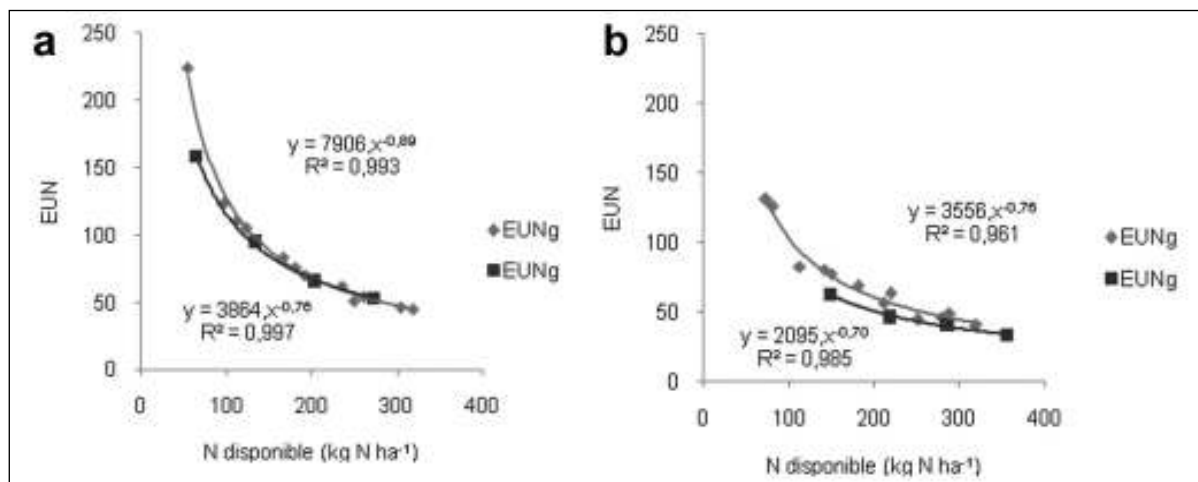
El aumento en la disponibilidad de N produjo un incremento en la producción de grano y se observaron diferencias en la EUNg. En 2006-7, se observó que la EUNg del maíz con antecesor CC

de vicia fue estrechamente mayor a bajas cantidades de N disponible (Figura 5a). Con el aumento de las dosis de N, la EUNg del cultivo estival con antecesor leguminosa se asemejó a la del testigo. En 2007-8, las diferencias en la EUNg entre antecesores fue más marcada. La EUNg con antecesor CC de vicia fue mayor que la del testigo, cuando la disponibilidad fue baja y tendió a valores semejantes con la más alta disponibilidad de N obtenida (Figura 5b). Ese incremento en la eficiencia puede ser atribuido al aporte de N proveniente de la descomposición de los residuos de la leguminosa, incremento que tiende a desaparecer con alta disponibilidad, posiblemente por la mayor ineficiencia del sistema consecuencia de las mayores pérdidas.

### CONCLUSIONES

El retraso en el secado de un CC de vicia permitió incrementar su producción de MS y su contenido de N.

El cambio en la disponibilidad de N a la siembra del maíz fue muy variable entre años y entre tratamientos. El aporte de N de los residuos de los CC al N del suelo, medido a la siembra del maíz puede ser un dato variable según las condiciones meteorológicas del año de experimentación. La temperatura y la humedad de los meses previos al secado, y en momentos anteriores a la siembra del cultivo estival, juegan un papel clave en la tasa de descomposición del material senescente de la leguminosa, así como de los residuos dejados en superficie luego del secado.



**Figura 5:** Relación entre la EUNg con antecesor CC de vicia, la EUNg con antecesor barbecho y el N disponible, en 2006-7 (a) y en 2007-8 (b).

La fertilidad inicial del suelo, así como las condiciones ambientales durante el ciclo del maíz, parecen determinar la variabilidad de la respuesta del cultivo estival al antecesor CC de vicia. En suelos de baja fertilidad se comprobó un mejoramiento en N del suelo, por encima de otras condiciones que se modificarían en el largo plazo. En suelos con mayor contenido de MO, el efecto del CC de vicia se manifiesta a través de mejoras en el ambiente edáfico que permiten un mejor aprovechamiento del N y la humedad del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allison FE. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.* 18:219-258
- Baldock JO, RL Higgs, WH Paulson, JA Jackobs y WD Shrader. 1981. Legume and mineral N effects on crop yields in several crop sequences in the Upper Mississippi Valley. *Agron. J.* 73:887-890.
- Clark AJ, AM Decker, JJ Meisinger, FR Mulford y MM McIntosh. 1995. Hairy vetch kill date effects on soil water and corn production. *Agron. J.* 87:579-585.
- Clark AJ, AM Decker, JJ Meisinger y MM McIntosh. 1997. Kill date of vetch, rye, and a vetch-rye mixture: I. Cover crop and corn nitrogen. *Agron. J.* 89:427-434.
- Corak SJ, WW Frye y MS Smith. 1991. Legume mulch and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:1395-1400.
- Fageria NK, VC Baligar y BA Bailey. 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36:2733-2757.
- Galantini JA, JO Iglesias, C Maneiro, L Santiago y C Kleine. 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA – INTA)* 35: 15-30.
- Hargrove WL. 1986. Winter legumes as a nitrogen source for no-till grain sorghum. *Agron. J.* 78:70-74.
- Lurman D. 2009. Sistemas agropecuarios de Villarino y Patagones. Análisis y propuestas. Enero 2009. Mar del Plata. Ed. INTA
- Kuo S y EJ Jellum. 2000. Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biol. Fertil. Soils* 31:470-477.
- Kuo S, UM Sainju y EJ Jellum. 1997. Winter cover cropping influence on nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1392-1399.
- Mc Vay KA, DE Radcliffe y WL Hargrove. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1856-1862.
- Odhiambo JJO y AA Bomke. 2001. Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. *Agron. J.* 93:299-307.
- Reeves, DW. 1994. Cover crops and rotations. P 125-172. En Hatfield, JL y BA Stewart (Eds.) *Crops residue management*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Renzi JP. 2008. Cobertura y producción de biomasa de cultivares y poblaciones de Vicia spp. *Revista Argentina de Producción Animal* 28:411-412. 31º Congreso Argentino de Producción Animal. Potrero de los Funes, San Luis.
- Renzi JP y MA Cantamutto. 2008. Producción de forraje de Vicia villosa Roth. y Vicia sativa L. en siembras puras y

en mezcla con Avena sativa L. Revista Argentina de Producción Animal 28:412-413. 31° Congreso Argentino de Producción Animal. Potrero de los Funes, San Luis.

- Ruffo ML y AT Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°21.
  - Ruffo ML y GA Bollero. 2003a. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fractions using principal-component regression. Agron. J. 95:1034-1040.
  - Ruffo ML y GA Bollero. 2003b. Modelling rye and hairy vetch residue decomposition as a function of degree-days and decomposition-days. Agron. J. 95:900-907.
  - Sainju UM; BP Singh y WF Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. Agron. J. 90:511-518.
  - Sainju UM y BP Singh. 2001. Tillage, cover crop, and kill-planting date effects on corn yield and soil nitrogen. Agron. J. 93 : 878-886.
  - Sánchez RM, NA Pezzola y JV Cepeda. 1998. Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Boletín de divulgación N°18.
  - Smith MS, WW Frye y JJ Varco. 1987. Legume winter cover crops. Adv. Soil Sci. 7:95-139.
  - Vanzolini JI, JP Renzi, JM Martínez y O Reinoso. 2010. Efecto de la fecha de siembra sobre la producción de materia seca y la acumulación de N en Vicia villosa Roth. como cultivo de cobertura. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo., Rosario, Santa Fe.
  - Vaughan JD y GK Evanylo. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. Agronomy Journal 90:536-544
  - Wagger MG. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. Agron. J. 81:236-241.
-

## Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano

### INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de la Pampa Ondulada se caracteriza por la agricultura continua bajo siembra directa (SD) con predominio de especies de ciclo primavero-estival (principalmente soja y, secundariamente, maíz). Este sistema presenta riesgo de pérdida de agua por drenaje (Salado-Navarro & Sinclair, 2009) y de nitrógeno mineral (Nm) por lixiviación durante los primeros estadios y hacia el final de los cultivos de verano y durante el barbecho otoño-invernal, ya que coinciden gran cantidad de Nm proveniente de la mineralización del suelo, baja demanda por parte de los cultivos y balances hídricos positivos (Andriulo et al., 1999; Portela et al., 2006).

Bajo este contexto, los sistemas agrícolas necesitan ser manejados con mayor diversidad de especies para asegurar sistemas ambientalmente sustentables. Los cultivos de cobertura (CC) en los sistemas de producción agrícola constituyen una herramienta estratégica para mitigar o controlar la lixiviación de nitrato (Mary et al., 1996; Dinnes et al., 2002; Thorup-Kristensen et al., 2003; Constantin et al., 2010). No obstante, estos pueden reducir la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo, y, si las precipitaciones posteriores al secado no son suficientes para recargarlo, pueden afectar negativamente los rendimientos del cultivo de cosecha (Unger y Vigil, 1998; Reicosky y Forcella, 1998).

La introducción de CC en sistemas poco diversificados de la Pampa Ondulada podría constituir una alternativa para mejorar la eficiencia en el uso del agua y del N. Por ello, es necesario conocer el comportamiento de diferentes especies de

CC al momento del secado para definir su elección y posterior implementación en la rotación. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la biomasa aérea producida, el Nm capturado y el consumo de agua al secado de diferentes CC en la rotación soja-maíz bajo SD en la Pampa Ondulada y 2) evaluar el efecto de los CC sobre el rendimiento de soja y maíz.

### MATERIALES Y MÉTODOS

En 2005 se instaló un ensayo con CC intercalados en una rotación de soja y maíz en la Estación Experimental de Pergamino del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (33° 51'S, 60° 40'W). El suelo es un Argiudol Típico (USDA Soil Taxonomy) de la serie Pergamino sin fase por erosión (pendiente < 0,3%), la textura del horizonte A es franco limosa. El clima es templado subhúmedo, con temperatura media anual de 16,5 °C y precipitaciones medias anuales de 973 mm para los períodos 1967-2010 y 1910-2010, respectivamente (base de datos de la EEA Pergamino de INTA).

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y cada parcela fue de 10 x 30 m. A partir de la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz, el diseño experimental fue en bloques con parcelas divididas, correspondiendo la parcela mayor a los tratamientos con CC y la subparcela al fertilizante (0 y 32 kg ha<sup>-1</sup>). Se partió de 7 años de SD con secuencias de cultivos que incluyeron trigo, maíz y, principalmente, soja. Los CC se sembraron bajo SD el 8 de abril de 2005, después de soja de segunda. Las especies utilizadas fueron: cebada forrajera

**Tabla 1.** Calendario de los cultivos, precipitaciones y tasas de fertilización del ensayo de larga duración de Cultivos de Cobertura de la EEA Pergamino.

CC	Siembra	Cosecha/Secado	Fertilización		Precipitación
			kg N ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	Mm
CC	08/04/05	12/08/05	-----	14,7	104
Maíz	26/09/05	07/03/06	32	31,5	487
CC	10/05/06	12/10/06	-----	14,7	151
Soja	08/11/06	09/04/07	-----	-----	831
CC	23/04/08	10/10/08	-----	14,7	83
Soja	28/10/08	08/04/09	-----	-----	498
CC	14/04/09	18/08/09	-----	14,7	125
Maíz	01/10/09	16/03/10	32	31,5	961

(*Hordeum vulgare* L.), ray grass (*Lolium multiflorum* L.), avena (*Avena sativa* L.), cebadilla (*Bromus unioloides* L.), vicia (*Vicia sativa* L.), colza (*Brassica campestris* L.) y nabo forrajero (*Raphanus sativus* L.), utilizando densidades de siembra de 70, 20, 80, 25, 70, 5, 20 kg semilla ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La consociación fue de avena + vicia, y se sembró con densidades de 20 y 40 kg semilla ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Además, se incluyó un testigo sin CC que siempre tuvo control de malezas. A la siembra de los CC (incluyendo el testigo) y del maíz se fertilizó con 14,7 y 31,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Vicia fue inoculada con *Rhizobium leguminosarum biovar viceae*, inmediatamente antes de la siembra. La soja no se fertilizó y se inoculó con *Bradyrhizobium sp.* Las fechas de siembra y cosecha de los cultivos principales soja y maíz y el patrón de distribución de las precipitaciones primavera-estivales de la región, impusieron el límite al crecimiento de los CC. Para el cultivo de maíz, con fechas de siembra de septiembre, el crecimiento de los CC antes de la siembra se interrumpió hacia fines de invierno (estadío vegetativo) y para el cultivo de soja, con fechas de siembra de noviembre, el secado se realizó en la primavera (estadío reproductivo). Las fechas de siembra y de secado de los CC y las fechas de siembra y de cosecha de soja y maíz se presentan en la Tabla 1. En los años 2008 y 2009 no se sembró nabo forrajero por falta de semilla.

#### Determinaciones en suelo y material vegetal

Al momento de secado de los CC se determinó biomasa aérea, N absorbido, Nm y disponibilidad de agua útil en el espesor 0-100 cm y rendimiento en grano a la cosecha de los cultivos de soja y maíz. El contenido de Nm (N-NO<sub>3</sub>), determinado por el método del fenoldisulfónico (Harper, 1982), fue calculado como la suma de los productos entre la concentración de N, el espesor de los horizontes (m) y la densidad aparente (kg dm<sup>3</sup>). La densidad aparente fue calculada por el método del cilindro, utilizando un volumen de 58,9 cm<sup>3</sup> (Burke et al., 1986). La capacidad de agua útil (CAU) del perfil se calculó como la diferencia entre el contenido de agua volumétrica en capacidad de campo, estimada a 0,2 bar con muestra no disturbada, utilizando la mesa de tensión, (Bezerra de Oliveira, 1968) y el punto de marchitez permanente, estimada a 15 bares con muestra disturbada, utilizando la placa porosa de Richards (Richards, 1928). La disponibilidad de agua útil del perfil (DAU) se obtuvo como la suma de la diferencia entre el contenido de agua volumétrica en el momento del muestreo y el punto de marchitez permanente para cada espesor. En el momento de secado de los CC y en la cosecha de soja y maíz, se muestreó la biomasa aérea acumulada en dos muestras de 0,25 m<sup>2</sup> y 1 m<sup>2</sup> por parcela, respectivamente. El material vegetal se secó a 65 °C hasta peso constante. Luego se molió, se homogeneizó y se pasó por un tamiz de 0,25 mm de apertura de

mall. Se determinó N vegetal por el método de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982). Para el análisis de la varianza se aplicó ANOVA, siguiendo el procedimiento PROC GLM de SAS (SAS, 2001), previas pruebas de homogeneidad de variancias y normalidad. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de comparación de medias de Duncan ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de materia seca y cantidad de N absorbido al secado de los CC

La biomasa aérea acumulada hasta el momento de secado para los años evaluados estuvo entre 1133 y 6091 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 2). Las gramíneas produjeron entre 1600 y 5000 kg ha<sup>-1</sup>, siendo la avena, cebada y ray grass las de producción más estable, mientras que la cebadilla se destacó por presentar la menor producción debido a que su crecimiento más lento. Las crucíferas se beneficiaron con siembras más tempranas; sin embargo, la disponibilidad de Nm fue otro factor condicionante en su crecimiento. Así, las producciones sucesivas al año 2005 fueron entre 2 y 5 veces más bajas debido a la menor cantidad de Nm en la rotación. La biomasa aérea de la leguminosa y su

consociación estuvo entre 3000 y 6000 kg ha<sup>-1</sup>, donde la mayor producción se relacionó con mayores precipitaciones recibidas y, en 2006, también con temperaturas más altas al prolongarse su período de crecimiento (secado tardío de octubre). En el año 2008 el crecimiento de los CC se vio afectado por las escasas precipitaciones recibidas, lo que determinó una baja producción general de biomasa aérea. Según lo informado por Kuo & Jellum (2000), la producción de biomasa aérea de los CC puede variar entre años, dependiendo de las características del lugar en donde se desarrollan como así también de las condiciones climáticas imperantes en el año.

La cantidad de N absorbido por las gramíneas y las crucíferas, varió entre 29 y 172 Kg ha<sup>-1</sup> cuando el antecesor fue soja y entre 17 y 35 Kg ha<sup>-1</sup> cuando el antecesor fue maíz (Tabla 2). Estas diferencias se debieron a que luego de la soja, al inicio del experimento, hubo mayor disponibilidad de N en el suelo; sin embargo, esta disponibilidad fue disminuyendo debido a un agotamiento del Nm, a la falta de fuentes externas nitrogenadas durante el crecimiento de los CC y a la presencia del rastrojo de maíz. Así, en el secado 2005 se observó la mayor absorción de N, destacándose las crucíferas con un 30 a 60% más N absorbido

**Tabla 2.** Biomasa aérea y Nitrógeno absorbido de las diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz durante cuatro años.

Años	2005	2006	2008	2009
<b>Biomasa aérea (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
Cebadilla	3980 bcd	2053 b	1600 cd	1680 d
Avena	5376 ab	4306 a	2760 ab	3133 c
Cebada	4954 abc	4940 a	2573 abc	4226 b
Ray Grass	4402 abcd	5373 a	2680 ab	3026 c
Av-Vicia	3389 cd	6073 a	3100 a	5240 a
Vicia	2900 d	5933 a	1827 bcd	5787 a
Colza	6091 a	2320 b	1133 d	1947 d
Nabo	5437 ab	1293 b	---	---
<b>N absorbido (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
Cebadilla	98 bc	21 de	29 b	29 c
Avena	117 bc	34 c	30 b	48 c
Cebada	106 bc	30 cd	26 b	45 c
Ray Grass	86 c	35 c	33 b	36 c
Av-Vicia	102 bc	77 b	55 a	139 b
Vicia	96 bc	112 a	56 a	188 a
Colza	172 a	27 cde	25 b	40 c
Nabo	131 ab	17 e	---	---

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ )



que los demás CC. La leguminosa y su consociación, excepto en el 2008, absorbieron similar cantidad de N entre años. Además, utilizaron entre 2 y 6 veces más N que el resto de las especies para los años 2006, 2008 y 2009. Lo observado en nuestro estudio está de acuerdo con Thorup-Kristensen et al., (2003) quienes informaron que los CC absorben mucho N cuando el perfil del suelo presenta altas concentraciones de éste y que en el caso de las leguminosas, la menor disponibilidad de N no limita su producción.

### Contenido de N mineral al secado de los CC

El Nm residual en el testigo fue entre 50-80 % superior al obtenido en los tratamientos con CC en los años evaluados y no existieron diferencias significativas entre las especies, excepto en el 2008, donde el perfil luego de colza no se diferenció del testigo, vicia, cebada y cebadilla (Tabla 3). En promedio, hubo entre 95 y 40 kg Nm ha<sup>-1</sup> menos en las parcelas con CC que en el testigo para todos los años evaluados. A partir de 2006, el Nm representó menos de la mitad del primer año en todos los tratamientos. Esta menor canti-

dad de N del perfil estuvo relacionada con la inmovilización provocada por el rastrojo proveniente del cultivo de maíz.

A partir del 2006, una vez instalada la secuencia soja-maíz, el Nm del tratamiento sin CC se fue estabilizando (70-80 kg ha<sup>-1</sup>) mientras que los tratamientos con CC lo disminuyeron progresivamente, indicando la búsqueda del equilibrio del sistema suelo-planta bajo SD al trasladar el Nm a sus diferentes compartimentos.

Estos resultados muestran que en los sistemas agrícolas de la pampa ondulada con predominio de especies estivales en la rotación, todas las especies evaluadas como CC son igualmente hábiles para reducir el Nm del suelo como mínimo al 50 % de su valor en el testigo. Este comportamiento evidencia el potencial de los CC para disminuir posibles pérdidas de N por lixiviación en los agroecosistemas (Kenneth & Russell, 1998; Dinnes et al., 2002).

### Consumo de agua de los CC al secado

El Argiudol Típico sobre el que se instaló el ensayo puede almacenar en el espesor 0-100 cm

**Tabla 3.** Nitrógeno mineral y disponibilidad de agua útil en el espesor 0-100 cm de los diferentes tratamientos de la rotación soja-maíz con cultivos de cobertura durante cuatro años.

Años	2005	2006	2008	2009
<b>N mineral (kg ha<sup>-1</sup>)</b>				
Cebadilla	126 b	37 b	36 bc	19 b
Avena	117 b	35 b	18 c	12 b
Cebada	116 b	36 b	33 bc	17 b
Ray Grass	88 b	31 b	19 c	8 b
Av-Vicia	117 b	37 b	18 c	22 b
Vicia	127 b	41 b	44 bc	18 b
Colza	122 b	37 b	54 ab	18 b
Nabo	109 b	38 b	79 a	83 a
Testigo	210 a	81 a	72 a	71 a
<b>DAU (mm)</b>				
Cebadilla	112 c	107 cde	109 ab	114 abc
Avena	83 d	116 bcd	96 ab	100 bcd
Cebada	98 cd	119 bcd	112 ab	86 cd
Ray Grass	81 d	86 e	84 b	100 bcd
Av-Vicia	98 cd	98 de	89 b	78 d
Vicia	92 cd	103 cde	102 ab	75 d
Colza	139 b	136 b	114 ab	97 cd
Nabo	93 cd	126 cb	127 a	129 ab
Testigo	170 a	165 a	125 a	140 a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ )

hasta 195 mm de agua útil cuando se encuentra en capacidad de campo. En el momento del secado de los CC, el testigo presentó entre 72 y 88% de la CAU para los años evaluados al metro de profundidad, excepto en el 2008 que presentó el 64 % de su CAU (Tabla 3).

Para los años 2005, 2006 y 2009, los CC redujeron significativamente la DAU, dejando, en el espesor 0-100cm, entre 89 y 31 mm menos que el testigo (entre 42 y 72 % de CAU). En el año 2008, con excepción de ray grass y avena-vicia, ninguno de los otros tratamientos se diferenciaron del testigo. En general, entre los CC evaluados, el mayor consumo hídrico correspondió a ray grass.

Los CC de mayor producción de biomasa aérea fueron los que presentaron menor cantidad de agua a la siembra de los cultivos principales; no obstante, el consumo de agua durante el período de crecimiento de los CC no afectó su producción debido a que la mayor utilización de agua se concentró en el espesor 0-30 cm (datos no mostrados). Considerando un escenario de lluvias primaverales por debajo del promedio histórico, capaces de recargar principalmente los primeros horizontes, el consumo registrado en este espesor, podría afectar la producción del cultivo siguiente. Esto no ocurriría en años normales o muy húmedos. Por lo tanto, especies con alto consumo de agua, podrían condicionar el crecimiento del cultivo posterior, particularmente en años muy secos.

### Lixiviación y drenaje

La Tabla 4 presenta el N lixiviado y el agua drenada medida en 3 lisímetros de relleno ubicados

a 300 m del ensayo. Los lisímetros están rellenos con el mismo suelo y presentan el mismo sistema de cultivo (secuencia de cultivos, SD continua, híbridos y variedades y las mismas fechas de siembra y cosecha) que el testigo del ensayo bajo estudio (Portela *et al.*, 2006). En estos dispositivos se observó que durante periodos de abundantes e intensas precipitaciones se produjo drenaje y pérdida de N por lixiviación. Como era esperado, estas pérdidas se registraron durante el período de barbecho otoño-invernal, principalmente a la salida de las cosechas de los cultivos de verano, y en la primavera, durante los primeros estadios de los cultivos principales. Para mitigar las pérdidas de N y agua durante los años más húmedos los CC pueden ser utilizados debido a que estos tienen la capacidad de reducir el N potencialmente lixiviable, fomentar el reciclado de N y aumentar su permanencia en el sistema suelo-planta. Además, pueden reducir la pérdida de agua por drenaje en momentos de ocurrencia de precipitaciones que lo estimulan.

### Rendimiento de soja y maíz

La Tabla 5 presenta los rendimientos de maíz y soja, mostrando para cada uno de estos cultivos dos situaciones contrastantes de precipitaciones registradas durante su crecimiento. Para el maíz 2005/06 las precipitaciones registradas fueron de 487 mm y durante su periodo crítico sufrió estrés hídrico. El rendimiento fue inferior cuando se utilizaron gramíneas, principalmente avena y ray grass como CC antecesores, que cuando se utilizaron la leguminosa o la consociación y estas últi-

**Tabla 4.** Lixiviación de N y drenaje de agua de los lisímetros desde el barbecho 2005 hasta la cosecha de maíz 2010.

	Periodo	Lluvias mm	Drenaje mm	N lixiviado kg ha <sup>-1</sup>
Barbecho 2005	01/04/05-25/09/05	180	0	0
Maíz 05/06	26/09/05-07/03/06	487	0	0
Barbecho 2006	08/03/06-07/11/06	455	0	0
Soja 06/07	08/11/06-09/04/07	831	133	23
Barbecho 2007	10/04/07-17/10/07	264	60	8
Maíz 07/08	18/10/07-28/03/08	424	57	11
Barbecho 2008	29/03/08-27/10/08	83	0	0
Soja 08/09	28/10/08-08/04/09	498	8	0
Barbecho 2009	09/04/09-30/09/09	213	0	0
Maíz 09/10	01/10/09-16/03/10	961	239	39

**Tabla 5.** Rendimiento en grano de maíz y soja del ensayo de larga duración de cultivos de cobertura. Los rendimientos están expresados al 14,5 y 13,5 % para maíz y soja, respectivamente.

Cultivos de cobertura	Maíz kg ha <sup>-1</sup>		Soja kg ha <sup>-1</sup>	
	2005/06	2009/10	2006/07	2008/09
Cebadilla	7469 abc	9149 cd	5224 a	2588 bc
Avena	7062 bc	8221 cd	5083 a	2606 bc
Cebada	7629 abc	7778 d	4649 a	2454 c
Ray grass	6621 c	8720 cd	5119 a	2511 c
Av-Vicia	8655 a	12585 ab	4843 a	1936 d
Vicia	8621 a	14009 a	4992 a	2447 c
Colza	8138 ab	6630 d	4919 a	2603 bc
Nabo forrajero	8398 ab	10691 bc	5284 a	2883 a
Testigo	8607 a	10757 bc	4891 a	2797 ab

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ )

mas no difirieron del testigo. Los tratamientos fertilizados rindieron ~ 1000 kg ha<sup>-1</sup> más que los no fertilizados (8400 vs 7400 kg ha<sup>-1</sup>). Para el maíz 2009/10 las precipitaciones fueron ~ 50 % superiores a la campaña anterior. El maíz luego de vicia rindió 3250 kg ha<sup>-1</sup> más que el testigo y, en promedio, 5900 kg ha<sup>-1</sup> más que el resto de los CC, excepto de avena-vicia. Los tratamientos fertilizados y no fertilizados no mostraron diferencias significativas. Otros autores informaron el aporte de N de la leguminosa y su efecto positivo sobre la producción del maíz (Vos & van der Putten, 2001; Sainju *et al.*, 2007). No obstante, la falta de aprovechamiento del N aportado por la leguminosa, en una campaña con precipitaciones por debajo de lo normal, determina mayor N residual a la cosecha del maíz potencialmente lixiviable (Restovich *et al.*, 2008).

Para el cultivo de soja no se encontraron diferencias entre tratamientos en el año más húmedo (campaña 2006/07: 831 mm) y sí en el año más seco (campaña 2008/09: 498 mm), mostrando las gramíneas (cebada y ray grass), la leguminosa y su consociación menor rendimiento con respecto al testigo, lo que posiblemente estuvo asociado al consumo de agua de estos antecesores y a la falta de precipitaciones que no recargaron el perfil. El año 2008 fue particularmente seco. En base al registro de lluvias de los últimos 100 años, en 1910 y 1916 se registraron precipitaciones anuales semejantes al 2008 (498, 539 y 573 mm, respectivamente). No obstante, la media anual para la zona es aproximadamente el doble y, por otro lado, solamente durante el crecimiento del cultivo

de soja, el 79 % de las veces llueve más de 500 mm, indicando que el cultivo tiene un buen aporte hídrico durante su crecimiento.

## CONCLUSIONES

A partir de este estudio concluimos que en los agroecosistemas simplificados que predominan actualmente en la Pampa Ondulada algunas especies utilizadas como CC sirven para mejorar la eficiencia en el uso del agua durante los largos períodos de barbecho y reciclar el N dentro del sistema suelo/planta. Además, bajo las condiciones edafoclimáticas de la pampa ondulada, los CC pueden producir biomasa sin necesidad de fuentes externas nitrogenadas. Por otro lado, a través de la captura de N potencialmente lixiviable y posterior entrega al cultivo principal (mediante la descomposición de sus residuos), los CC permitieron obtener rendimientos similares o mayores que el testigo sin CC y podrían reducir la necesidad de fuentes externas nitrogenadas para el cultivo de maíz. El uso de CC no provocó estrés hídrico en los cultivos principales, excepto en un año particularmente seco, debido a que la mayor utilización de agua se concentró en el espesor 0-30 cm el cual, generalmente, se recarga con las lluvias primaverales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo A, B Mary, J Guérif. 1999. Modeling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*. 19: 365-377.

- Bezerra de Oliveira L. 1968. Determinação do macro e micro porosidade pela “mesa de tensão” em mostras de solo com estrutura indeformada. 3: 197-200.
  - Bremner JM, CS Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. Pp. 595-642 en: AL Page; RH Miller & DR Keeney (eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Madison, WI.
  - Burke W, D Gabriels, J Bouma. 1986. Soil structure assessment. Pp Pages en: W Burke; D Gabriels & J Bouma (eds.). A.A. Balkema. Rotterdam.
  - Constantin J, B Mary, G Aubrion, F Laurent, A Fontaine, P Kerveillant, N Beaudoin. 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agr. Ecosyst. Environ.* 135: 268-278.
  - Dinnes DL, LK Douglas, J Dan, K Thomas, J Hatfield, T Colvin, C Cambardella. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern Soils. *Agron. J.* 94: 153-171.
  - Harper. 1982. *Methods of Soil Analysis*. Pp. en: AL Page; RH Miller & DR Keeney (eds.). *Chemical and Microbiological Properties*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Madison, WI.
  - Kenneth WS, BB Russell. 1998. Using cereal grain winter cover crops to reduce groundwater nitrate contamination the mid-Atlantic coastal plain. *J. Soil Water Conserv.* 53: 230-240.
  - Kuo S, EJ Jellum. 2000. Long-term winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biol Fertil Soils.* 31: 470-477.
  - Mary B, N Beaudoin, M Benoit. 1996. Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau Pp. 325 en: G Lemaire & B Nicolardot (eds.). *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*. Vol.83. INRA Editions Reims (France).
  - Portela SI, AE Andriulo, M Sasal, EG Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. *Plant Soil.* 289: 265-277.
  - Reicosky DC, F Forcella. 1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conserv.* 53: 224-229.
  - Restovich SB, AE Andriulo, MJ Torti. 2008. Destino del nitrógeno edáfico luego de la cosecha del maíz con diferentes cultivos de cobertura como antecesores bajo siembra directa en la Pampa Ondulada. Pp. 409 en: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes. San Luis. Argentina.
  - Richards LA. 1928. The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigations. *J. Agric. Res.* 37: 719-742.
  - Sainju, UM; BP Singh; WF Whitehead & S Wang. 2007. Accumulation and Crop Uptake of Soil Mineral Nitrogen as Influenced by Tillage, Cover Crops, and Nitrogen Fertilization. *Agron. J.* 99: 682-691.
  - Salado-Navarro LR, TR Sinclair. 2009. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agr. Syst.* 102: 11-16.
  - SAS. 2001. *SAS/STAT User's guide*. SAS Institute Inc. 8.2. Cary, N.C.
  - Thorup-Kristensen K, J Magid, LS Jensen. 2003. Catch Crops and Green Manures as Biological Tools in Nitrogen Management in Temperate Zones. *Adv. Agron.* 79: 227-302.
  - Unger, PW & MF Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *J. Soil Water Conserv.* 53: 224-229.
  - Vos J, PEL van der Putten. 2001. Field observations on nitrogen catch crops. III. Transfer of nitrogen to the succeeding main crop. *Plant Soil.* 236: 263-273.
-

Patricia Carfagno, Maximiliano Eiza, Francisco Babinec y Alberto Quiroga

## Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa

### INTRODUCCIÓN

El área cultivada de soja incrementó de 2 a 18 millones de hectáreas a nivel nacional en el período 1980/2009 (MAGyP, 2010). La producción de biomasa de éste cultivo (i.e. rastrojo y raíces) son limitados. Los suelos manejados en soja continua pasan entre 5 y 7 meses bajo barbecho invernal con el objetivo de conservar agua para el próximo cultivo. Diferentes estudios en ambientes subhúmedos muestran que los distintos niveles de cobertura del suelo afectan al contenido de agua, al uso consuntivo y a las pérdidas de suelo por erosión (Quiroga et al., 1996).

Fernández et al. (2008) observaron que la eficiencia de barbecho (EB), es muy variable entre Haplustoles de la región Semiárida y Subhúmeda Pampeana, debido a que es limitada por la capacidad de retención hídrica, profundidad de los perfiles y los meses que dure dicho período (Lampurlanes et al., 2002; Quiroga et al., 2005; Moret et al., 2006). Los barbechos se pueden acortar incorporando cultivos de cobertura (CC) a la rotación. De esta manera, los CC se establecen entre cultivos de cosecha y no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando los residuos en superficie protegiendo al suelo de los procesos de erosión (Reeves, 1994) y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos (Mullen et al., 1998; Rufo, 2003). Los objetivos preliminares 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; Fernández et al., 2005); controlar malezas (Liebman y Davis 2000; Fisk et al., 2001); y mejorar la eficiencia de uso de agua (EUA) (Fernández et al., 2005).

En la elección de la especie utilizada como CC se deben considerar cuatro parámetros: la tasa de descomposición de 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 programado. En las rotaciones donde predominan el trigo (*Triticum aestivum* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) 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 (vicias ó tréboles) como CC aportaría N mineral a los cultivos de grano (Rufo, 2003). La inclusión de una leguminosa entre soja (*Glicine max* L.) y maíz aporta C, genera cobertura, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del maíz. Una gramínea invernal sembrada luego de los 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). Entre las gramíneas más usadas se encuentran el centeno (*Secale cereale* L.), por su resistencia al frío, tolerancia a sequía y producción de biomasa, la avena (*Avena sativa* L.), la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y el raigrás (*Lolium multiflorum* L.).

En ambientes subhúmedos, la disponibilidad de agua del suelo es el principal recurso limitante, por lo que es necesario elegir especies que se adapten a su dinámica hídrica (Tanaka et al.,

**Tabla 1.** Caracterización de los suelos estudiados en las localidades de Treinta de Agosto, provincia de Buenos Aires (Sitio 1) y Dorila, provincia de La Pampa (Sitio 2).

Prof. de horizontes (cm) Clase Textural	Localidad de Treinta de Agosto				Localidad de Dorila			
	0-30 FrAren	30-60 FrAren	60-90 FrAren %	90-120 FrAren	0-20 Fr	20-35 FrAren	35-70 FrAren %	70-100 FrAren
Arcilla < 2 µm	15,7	10,3	12,3	13,5	11,3	10,9	9,6	7,3
Limo fino 2-20 µm	10,9	10,9	6,8	7,5	17,5	9,3	11,9	9,1
Limo total 2-50 µm	28,1	26,4	20,0	19,7	33	25	31,3	26,3
Arena muy fina 50-74 µm	10,7	11,4	12,1	14,5	15	15,5	16,5	15,3
Arena muy fina 74-100 µm	12,5	14,2	16,1	15,	15,2	17,1	23,6	22,5
Arena fina 100-250 µm	24,7	28,0	31,2	19,	15,8	17,5	20,9	21,3
Arena media 250-500 µm	8,5	9,5	8,0,7	7,8	4,1	3,4	3,5	4,2
Arena gruesa 500-2000 µm	0,0	0,1	68,1	0,9	1,3	1	1,2	1,3
Arena total 50-2000 µm	56,4	63,2	0,3	67,2	51,4	54,4	65,6	64,7
MO	2,1	0,6	6,7	0,1	1,7	1,1	0,7	0,5
pH 1:2,5 agua	5,8	6,3	3,1	7,8	5,9	5,9	6,7	8
% Na Intercambiable (PSI)	3,2	2,9	3,1	8,9	6,6	4,1	3,3	7,8
Precipitación promedio anual (mm)	931,0				827,1			
Posición geográfica	36° 8' 50,9" S		62° 21' 51,9" O		35° 49' 28,8" S		63° 43' 46" O	

2002). En estos ambientes, el principal componente de pérdida de agua es la evaporación, estimándose que entre el 50 y el 75% de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Bennie y Hensley, 2000). La biomasa producida por los CC pueden alterar significativamente las tasas de evaporación y transpiración (Dabney, 1998). Mientras crecen activamente, los CC incrementan la cosecha de energía solar y el flujo de C en el suelo, provyendo de alimento a los macro y microorganismos, y al mismo tiempo incrementando la evapotranspiración desde el suelo (Dabney et al., 2001).

En este sentido, en regiones semiáridas es muy importante considerar la influencia del cultivo antecesor y el manejo del agua previo a la siembra, ya que es usual que las precipitaciones no cubran los requerimientos de los cultivos y en una rotación será muy importante considerar la "secuencia de usos consuntivos" (Quiroga et al., 2008). Por esta razón, es necesario introducir el concepto de sistema de cultivo (SC) dinámico, definido como un conjunto de estrategias de largo plazo para el manejo sostenible del sistema suelo-cultivo y que es implementado por los productores a través de sus decisiones anuales, respondiendo a condiciones agronómicas, económicas y de ambiente cambiante (Tanaka et al., 2002; Merrill et al., 2007).

Para una mejor interpretación de lo expuesto hasta aquí, a continuación se presentan resultados de dos ensayos de CC, ubicados en dos establecimientos de las zonas Subhúmeda y Semiárida Pampeanas. Estos ensayos tienen como objetivo principal estudiar el efecto de la inclusión de CC y de sus momentos de secado, sobre la disponibilidad de agua del suelo, y evaluar la eficiencia de barbechos de distinta duración en ambientes Subhúmedos y Semiáridos de la Región Pampeana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Uno de los ensayos se realizó entre 2007 y 2009 en el establecimiento "El Correntino", ubicado en Treinta de Agosto (Oeste de Bs. As., Región Subhúmeda Pampeana), sobre un suelo del Gran grupo de los Hapludoles (Sitio 1). Debido a dificultades climáticas, otro ensayo se realizó sólo durante 2007 en el establecimiento "Don Jesús", ubicado en Dorila (Noreste de La Pampa, Región Semiárida Pampeana), en un suelo del Gran grupo de los Haplustoles (Sitio 2) (Tabla 1).

El diseño del ensayo posee una estructura factorial 4 x 3, con cuatro niveles (cultivos de cobertura): 1) Centeno (*Secale cereale* L. var. Quehué), 2) Avena (*Avena sativa* L. var. Aurora), 3) Raigrás (*Lolium multiflorum* L. var. Estanzuela), implanta-

dos todos bajo SD inmediatamente después de la cosecha de soja de cada año y 4) un barbecho invernol (testigo); y tres niveles (momentos de secado): 1) primer secado o barbecho largo (julio), 2) segundo secado o barbecho medio (agosto) y 3) tercer secado o barbecho corto (septiembre). El secado de los CC se realizó con herbicida (Glifosato). Las densidades de siembra fueron 50, 55 y 25 Kg ha<sup>-1</sup>, para centeno, avena y rai-grás, respectivamente. Se empleó un diseño en bloques divididos con tres repeticiones y franjas de 8 x 30 m para el factor CC y de 10 x 32 m para el factor momento de secado. El factor secado no se aplicó de manera aleatoria cruzando al factor CC, ya que se realizaron con pulverizadora motora. Todo este diseño se encuentra replicado en el mismo sitio y fertilizado con 100 Kg ha<sup>-1</sup> de urea.

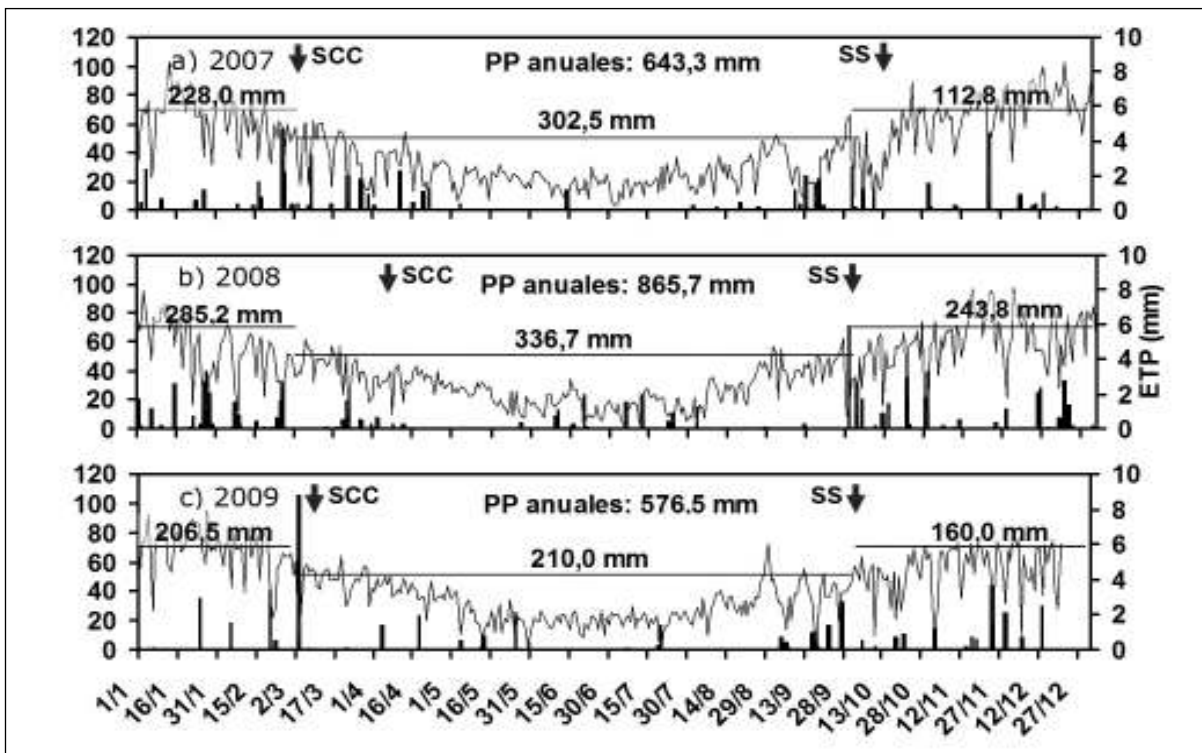
La humedad del suelo se determinó gravimétricamente cada año a la siembra y a los distintos momentos de secado de los CC y a la siembra del cultivo sucesor, para los intervalos de profundidad: 0-10, 10-20, 20-30, 30-60, 60-90, 90-120 y 120-150 cm en el Sitio 1 y para 0-15, 15-30; 30-60, 60-90 y 90-120 cm en el Sitio 2, expresándolos como humedad volumétrica (HV, cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) para

caracterizar el perfil en cada momento y como lámina de agua disponible (LAD, mm) a fin de realizar los cálculos de la EUA (kgMS mm<sup>-3</sup>) y de EB (%). La materia seca (MS, Kg ha<sup>-1</sup>) producida por los CC y por los testigos se determinó mediante el corte de 0.25 m<sup>2</sup> de biomasa aérea, secada en estufa a 60 °C. La EUA y la EB se calcularon usando las Ecuaciones 1 y 2:

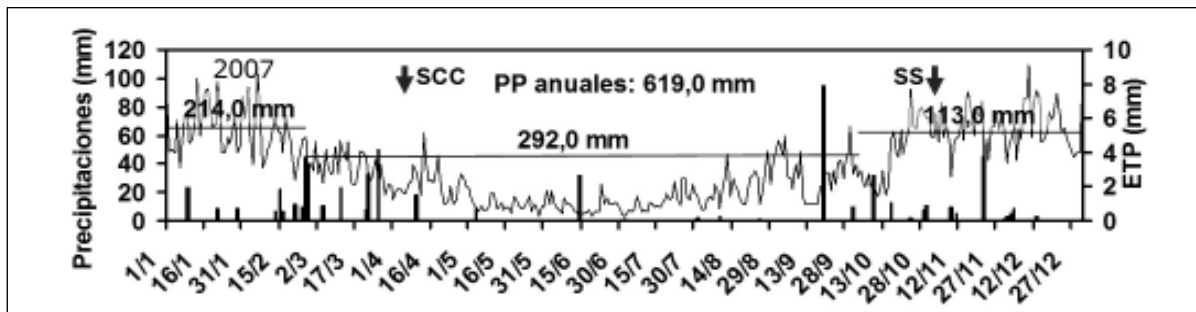
$$EUA = \frac{MS}{AAIc - AAFc + PPc} \quad (1)$$

$$EB = \frac{AAFb - AAIb}{PPb} \quad (2)$$

Donde: MS es la producción de MS durante el período de crecimiento; AAIc y AAFc representan el agua acumulada en el suelo al inicio y al final del período de crecimiento, respectivamente; AAFb y AAIb simbolizan el agua acumulada en el suelo al final y al inicio del período de barbecho, respectivamente; y PPc y PPb son las precipitaciones acumuladas en cada período, de crecimiento y de barbecho, respectivamente (Bennie y Hensley 2001).



**Figura 1:** Precipitaciones diarias (barras verticales) para los tres años de estudio: 2007 (a), 2008 (b) y 2009 (c), en el Sitio 1. Las líneas horizontales indican la cantidad de precipitaciones acumuladas en tres períodos del año: 1 de enero-15 de marzo; 16 de marzo-15 de octubre; y 16 de octubre-31 de diciembre. La curva continua de evolución representa la evapotranspiración potencial diaria (ETP).



**Figura 2:** Precipitaciones diarias (barras verticales) para 2007 en el Sitio 2. Las líneas horizontales indican la cantidad de precipitaciones acumuladas en tres períodos del año: 1 de enero-15 de marzo; 16 de marzo-15 de octubre; y 16 de octubre-31 de diciembre. La curva continua de evolución representa la evapotranspiración potencial diaria (ETP).

Los contenidos de HV y de LAD, fueron analizados con un modelo mixto mediante PROC MIXED (SAS Institute, 1997), con efectos fijos de CC y momento de secado, y aleatorios de repetición.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características ambientales de los períodos de estudio

En la Figura 1 se muestran las precipitaciones ocurridas entre 2007 y 2009 acumuladas en cada período (previo a la siembra de CC; período invernal: CC + barbecho; y posterior a la siembra de soja) y la evapotranspiración potencial (ETP, mm) diaria.

Para todos los años evaluados el promedio anual de precipitaciones fue menor al promedio histórico. El promedio de precipitaciones históricas acumuladas entre marzo y octubre fue de 356 mm (datos no mostrados), lo que muestra que, en comparación con los años analizados las condiciones de humedad fueron muy adversas para el crecimiento de los cultivos en el período evaluado. Además, se manifestó una marcada variación interanual e interestacional. Cabe destacar que 2009 fue el año de más baja oferta hídrica, especialmente en el período de crecimiento de los CC y de implantación de soja, lo que obligó a realizar una resiembra de este cultivo.

En la Figura 2 se muestran las precipitaciones ocurridas en 2007 para el Sitio 2, acumuladas en cada período (previo a la siembra de CC; período invernal: CC + barbecho; y posterior a la siembra de soja) y la ETP diaria (mm). Las precipitaciones ocurridas en este año fueron de 619 mm, y estuvieron por debajo del promedio histórico de 800 mm anuales (Tabla 1).

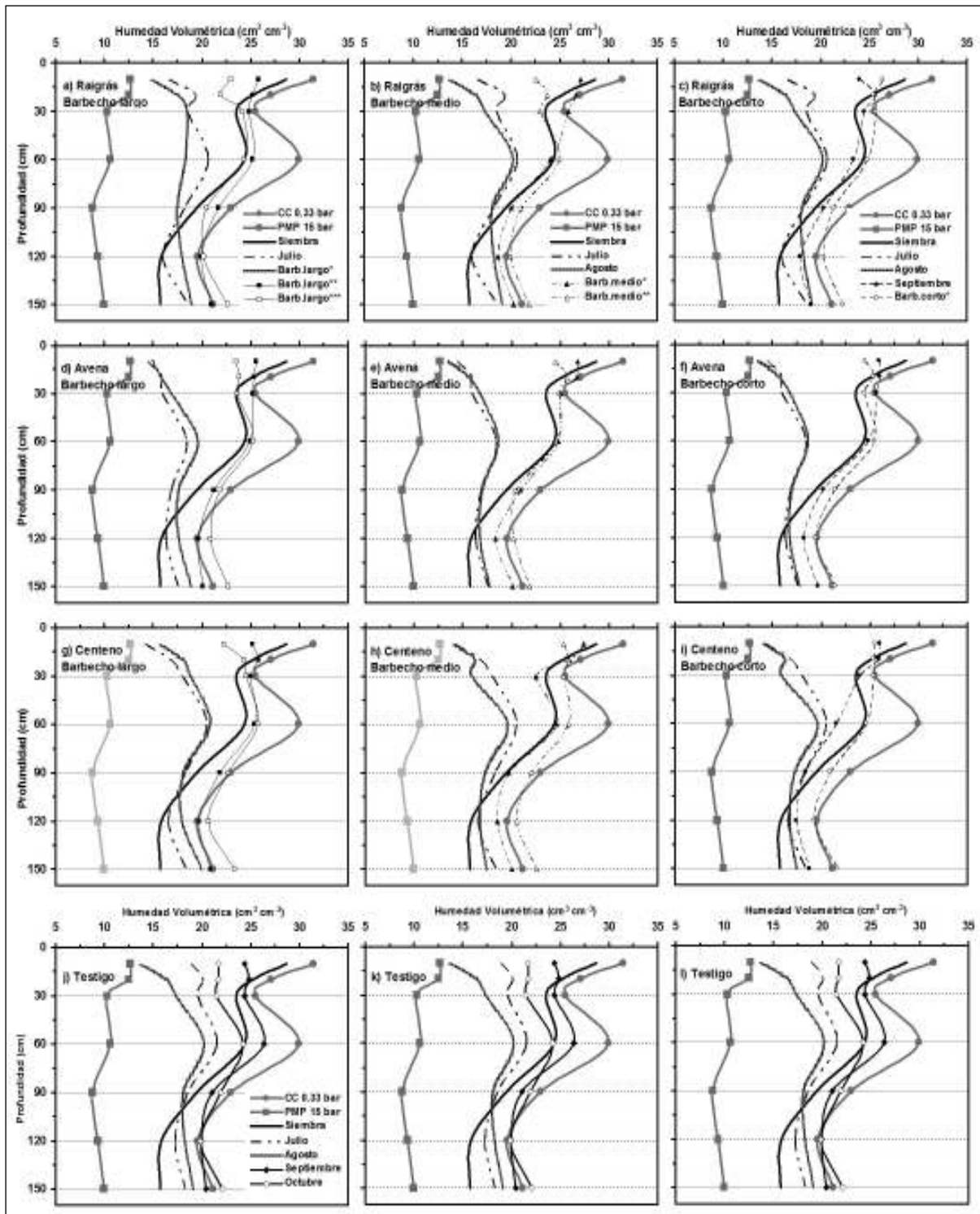
### Evolución del contenido de humedad durante 2007 para las zonas Subhúmeda y Semiárida

En las Figuras 3 y 4 se presentan los perfiles de HV del suelo bajo CC, en cada duración de barbecho (Figuras 3 y 4 a, b, c, d, f, g, h e i) y testigos (Figuras 4 y 4 j, k y l), para los Sitios 1 y 2 hasta 1.5 m y 1.2 m de profundidad, respectivamente, desde la siembra de los CC hasta la siembra de la soja, durante 2007. A la siembra de los CC en el Sitio 1 el suelo se encontraba cercano a capacidad de campo (Figura 3), mientras que en el Sitio 2 se encontraba cercano al 50% de su capacidad máxima de retención (Figura 4).

En el Sitio 1 desde la siembra (marzo) hasta el primer secado de los CC con glifosato (julio) se registraron 142 mm de precipitaciones (Figura 1a). Una parte de las mismas fueron consumidos por los CC para generar biomasa aérea y radicular, mientras que otra parte fue evaporada directamente desde la superficie del suelo. Aunque todos los tratamientos mostraron una importante reducción en el contenido de agua del suelo del perfil hasta más de 1 m de profundidad, los cultivos que más agua consumieron fueron la avena y el centeno (Figuras 3 d y g), los que se diferenciaron significativamente ( $P < 0,05$ ) del raigrás y del testigo.

Continuando con el Sitio 1, desde julio a agosto, llovieron sólo 15 mm (Figura 1a). Por este motivo, el testigo en este período mostró una fuerte disminución de su contenido de agua, especialmente en superficie (Figura 3j), debido a la evaporación. Por su parte, los CC que ya habían sido secados en julio, mostraron ser en agosto más eficientes en conservar los valores hídricos de julio (Figuras 3 a, d y g).





**Figura 3:** Perfiles de humedad volumétrica para 2007 hasta 1.5 m de profundidad del Sitio 1 para raigrás, avena y centeno bajo barbechos largos (a, d y g), medios (b, e y h) y cortos (c, f e i) y testigo (j, k y l). Estos últimos representan los mismos datos y fueron repetidos a fin de compararlos con los distintos momentos de secado de cada cultivo de cobertura. Barbechos largos, medios y cortos hacen referencia a los secados de julio, agosto y septiembre, respectivamente. El número de estrellas en cada CC está indicando la cantidad de meses que se encontraba bajo barbecho, \*: 1 mes de barbecho; \*\*: 2 meses de barbecho; \*\*\*: 3 meses de barbecho.

Desde agosto a septiembre llovieron 80 mm (Figura 1a), lo que se tradujo en la recarga de todos los perfiles, no registrándose diferencias significativas entre los tratamientos. En este período los barbechos medios de todos los cultivos (CC con 1 mes de secado hasta ese momento) mostraron mayor humedad que los testigos, especialmente en la capa superficial (Figuras 3 b, e y h).

Desde septiembre a noviembre llovieron 118 mm (Figura 1a), debido a la alta evaporación directa, la humedad en el perfil del testigo disminuyó por debajo de los CC, mostrando diferencias significativas con éstos (Figuras 3 j, k y l). Por el contrario, los CC conservaron el agua almacenada de forma más eficiente (Figuras 3 a, b, c, d, e, f, g, h e i), debido a que la cobertura lograda alcanzó 4093, 2651 y 2011 Kg ha<sup>-1</sup> MS para centeno, avena y raigrás, respectivamente, promedio de los tres barbechos y no se diferenciaron entre sí en sus contenidos hídricos. Estos resultados indicaron que en ambientes semiáridos los CC no estarían afectando el contenido de agua en el suelo para el cultivo siguiente, lo cual coincide con lo reportado por Islam et al., (2006).

En resumen, el testigo que se encontraba bajo 7 meses de barbecho hasta a la siembra de soja, fue más ineficiente para captar y conservar el agua de las precipitaciones en su perfil que aquellos barbechos largos, medios y cortos que tuvieron CC, aunque la capacidad para conservar agua de estos barbechos dependió del cultivo. Bajo raigrás, el barbecho corto acumuló y conservó mejor la humedad, mientras que bajo avena y centeno, los barbechos corto y medio (1 y 2 meses de barbecho hasta este momento, respectivamente) mostraron una mayor eficiencia. Por otro lado, independientemente de los CC que hubieran crecido, el barbecho corto presentó contenidos significativamente mayores ( $P < 0,05$ ) de HV a los observados bajo barbecho largo.

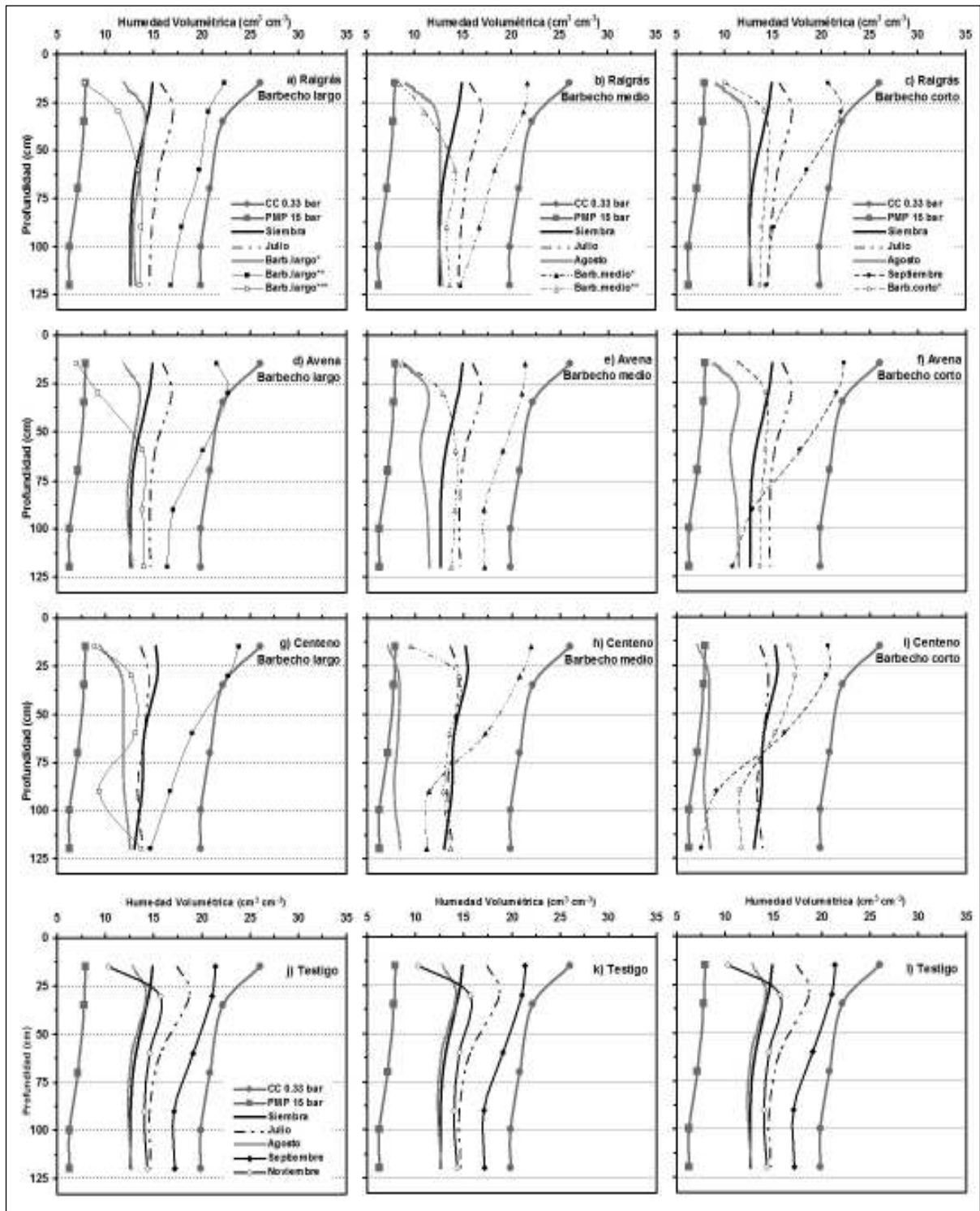
En el Sitio 2, desde la siembra (abril) hasta el primer secado de los CC (julio) llovieron 58 mm (Figura 2), los que permitieron incrementar la HV del perfil de testigo, raigrás y avena (Figuras 4 a, b, c, d, e, f, j, k y l). Por el contrario, el centeno mostró una leve disminución del agua en superficie, debido a su mayor consumo (Figura 4 g, h e i).

El testigo con mayor HV mostró diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) sobre los CC bajo barbecho largo (un mes de secado) (Figuras 4 a, d, e y j).

Desde julio a agosto no se registraron precipitaciones (Figura 2) lo que provocó la disminución de la HV en el perfil tanto de testigo como de los barbechos largos (1 mes de secado). Los CC continuaron consumiendo agua, alcanzando en superficie valores cercanos a punto de marchitez permanente (PMP), siendo centeno el cultivo que más agua consumió (Figura 4g).

De agosto a septiembre se registraron 95 mm de precipitación (Figura 2), lo que permitió la recarga hídrica de todos los perfiles. Esto hizo que para este muestreo no se observaran diferencias significativas entre CC, ni entre éstos y el testigo (Figuras 4 b, e, h y k).

Desde septiembre a noviembre (siembra de soja) llovieron 98 mm (Figura 2). La ETP promedio diaria fue de 4.5 mm, sumando un total de 221 mm en ese período. Debido a este balance, gobernado por una fuerte demanda atmosférica, la HV de todos los tratamientos disminuyó, pero la magnitud de la disminución fue dependiente de la cobertura vegetal que se había alcanzado sobre el suelo. En este sentido, se registró una marcada pérdida de humedad en el testigo, especialmente en superficie. Wagner y Riddle et al., (1997) también mostraron que la evaporación se reduce al utilizar CC, resultando en un mayor contenido de agua edáfica. Asimismo, el barbecho corto del centeno (1 mes de secado) conservó de manera más eficiente la humedad (Figura 4i) que los barbechos cortos bajo raigrás y avena (Figura 4 c y f), debido a que la biomasa generada por el centeno fue de 7480 Kg ha<sup>-1</sup>. Por su parte, los barbechos largos y medios de todos los cultivos perdieron agua en superficie hasta alcanzar el PMP. En estos SC la baja cobertura generada (986, 1541 y 3906 Kg MS ha<sup>-1</sup> promedio de estos dos barbechos, para raigrás, avena y centeno, respectivamente) no generó condiciones en la superficie como para limitar la demanda atmosférica. Cabe remarcar que, independientemente de la especie utilizada como CC, el barbecho corto fue el que presentó valores de HV significativamente mayores ( $P < 0,05$ ) que las registradas para barbecho largo y medio.



**Figura 4:** Perfiles de humedad volumétrica para 2007 hasta 1.2 m de profundidad del Sitio 2 para raigrás, avena y centeno bajo barbechos largos (a, d y g), medios (b, e y h) y cortos (c, f e i) y testigo (j, k y l). Estos últimos representan los mismos datos y fueron repetidos a fin de compararlos con los distintos momentos de secado de cada cultivo de cobertura. Barbechos largos medios y cortos hacen referencia a los secados de julio, agosto y septiembre, respectivamente. El número de estrellas en cada CC está indicando la cantidad de meses que se encontraba bajo barbecho, \*: 1 mes de barbecho; \*\*: 2 meses de barbecho; \*\*\*: 3 meses de barbecho.

### **Evolución de la lámina de agua disponible para las zonas Subhúmeda y Semiárida en 2007**

En la Figura 5 se muestra la evolución de la LAD a 1.5 m de profundidad del Sitio 1 (Figuras 5 a, c y e) y a 1.2 m de profundidad del Sitio 2 (Figura 5 b, d y f) para cada CC, largo de barbechos y testigos, junto a las precipitaciones de 2007 en ambos sitios (Figuras 5 g y h). La dinámica en esta variable obedeció al balance entre las precipitaciones ocurridas, la evaporación directa desde el suelo y el consumo de los distintos cultivos (López y Arrúe, 1997; Moret et al., 2006). En el Sitio 1, en general, todos los CC mostraron mayor LAD que el testigo a la siembra de la soja. En este momento, el suelo bajo centeno mostró la mayor LAD (197 mm promedio para los barbechos largos y medios). Entre los barbechos cortos raigrás fue el CC que acumuló la mayor LAD (191 mm), mientras que el testigo fue el tratamiento que acusó la menor LAD (177.7 mm) (Figuras 5 a, c y e).

En el Sitio 2, a la siembra de soja la LAD bajo todos los CC fue menor que la calculada para testigo (Figura 5 b, d y f). Sin embargo, las diferencias fueron menores cuantos más largos fue el período de crecimiento de los CC. En el período septiembre-noviembre la tasa a la cual el suelo perdió el agua almacenada fue diferente para cada largo de barbecho. La tasa de pérdida de agua para el centeno fue la menor de todos los CC en el barbecho corto. En el testigo dicha tasa mostró la mayor magnitud de pérdida, como consecuencia de la evaporación directa, debido a la falta de cobertura (Figura 5 b, d y f).

Para este primer año de ensayo, en el Sitio 1 los CC sufrieron fuertes condiciones de stress hídrico y térmico (143, 159 y 240 mm de precipitaciones y 63, 92 y 103 días con temperaturas inferiores a 4 °C, en el período siembra-secado para los barbechos largo, medio y corto, respectivamente). Bajo estas condiciones, los resultados presentados demuestran un muy buen comportamiento del centeno. El agua almacenada a noviembre por este CC bajo los dos primeros momentos de secado fue en promedio del 92.6% del agua útil total del suelo (AU), mientras que para el testigo fue de 83,5%, lo que equivale a una diferencia de 20 mm a favor del centeno. Para el barbecho corto las diferencias entre la LAD en el suelo bajo centeno y bajo testigo se redujeron, siendo el agua almacenada bajo este CC de 86,3% de AU. Además, los aportes de MS del centeno,

que fueron 2835, 3023 y 4093 Kg ha<sup>-1</sup> para los barbechos corto, medio y largo, respectivamente.

En el Sitio 2 se dieron condiciones climáticas similares: 40, 40 y 135 mm de precipitaciones y 65, 92 y 101 días con temperaturas inferiores a 4 °C, en el período siembra-secado para los barbechos largo, medio y corto, respectivamente. La relación entre los CC y testigo se invirtió respecto a la situación del Sitio 1, siendo la LAD a la siembra de soja menor para los CC que para el testigo. Sin embargo, estas diferencias a favor del testigo se redujeron al pasar del barbecho largo al barbecho corto. Además, bajo barbecho corto el aporte de MS del centeno (7480 Kg ha<sup>-1</sup>) demostró que este CC está mejor adaptado a las condiciones de stress hídrico y bajas temperaturas.

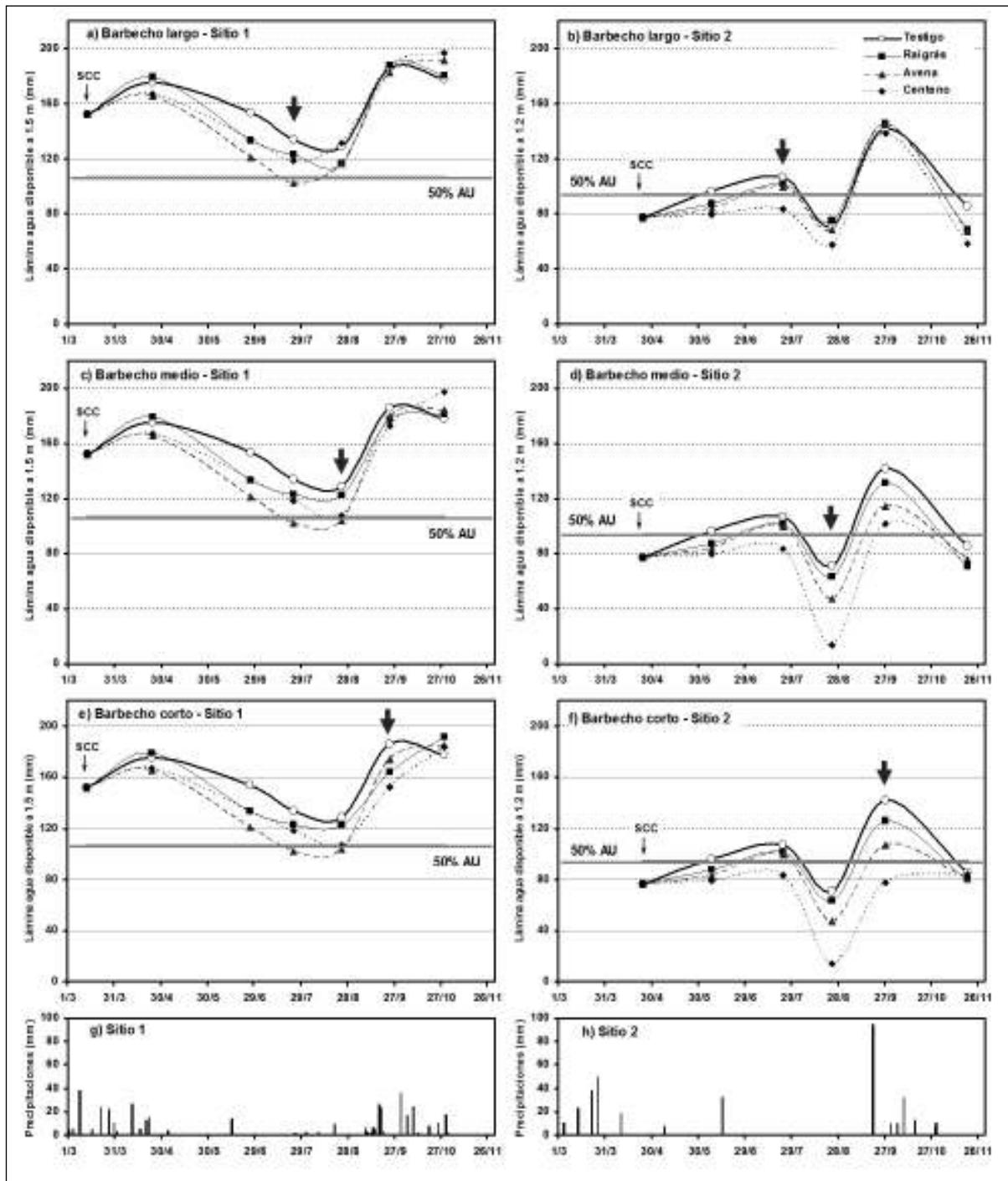
### **Evolución de la lámina de agua disponible para la zona Subhúmeda en el período 2007-2009**

En la Figura 6 se presenta la evolución de las LAD para el Sitio 1 a 1,5 m de profundidad para 2007, 2008 y 2009 para cada cultivo, largo de barbecho y testigos. Además, se grafican las precipitaciones para esos años.

En 2007 y 2008, los testigos y los CC mostraron un comportamiento similar en la dinámica de la LAD. En este período se observó una tendencia hacia la conservación de agua en el suelo luego de terminado el ciclo de los CC y similar LAD de éstos respecto al testigo. En este sentido, el centeno al momento de la siembra de soja presentó 21 mm más que el testigo, promedio de 2007 y 2008, y de barbechos largo y medio (Figura 6 a y b).

Para barbecho corto la diferencia en la LAD de éste con respecto al testigo fue de 7,2 mm, promedio de 2007 y 2008 (Figura 6c). Esto remarca que aunque el cese del consumo se retrasó hasta menos de un mes previo a la siembra de soja, igualmente se observaron ganancias por el uso de esta práctica. Se destaca que el manejo del momento de secado del CC es esencial para la siembra del cultivo estival con buena humedad en el suelo.

La diferencia de LAD de los otros CC respecto a testigo fue menor y la variabilidad en los datos más alta que la registrada para centeno, aunque en promedio igualmente positivos. La LAD de raigrás y avena fue de 3,1 y 7,6 mm mayor que la del testigo, respectivamente, promedios de los tres momentos de secado para 2007 y 2008. Debido a que, estas especies resultaron menos eficientes que el centeno en el uso de los recursos (Figuras 6 a, b y c).



**Figura 5:** Evolución de la lámina de agua disponible a 1.5 m de profundidad del Sitio 1 (a, c y e) y a 1.2 m de profundidad del Sitio 2 (b, d y f) para cada cultivo y testigos, y precipitaciones de 2007 en ambos sitios (g y h, respectivamente). Barbechos largos, medios y cortos hacen referencia a los secados de julio, agosto y septiembre, respectivamente. Las flechas indican el momento de secado para cada duración de Barbecho. AU: agua útil total del suelo.

En 2009, el balance entre las escasas precipitaciones, la evaporación y el consumo modificó el comportamiento descrito para los primeros años. Al analizar el barbecho largo se observó que las diferencias positivas respecto a testigo fueron

de 19, 9 y 10 mm para raigrás, avena y centeno, respectivamente (Figura 6a). En el barbecho medio la LAD bajo CC a la siembra de soja fue menor que la de testigo (21, 38 y 15 mm menos, respectivamente para raigrás, avena y centeno).

En el barbecho corto, a la siembra de soja la situación se agravó, con un déficit respecto a testigo de 50, 52 y 40 mm, para raigrás, avena y centeno, respectivamente. Lo observado indica que el seguimiento de los registros de la oferta hídrica es crítico al momento de definir el momento de secado del CC en cada año, siendo esto más aconsejable que un planteo de terminación con fechas preestablecidas.

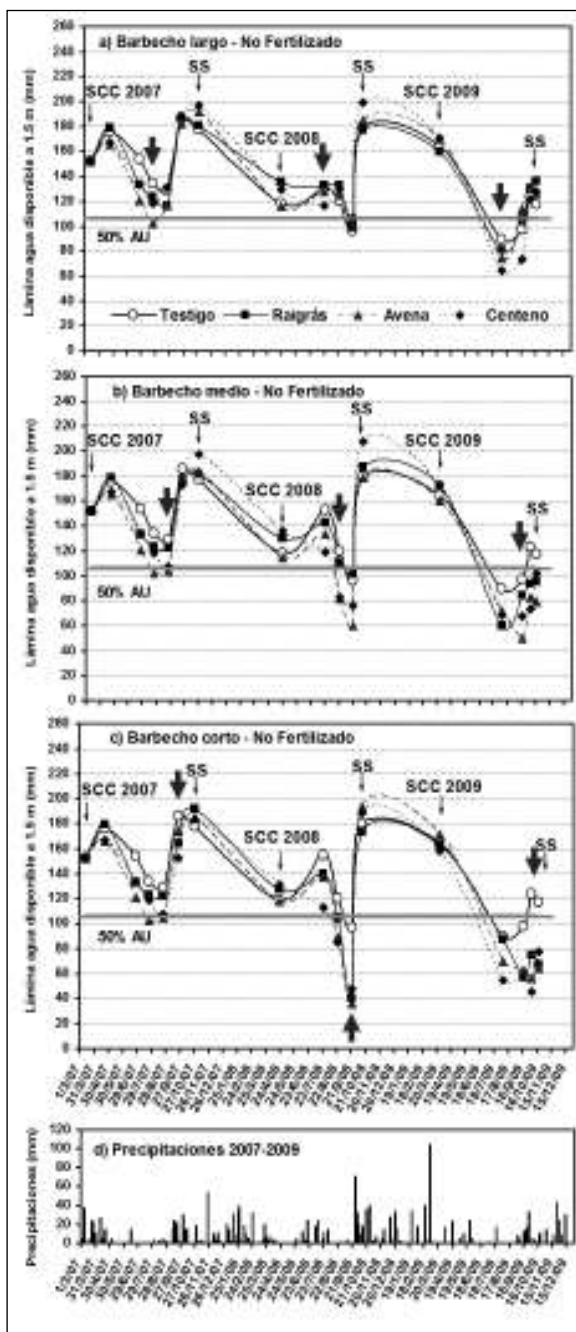
### Eficiencia de Barbecho en la zona Subhúmeda en el período 2007-2009

Para interpretar la eficiencia que tiene cada SC en la captación y en la conservación del agua pluvial se analizó la EB. En la figura 7 se muestran las EB para cada momento de secado, para cada ensayo NF y F y para cada año de estudio, en el Sitio 1. En primer lugar, se observó una marcada diferenciación entre años, consecuencia principal de la diferencia entre la cantidad de precipitaciones registradas en cada uno de ellos. Asimismo, se observó un gradiente general en las EB de los SC que sigue el ordenamiento centeno>avena>raigrás>testigo. Lo explicado es válido para todos los años, aunque la magnitud de las diferencias se acentuó en la misma medida que difirieron las precipitaciones y largo de la duración del barbecho. Los valores más altos se observaron en 2008 bajo el barbecho corto, NF, con 19,1, 16,6, 89,9 y 77,8 %, para testigo, raigrás, avena y centeno, respectivamente. Por su parte en el ensayo F se observó la misma secuencia: 19,4, 74,5, 110,5 y 83,0 %, para testigo, raigrás, avena y centeno en barbecho corto, respectivamente.

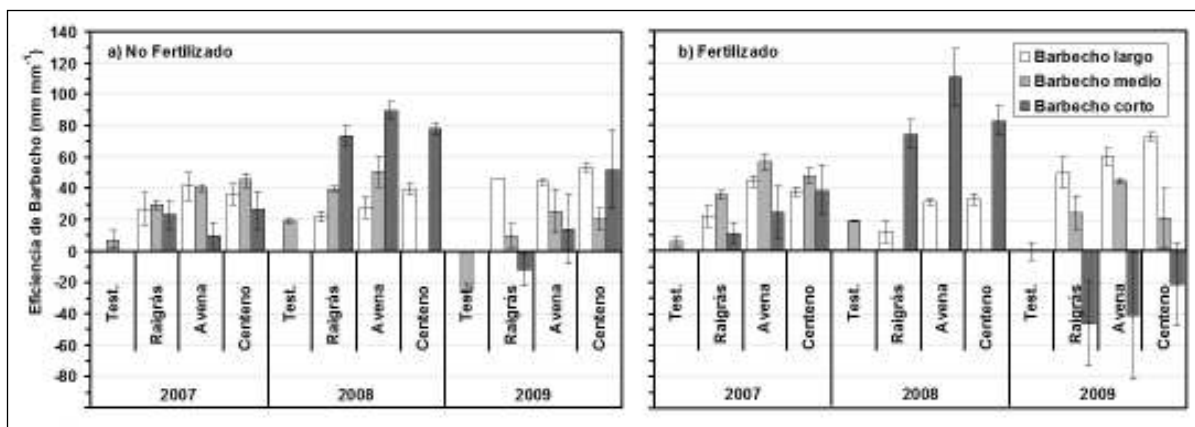
### Eficiencia en el Uso del Agua en la zona Subhúmeda en el período 2007-2009

En la Figura 8 se presenta la producción de MS aérea acumulada por cada CC, en cada uno de los años estudiados y en cada largo de barbecho, en el Sitio 1. Con respecto al uso de fertilizante nitrogenado, no se observó un incremento importante en la producción de MS por el uso de esta práctica, probablemente como consecuencia de las escasas precipitaciones.

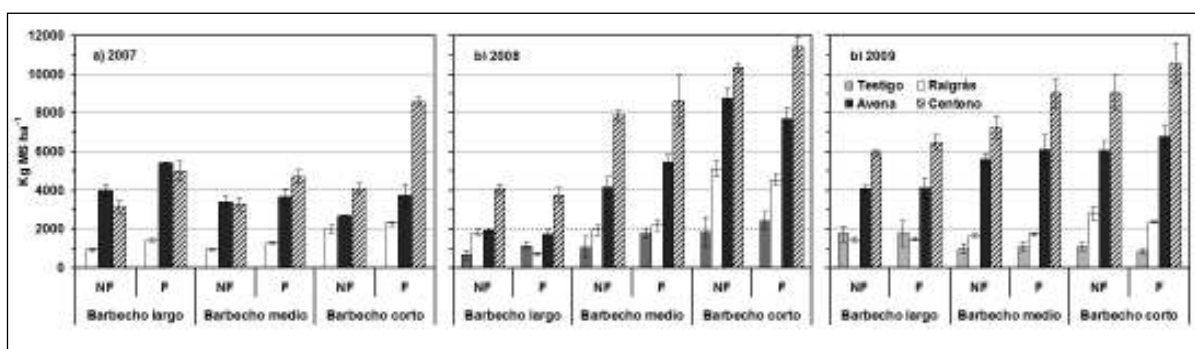
La producción de biomasa en 2008 reflejó la mayor oferta hídrica de ese año, comportamiento que no se manifestó de igual manera en 2009, el año más seco del período estudiado. El centeno fue el CC de mayor acumulación de MS, especial-



**Figura 6:** Evolución de la lámina de agua disponible (mm) a 1.5 m de profundidad del Sitio 1 para 2007, 2008 y 2009, para cada cultivo y testigos (a, b y c) y precipitaciones de 2007, 2008 y 2009 (d). Barbechos largos, medios y cortos hacen referencia a los secados de julio, agosto y septiembre, respectivamente. Las flechas gruesas indican el momento de secado para cada duración de barbecho. Las flechas finas con letras indican: SCC: siembra del cultivo de cobertura; y SS: siembra de soja. La línea horizontal con la referencia "50% AU" representa la mitad de la lámina de agua útil del suelo.



**Figura 7:** Eficiencia de barbecho (almacenamiento de agua en cada barbecho) para cada momento de secado, para cada replica NF (a) y F (b) (NF: no fertilizado; F: fertilizado) y para tres años de estudio, en el Sitio 1. Las líneas verticales en cada columna muestran el error estándar de la media.



**Figura 8:** Producción de MS aérea acumulada por cada CC, para cada ensayo NF y F, en cada largo de barbecho y en cada uno de los años estudiados: 2007 (a), 2008 (b) y 2009 (c), para el Sitio 1. Las líneas verticales en cada columna muestran el error estándar de la media.

mente en los dos últimos años, lo que demuestra la capacidad adaptativa de esta especie a ambientes extremos.

En la Tabla 2 se muestran las EUA calculadas para cada largo de barbecho, para cada ensayo NF y F y para los tres años de estudio en el Sitio 1. Se observó que la EUA de avena y centeno fueron mayores que las de raigrás, en los ensayos NF y F, duración de barbecho y en todos los años. La EUA de las malezas que crecieron en el testigo fue, en general, menor que la de los CC.

Con respecto a la fertilización nitrogenada, la misma no produjo una mejora en la EUA para ninguno de los CC, siendo para cada uno de 10,87, 22,32 y 29,41 kg mm<sup>-1</sup> y de 9,97, 22,33 y 34,54 kg mm<sup>-1</sup> para raigrás, avena y centeno, promedio de los tres secados y los tres años de estudio, NF y F, respectivamente.

Al analizar la LAD, a pesar de que los centenos fueron los CC que mostraron una lámina mucho

menor que la que dejaron los testigos, pero se pudo apreciar que fueron más eficientes en la captación y en el aprovechamiento del agua de las precipitaciones (Tabla 2). Además de ser más tolerante al frío, el centeno es de más fácil implantación, más productivo y el más precoz entre los CC (Dabney et al., 2001).

La EUA es un parámetro muy importante que define la productividad de los cultivos, especialmente en ambientes de oferta hídrica limitante y está muy influenciada por factores que afectan la transpiración y la asimilación a nivel de las hojas, las plantas y los cultivos (Cayci et al., 2009). Huang et al., (2003), afirman que un mismo cultivo puede tener diferentes EUA, dependiendo de la rotación en la que esté, y esto puede ser atribuido a las diferencias entre años de las precipitaciones y del almacenaje del agua del suelo. Además, al mejorar las condiciones de fertilidad (e.g. mediante fertilización), el tamaño de la canopia

**Tabla 2:** Eficiencia de uso del agua (EUA) para cada momento de secado y para cada réplica: No fertilizado (NF) y Fertilizado (F), y para tres años de estudio: 2007, 2008 y 2009. EE representa el error estándar de las medias.

Año	Tratamiento	Barbecho largo				Barbecho medio				Barbecho corto			
		No fertilizado		Fertilizado		No fertilizado		Fertilizado		No fertilizado		Fertilizado	
		EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE	EUA	EE
		Kg mm <sup>-1</sup>				Kg mm <sup>-1</sup>				Kg mm <sup>-1</sup>			
2007	Testigo	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
	Raigrás	5.2	0.3	7.6	1.1	4.8	0.1	5.7	0.3	8.9	1.2	9.7	0.6
	Avena	21.1	3.4	26.1	3.6	16.5	2.1	14.4	1.5	12.3	0.9	16.5	3.9
	Centeno	17.7	2.4	21.9	1.6	16.1	2.2	19.5	1.0	17.1	0.2	34.6	4.7
2008	Testigo	6.4	2.9	14.4	3.7	8.0	4.4	4.4	0.7	11.3	5.3	15.1	2.3
	Raigrás	15.7	2.2	10.4	2.2	13.1	2.5	5.3	0.5	22.6	1.3	21.8	1.6
	Avena	18.6	0.9	17.9	1.4	25.4	2.8	13.4	0.6	38.7	2.7	32.6	3.8
	Centeno	32.2	2.0	36.0	4.9	43.5	2.8	21.1	2.9	46.5	2.3	53.6	2.5
2009	Testigo	9.4	2.8	11.2	4.7	5.1	1.7	3.7	2.4	6.1	1.4	6.0	1.3
	Raigrás	7.4	0.4	7.6	0.7	7.5	0.8	8.5	0.5	12.5	1.6	13.2	0.7
	Avena	19.6	1.6	19.9	2.2	23.3	0.8	24.1	2.9	25.5	5.0	36.1	10.1
	Centeno	26.9	1.0	30.3	3.8	27.0	7.2	41.0	7.5	37.7	6.5	52.8	11.3

se verá aumentado, lo que ocasionará la reducción de la evaporación del suelo y al mismo tiempo incrementará la cantidad de agua disponible para la transpiración, resultando en un incremento de la EUA.

El crecimiento de la biomasa aérea y radical condujo a la protección del suelo ante el impacto de las gotas de las precipitaciones, evitando el sellado del mismo. Al mismo tiempo, el crecimiento de raíces propició que la infiltración se viera favorecida por una mejora en la estructura del suelo. Los CC pueden afectar la mayoría de los componentes del ciclo hidrológico. Afectan la evaporación alterando la radiación neta, la velocidad del viento, el déficit de presión de vapor y la temperatura de la superficie. Alteran el escurrimiento superficial a través de modificaciones en la rugosidad hidráulica, captación por la canopia y aumento de la tasa de infiltración (Dabney, 1998).

El aumento de la tasa y de la cantidad de infiltración se produce por varios mecanismos, siendo el principales que bajo CC se previene el sellado de la superficie del suelo ya que al cubrirlo éstos lo protegen del impacto directo de las gotas de lluvia. Además, normalmente se registran incrementos en la estabilidad de los agregados y en la macroporosidad (Dabney, 1998).

Sin embargo, en el año 2009 un bajo nivel hídrico en el suelo, combinado con una excesiva cobertura y heladas tardías, produjo que las temperaturas del suelo en primavera bajo SC con

avena y centeno, luego de la emergencia de soja fueron demasiado bajas, causando la muerte de plántulas. Esto hizo necesaria la resiembra del cultivo de soja, lo que indica que es necesario un seguimiento de las condiciones ambientales a fin de lograr el correcto manejo de los CC.

La práctica de dejar el suelo bajo largos períodos de barbecho en regiones subhúmedas y semiáridas con el objetivo de almacenar agua para la siguiente estación de crecimiento ha sido muy común (Passioura, 2004). El largo y el momento del barbecho afectan la cantidad de precipitaciones que recibe el suelo y de esta manera, la cantidad de agua almacenada en este período. Como se comprobó en este trabajo, la cantidad y la eficiencia de almacenaje del agua varió ampliamente entre años, entre especies y entre SC (Huang et al., 2003). En este sentido, Caycy et al., (2009) afirmaron que la práctica de barbecho tradicional esta siendo abandonada debido a su baja eficiencia. Estos autores indicaron que sólo entre el 12-20% de las precipitaciones ocurridas en la época de barbecho son retenidas al momento de la siembra del próximo cultivo, valores que se correspondieron con los estimados en el presente trabajo.

Un resultado del crecimiento de los CC es que éstos utilizan el agua del suelo, lo que puede tener consecuencias positivas, neutras o negativas sobre el suministro de agua para el siguiente cultivo. Como se observó en este trabajo, existen



diferencias considerables en el uso de agua entre especies, lo que tiene efectos a diferentes escalas (Merrill et al., 2007). Con respecto a los efectos positivos, éstos se manifestarán cuando los CC son utilizados para mejorar la infiltración y disminuir la evaporación, luego de que son terminados. Por el contrario, su efecto será negativo cuando el tiempo luego de su terminación no sea suficiente para permitir la recarga hídrica del suelo antes de que el siguiente cultivo sea implantado (Unger y Vigil, 1998).

## CONCLUSIONES

Para las condiciones planteadas en los ensayos presentados, en una secuencia de soja continua bajo SD en un Hapludol del O de la provincia de Buenos Aires, la incorporación de CC aumentó la producción de MS con respecto a la situación de barbecho tradicional. En consecuencia, este aumento en la productividad del suelo condujo a mayor eficiencia de utilización del agua que el manejo bajo barbecho, tradicionalmente realizado por los productores. La mayor eficiencia corresponde a centeno, la cual es una especie adaptada a ambientes subhúmedos-semiáridos.

Bajo las condiciones del estudio, la cantidad de agua disponible al momento de siembra de soja estuvo relacionado con las precipitaciones en el momento de la recarga y con el momento de finalización del CC. Los resultados encontrados permiten inferir que es posible conducir SC que incluyan CC sin afectar la oferta hídrica del cultivo siguiente, siempre que se realice un seguimiento del estado de humedad ambiental y edáfica, junto a un manejo en base a ello.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cayci G, Heng L.K, Öztürk H.S, Sürek D, Kütük C. y M. Sağlam. 2009. Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey. *Soil Till Res.* 103:65-72
- Bennie A. y M. Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology.* 241: 124-139.
- Dabney S.M. 1998. Cover crops impacts on watershed hydrology. *J. Soil Water Cons.* 53(3): 207-213
- Dabney S.M. Delgado J.A. y D.W. Reeves. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:7, 1221-1250.
- Ding G, Liu X, Herbert S, Novak J, Dula A. y B. Xing. 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma.* 130:229-239.
- Fernández R, Funaro D. y A. Quiroga. 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.
- Fernández R, Quiroga A, Noellemeyer E, Funaro D, Montoya J, Hitzman B. y Peinemann N. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agricultural Water Management* 95: 1028-1040.
- Fisk J, Hesterman O, Shrestha A, Kells J, Harwood R, Squire J. y C. Sheaffe. 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn *Agronomy Journal* 93:319-325.
- Hendrix P, Franzluebbers A. y D. McCracken. 1998. Management effects on C accumulation and loss in soils of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. *Soil Till. Res.* 47:245-251.
- Huang M, Shao M, Zhang L. y Y. Li. 2003. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. *Soil Till. Res.* 72:95-104.
- Islam N, Wallender W, Mitchell J, Wicks S. y R. Howitt. 2006. A comprehensive experimental study with mathematical modeling to investigate the effects of cropping practices on water balance variables. *Agricultural Water Management* 82: 129-147.
- Lampurlanes J, Angás P. y C. Cantero-Martínez. 2002. Tillage effects on water storage fallow and on barley root growth and yield in two contrasting soil of the semi-arid Segarra region Sapin. *Soil Till. Res.* 65: 207-220.
- Liebman M. y A. Davis. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low- external- input farming systems. *Weed Res.* 40:27-47.
- López MV y JL Arrúe. 1997. Growth, yield y water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil Till Res.* 44: 35-54
- MAGyP. 2010. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Sistema de Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Economía, República Argentina.
- Merrill SD, Tanaka DL, Krupinsky JM, Liebig MA y JD Hanson. 2007. Soil Water Depletion and Recharge under Ten Crop Species and Applications to the Principles of Dynamic Cropping Systems. *Agron. J.* 99:931-938.
- Moret D, JL Arrúe, MV López y R. Gracia. 2006. Influence of following practices on soil water and precipitation storage

efficiency in semiarid Aragon (NE Spain). *Agric. Water Manag.* 82: 161–176.

- Mullen M, Melhorn C, Tyler D. y B. Duck. 1998. Soil properties in no till corn with different cover crop. *Soil and Water cons.* 53:219-224.

- Nyakatawa E, Reddya K. y K.Sistanib. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil. Till. Res.* 58:69-79.

- Passioura J. 2004. Increasing Crop Productivity When Water is Scarce-From Breeding to Field Management. *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress.* Brisbane, Australia. Published on CDROM.

- Quiroga A, Adema E, Buschiazzo D. y N. Peinemann. 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.

- Quiroga A; Funaro D; Fernández R. Y E. Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo.* 23(1): 79-86.

- Quiroga A, Fernández R, Azcárate P. y A. Bono. 2008. Agua del suelo. Bases funcionales para su manejo. En: *Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos.* Ediciones

INTA. EEA Anguil. *Publicación Técnica N° 71:* 35-50.

- Reeves D.W. 1994. Cover crops and rotations. In: *Crops Residue Management* J.L. Hatfield and B.A. Stewart (eds.). *Adv. in Soil Sci.* Lewis Publishers, Boca Raton, FL. pp.125-172.

- Rufo M.L. 2003: Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso de AAPRESID:* 171-176.

- SAS Institute, *SAS/STAT Software.* 1997. *Changes and Enhancements through Release 6.12.* SAS Institute, Inc. Cary, NC. 1167 pp.

- Strock J, Porter P. y M. Russelle. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. *J. Environ. Qual.* 33: 1010-1016.

- Tanaka D.L, Krupinsky J.M, Liebig M.A, Merrill S.D, Ries R.E, Hendrickson J.R, Johnson H.A. y J.D. Hanson. 2002. Dynamic cropping systems: An adaptable approach to crop production in the Great Plains. *Agron. J.* 94:957–961.

- Unger P.W. y M. F.Vigil. 1998. Cover crops effects on soil water relationships. *J Soil Water Cons* 53 (3): 200-207.

- Wagner-Riddle C, Gillespie T.J, Hunt L. A. y C. J. Swanton. 1997. Modeling a rye cover crop and subsequent soybean yield. *Agron. J.* 89: 208-218.

---

## Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba

### INTRODUCCIÓN

La información presentada en este trabajo fue generada en un ensayo de larga duración situado en Manfredi, región central de Córdoba (RCC), Argentina. La RCC es una llanura integrada por varios ambientes geomorfológicos denominada pampa loésica alta, a 292 m.s.n.m. Estructuralmente esta unidad constituye un bloque elevado hacia el Este por fallas geológicas del basamento profundo, parcialmente cubierto por depósitos de piedemonte y luego por una potente sedimentación eólica. Superficialmente sólo se encuentra loess franco limoso muy homogéneo donde se han observado espesores de hasta 50 m. No se observa la presencia de depósitos fluviales, ya que, por razones topográficas, esta gran unidad geomorfológica de la provincia ha quedado fuera de la influencia de los derrames y abanicos provenientes de las Sierras Chicas de Córdoba. Como formas menores se observan en el paisaje líneas de escurrimiento deprimidas de origen estructural (Gorgas y Tassile, 2003). El loess pampeano presenta predominio de silicatos provenientes de la descomposición de las rocas feldespáticas. Esos silicatos contienen grandes reservas de potasio e importantes reservas de fósforo (Jarsún et al., 2006). El carbonato de calcio varía entre 3 y 10% a una profundidad 55 cm (INTA, 1987).

La principal limitante ambiental para la agricultura de secano en esta región es la disponibilidad hídrica, debido a la limitada cantidad de precipitaciones anuales y su concentración en el periodo octubre-marzo, evidenciando un régimen típicamente monzónico. La oferta de agua para los cultivos estivales de secano muchas veces es

incierto en términos de oportunidad, cantidad o frecuencia, de manera particular hacia el comienzo del ciclo (De la Casa y Ovando, 2006). La fecha de inicio del período lluvioso es muy errática, pudiendo ocurrir entre los meses de septiembre a diciembre, y condiciona la fecha de siembra de los cultivos. Actualmente los sistemas productivos de la RCC presentan una gran difusión de la agricultura continua bajo siembra directa (SD), con predominio de soja [*Glycine max* (L.) Merr.] en monocultivo, en doble cultivo con trigo (*Triticum aestivum* L.) y en rotación con maíz (*Zea mays* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.) o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. En tales sistemas, una alternativa interesante de manejo sería la inclusión de un cultivo de cobertura (CC) entre dos cultivos de cosecha. Los cultivos de verano se cosechan en marzo-abril y la siembra del próximo cultivo ocurre entre septiembre y diciembre, con lo cual el período de barbecho se extiende entre 5 y 9 meses, siendo lo más frecuente una duración de 7 a 8 meses. Durante un período tan largo es altamente probable la ocurrencia de procesos de pérdida de agua del suelo, aún bajo sistemas conservacionistas. Las pérdidas de agua en los barbechos largos bajo SD justificarían la inclusión de un CC invernal, ya que de esta manera se utiliza el agua para generar cobertura y aumentar el aporte de carbono al sistema (Basanta et al., 2008). En la RCC un cultivo de CC sembrado a inicios de otoño llega a inicio de encañazón en agosto o septiembre, previo al comienzo de las lluvias de primavera. Esto permite la recarga del perfil hasta la siembra de los cultivos, la cual ocurre generalmente a fines de noviembre-principio de diciembre.

Los CC contribuyen a la fijación de carbono, facilitan el control de malezas, y reciclan nutrien-

tes. Sin embargo, los CC tienen la desventaja del uso consuntivo de agua del suelo, lo que en años con escasas precipitaciones puede afectar negativamente la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente, especialmente para cultivos sensibles como el maíz (Andriulo y Cordone, 1998, Salas et al., 2005).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa aérea y el uso consuntivo de agua del triticale (*x Triticosecale Wittmack*) usado como cultivo de cobertura invernal y los efectos de la inclusión del mismo en sistemas de agricultura continua sobre propiedades edáficas en un Haplustol éntico de la RCC.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características del sitio experimental

El ensayo se inició en 1995 en la EEA INTA Manfredi (31,5<sup>o</sup> LS, 63,5<sup>o</sup> LO, 292 m altitud) en un suelo Haplustol éntico, serie Oncativo, profundo, bien drenado, de textura franco limosa, reacción ligeramente ácida, contenido de materia orgánica de 2% en el horizonte superficial y capacidad de almacenamiento de agua útil de 300 mm hasta los 2 m de profundidad (INTA, 1987). De acuerdo a Thornthwaite, el clima de esta región se clasifica como subhúmedo seco con una evapotranspiración

anual promedio de 1190 a 1569 mm. La temperatura media anual de la región es de 16,6°C, con mínima promedio de 9,6°C y máxima promedio de 23,9°C (INTA, 1987, Lovera et al., 1993). La precipitación media anual de 750 mm. El período de lluvias se extiende de octubre a marzo, donde se concentra el 80% de las precipitaciones. La distribución anual de las precipitaciones y de la evapotranspiración de referencia se describe en la Figura 1.

### Diseño experimental y tratamientos

El experimento consta de distintos sistemas de labranza con soja y maíz como cultivos de cosecha y un cereal de invierno como CC. El diseño experimental es un factorial de dos factores. El sistema de labranza con diferentes manejos del barbecho invernal es el Factor M, con tres niveles: 1) siembra directa con barbecho químico (SD), 2) siembra directa con cereal de invierno como CC (SDcc) y 3) labranza reducida, con rastra de discos (LR) (este último tratamiento no está incluido en el presente trabajo). La secuencia de cultivos constituye el Factor S que consta de dos niveles: 1) soja-soja (SS) y 2) soja-maíz (SM) con sus dos fases presentes todos los años. El CC se realiza siempre después del cultivo de soja con el objetivo de generar mayor cobertura de residuos. Por lo tanto, en la secuencia soja-soja en siembra direc-

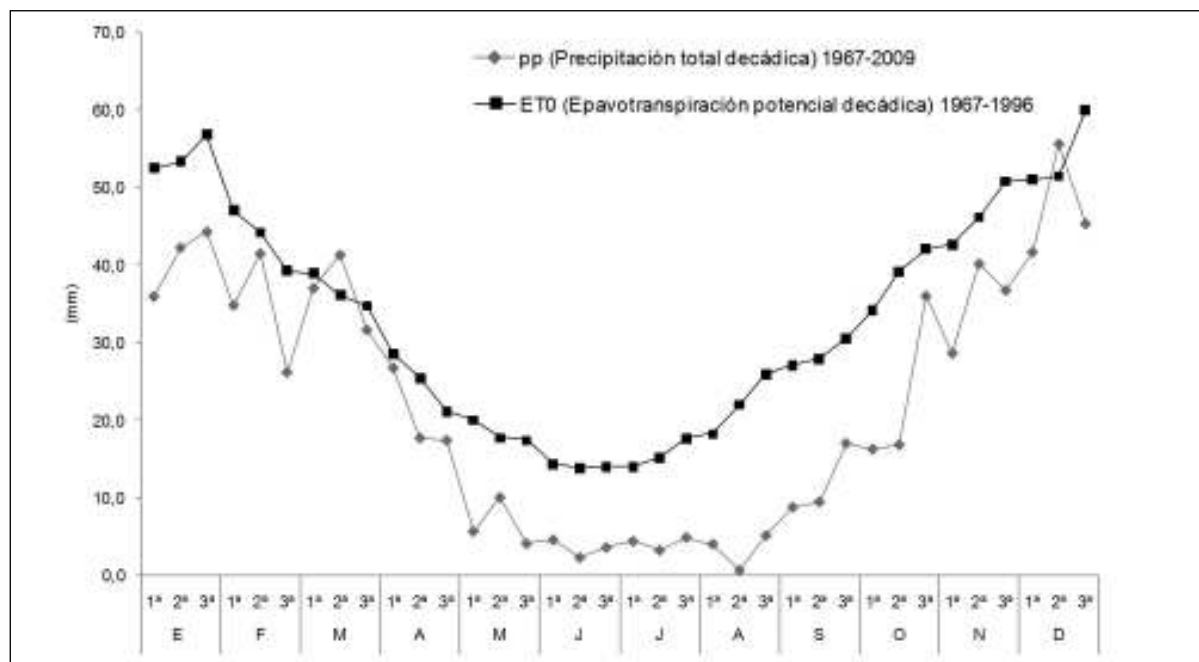


Figura 1: Distribución anual de las precipitaciones (PP) y evapotranspiración de referencia (ETO). Serie 1967-1996. (Estación Meteorológica de INTA EEA Manfredi).

Año	Densidad siembra	Fertilización*	Fecha siembra	Fecha secado
2006	60 kg ha <sup>-1</sup>	-	22/04	15/08
2007	85 kg ha <sup>-1</sup>	55 kg ha <sup>-1</sup> de N	08/05	26/09
2008	75 kg ha <sup>-1</sup>	52 kg ha <sup>-1</sup> de N	22/05	23/09
2009	90 kg ha <sup>-1</sup>	-	28/05	07/10

**Tabla 1:** Manejo del CC (triticale) en el período 2006-2009.

\* El CC se comenzó a fertilizar en 2007. En 2009 no se fertilizó porque la condición hídrica fue de extrema sequía.

ta con cultivo de cobertura (SS SDcc) el CC se realiza todos los años y en la secuencia soja-maíz (SM SDcc) año por medio (siembra del CC después de soja y barbecho químico después de maíz). Los tratamientos con la secuencia SS tienen tres repeticiones y los tratamientos con la secuencia SM cuatro repeticiones (dos repeticiones de cada fase). La unidad experimental tiene una superficie de 3850 m<sup>2</sup> (35 m x 110 m). Los cereales de invierno usados como CC desde el inicio del experimento fueron avena (*Avena sativa* L.) (1996 a 2002), trigo (*Triticum aestivum* L.) (2003) y triticale (2004 a 2009). La interrupción del crecimiento del CC se realiza con la aplicación de glifosato en inicio de encañazón, estadio fenológico que ocurre generalmente en el mes de septiembre. La siembra de soja y maíz se realiza entre los meses de septiembre y diciembre, dependiendo del inicio del período de lluvias. El manejo del CC en los últimos cinco años se detalla en la Tabla 1.

### Variables evaluadas

Se evaluó el CC durante cuatro años (2006 a 2009). Previo al secado del CC se realizó un muestreo de materia seca para evaluar biomasa aérea (BA). Se determinó por gravimetría el agua disponible a 1,6 m a la siembra (ADi) y al momento de secado (ADf) del CC. Con el AD y la precipitación efectiva (Pef.) durante el ciclo del CC se calculó el uso consuntivo de agua del CC (UC). La Pef. fue calculada corrigiendo los valores de precipitación superiores a 15 mm de acuerdo a la ecuación propuesta por Dardanelli et al (1991). Finalmente, se calculó la eficiencia de uso de agua (EUA), la cual expresa la cantidad de biomasa producida por unidad de agua consumida (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

En 2005 se realizó el fraccionamiento del carbono orgánico (CO) por separación física por tamaño de partículas (FTP), metodología descrita en Ghiotti & Basanta (2008). Se usó tamiz de 50 micras obteniéndose las fracciones F>50 y F<50, quedando definidas dos fracciones de CO: CO<50 (C viejo) y CO>50 (C joven). El carbono orgánico total (COT) se calculó sumando ambas

fracciones. En 2007 se realizó la determinación del stock de CO hasta 1 m de profundidad. Para calcular los stocks de CO se tomaron dos muestras compuestas por parcela a las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, 70-100 cm. Las determinaciones de C, tanto en las fracciones como en la muestra total (<2mm), se realizaron con auto analizador de combustión completa (LECO, Corporation, St. MI, USA). Además se determinó la densidad a aparente (método del cilindro) en las mismas profundidades. El stock de CO se calculó por masa equivalente (Ellert & Bettany, 1995).

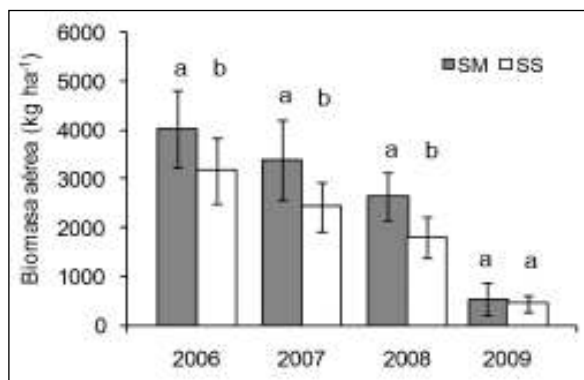
En 2008 se evaluó la estabilidad de agregados por tamizado en húmedo (sin humedecimiento previo de agregados) en las profundidades de 0-5 y 5-10 cm, siguiendo la metodología de Kemper y Roseneau, (1986) descrita en Giubergia et al., (2010). En 2009 se evaluó la porosidad total (PT) (método del cilindro) y la distribución de tamaño de poros (DTP) según el criterio de Kay & VandenBygaart, (2002) (macroporos (MP) con diámetro >30 µm, mesoporos (mP) con diámetro entre 0,2 y 30 µm y microporos (µP) con diámetro <0,2 µm). También en los mismos puntos de evaluación de la (DTP) se midió la infiltración básica (Ib) con permeámetro de disco. La infiltración se midió durante 100 min y la Ib se estimó como la pendiente de la recta determinada con las últimas tres lecturas.

La información climática fue registrada en la estación meteorológica localizada a 100 m del experimento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Producción de biomasa aérea, consumo de agua y eficiencia de uso del agua del cultivo de cobertura

La biomasa aérea (BA) presentó una importante variabilidad entre años, observándose producciones entre 440 y 3160 kg ha<sup>-1</sup> en SS-SDcc y entre 530 y 4000 kg ha<sup>-1</sup> en SM-SDcc. En tres de los cuatro años evaluados la BA fue significativamente



**Figura 2:** Producción de biomasa aérea (BA) en ambas secuencias de cultivos sorgo/maíz (SM) y sorgo/sorgo (SS) en el período 2006-2010.

Letras diferentes indican diferencias significativas dentro de cada año (Test T,  $p < 0,05$ ). Las barras representan el desvío estándar (DE).

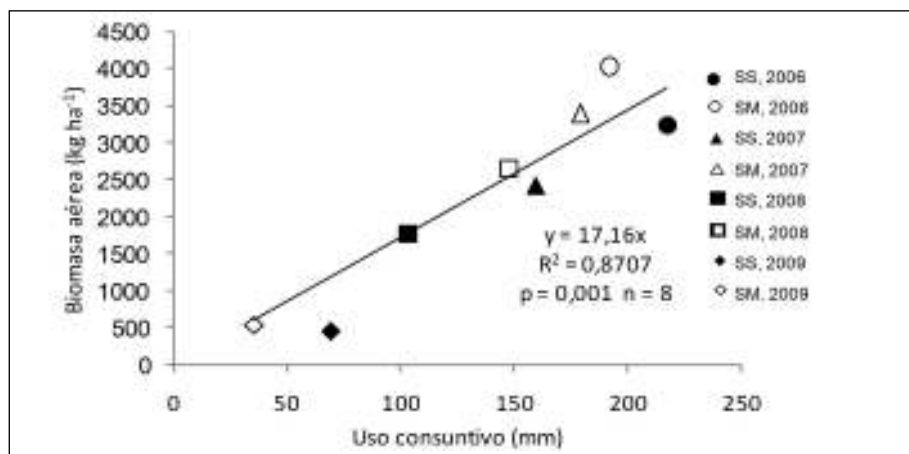
mayor en SM-SDcc que en SS-SDcc (Figura 2), con una diferencia anual promedio de 680 kg ha<sup>-1</sup>. Dicha diferencia estuvo asociada principalmente a una mejor EUA en SM, ya que el UC promedio de los cuatro años fue prácticamente el mismo en ambas secuencias (137 mm en SS y 139 mm en SM). La mayor cobertura de rastrojos en la secuencia SM por los aportes de residuos del maíz estaría disminuyendo la componente evaporativa de la evapotranspiración, permitiendo que mayor cantidad de agua sea utilizada para la producción de biomasa.

La BA presentó una relación lineal positiva con el UC (Figura 3). De acuerdo a dicha regresión la EUA promedio es de 17 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Cuando se analizó el comportamiento del CC en cada secuencia, se observó mayor EUA en SM que en SS, con valores promedio de 19,4 y 14,8 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente. Dicha relación muestra que con el

UC promedio (140 mm) se puede lograr una producción de BA de unos 2700 kg ha<sup>-1</sup> en SM y 2000 kg ha<sup>-1</sup> en SS, siempre que no exista otro factor limitante para la generación de biomasa.

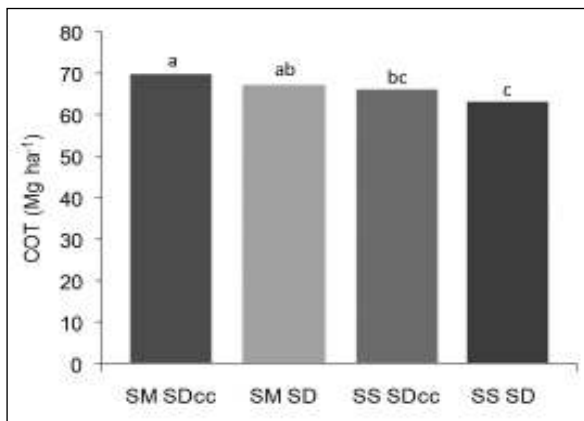
Existe escasa información en el país sobre producción de biomasa del triticale utilizado como CC. Amigone et al., (2005) evaluando triticale usado como verdeo, reportaron que la producción de materia seca de distintos cultivares fue en promedio de 6000 kg ha<sup>-1</sup>. En otro estudio, el triticale usado como CC produjo aproximadamente 7000 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca cuando fue secado en inicio de encañazón, momento en que se observó la mejor eficiencia de producción de materia seca por mm de agua consumido (Álvarez et al., 2005). En el presente trabajo, la producción de BA del triticale fue baja en comparación con los valores reportados por los autores previamente citados. Posiblemente las condiciones ambientales predominantes en la RCC durante el período de crecimiento del triticale limiten su producción de BA. Considerando que en los sistemas de producción evaluados el triticale puede producir en promedio unos 2500 kg ha<sup>-1</sup> de BA se estaría aportando al sistema por esta vía 1000 kg ha<sup>-1</sup> de C anuales, más la biomasa radicular. Este aporte es significativo sobre todo en el sistema de producción de soja continua (SS), en el que se observa una tendencia a mejorar el stock de C (Figura 4) y un aumento significativo del nivel de C joven ( $C > 50$ ) (Figura 5) en relación al mismo sistema sin CC.

Los valores de UC del CC hallados en este trabajo, si bien son algo inferiores, se encuentran dentro del orden de magnitud de consumos reportados por otros autores para la región semiárida pampeana. Por ejemplo, Fernández et al. (2005) observaron que el consumo de agua de



**Figura 3:** Relación entre la producción de biomasa aérea (BA) y el uso consuntivo de agua (UC).

Sorgo/maíz (SM);  
sorgo/sorgo (SS)



**Figura 4:** Stock de COT hasta 1 m de profundidad.

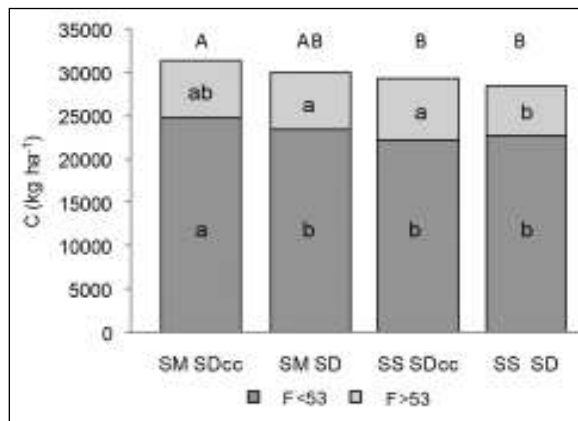
Sorgo/maíz (SM); sorgo/sorgo (SS); Siembra directa con cultivos de cobertura (SDcc); Siembra directa (SD).

Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD,  $p < 0,001$ ).

un CC (centeno o rye grass) de abril a septiembre fue de 233 mm. En otro estudio, un cultivo de triticale tubo un consumo aproximado de 210 mm cuando fue secado en inicio de encañazón (Álvarez et al., 2005).

### Contenido de carbono edáfico y su distribución en las fracciones granulométricas

Evaluando el stock de COT hasta 1 m de profundidad (Figura 4) se observó que dentro de cada secuencia (SS y SM) hubo un leve incremento (no significativo) del COT debido a la inclusión del CC. Wander & Traina (1996) en sistemas soja-maíz reportaron que los contenidos de materia orgánica fueron significativamente mayores cuando se incluyeron cereales de invierno como CC. Comparando los dos manejos con CC, la secuencia con maíz (SM SDcc) presentó valores de COT significativamente superiores al monocultivo (SS

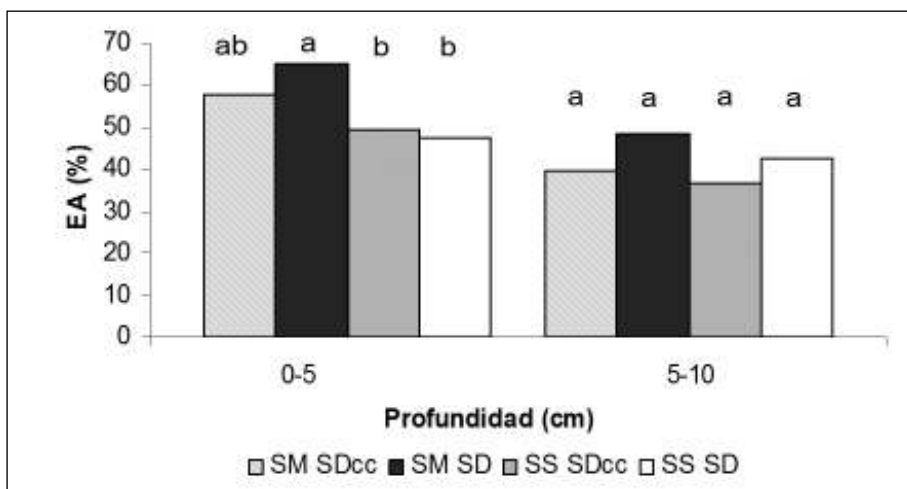


**Figura 5:** Contenido de C en las fracciones F<53 y F>53 en 0-20 cm de profundidad.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas dentro de cada fracción. Sorgo/maíz (SM); sorgo/sorgo (SS); Siembra directa con cultivos de cobertura (SDcc); Siembra directa (SD). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas en carbono total (COT = C<53 + C>53). (LSD,  $p < 0,05$ ).

SDcc), siendo de 70,0 Mg ha<sup>-1</sup> y 66,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Es decir que el sistema de mayor stock de COT fue el que tuvo el aporte de C de las dos gramíneas (maíz y CC), a pesar de que los rendimientos de maíz disminuyen con el CC como antecesor (Salas et al., 2005).

El fraccionamiento físico por tamaño de partícula mostró que en la profundidad de 0-20 cm hubo efecto de la inclusión del CC sobre COT y en la distribución del C en las fracciones F<50 y F>50 (Figura 5). La secuencia SM tuvo mayor cantidad de COT que SS, principalmente en el tratamiento con CC. Dentro de SM no hubo diferencias significativas en CT entre SD y SDcc, aunque sí hubo diferencias en la distribución del C en las fracciones ya que SDcc presentó un mayor contenido de



**Figura 6:** Estabilidad de agregados (%) en las profundidades 0-5 y 5-10 cm. Sorgo/maíz (SM); sorgo/sorgo (SS); Siembra directa con cultivos de cobertura (SDcc); Siembra directa (SD). Letras diferentes indican diferencias significativas (LSD,  $p < 0,05$ ).

C<50. En la secuencia SS los sistemas SDcc y SD no presentaron diferencias significativas en COT pero hubo un incremento significativo de CO>50 con la inclusión del CC que fue del orden del 21%.

### Estabilidad agregados

Para la profundidad de 0-5 cm se observaron diferencias en EA para el factor secuencia de cultivos (SM>SS). Sin embargo, dentro de cada secuencia, no hubo efecto de la inclusión del CC. Para la profundidad 5-10 cm los valores de EA fueron menores que 0-5 cm y no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 6). La ausencia de efectos del tratamiento SDcc en el estrato superficial (0-5 cm) para la secuencia SM podría estar explicada por la falta del CC previo, debido a que la medición se realizó en las parcelas con barbecho químico después de maíz. Para la secuencia SS, donde CC se siembra todos los años, la falta de efecto se debería al bajo rendimiento del CC en esta secuencia y al momento en que se realizó el muestreo (aproximadamente 4 meses después de secado el CC). Se han reportado incrementos de EA bajo secuencias que incluyen CC invernales (Villamil et al., 2006), mientras que otros autores no encontraron diferencias y lo atribuyeron a que la medición no se realizó inmediatamente después de secado el CC

(Varela et al. 2010).

Respecto al estrato subsuperficial (5-10 cm), los menores valores de EA y la ausencia de diferencias entre tratamientos se deberían a un menor contenido de CO asociado a una menor actividad de microorganismos, fauna y cantidad de raíces (Villamil et al., 2006), además del efecto de la fecha de muestreo anteriormente explicado para la profundidad de 0-5 cm.

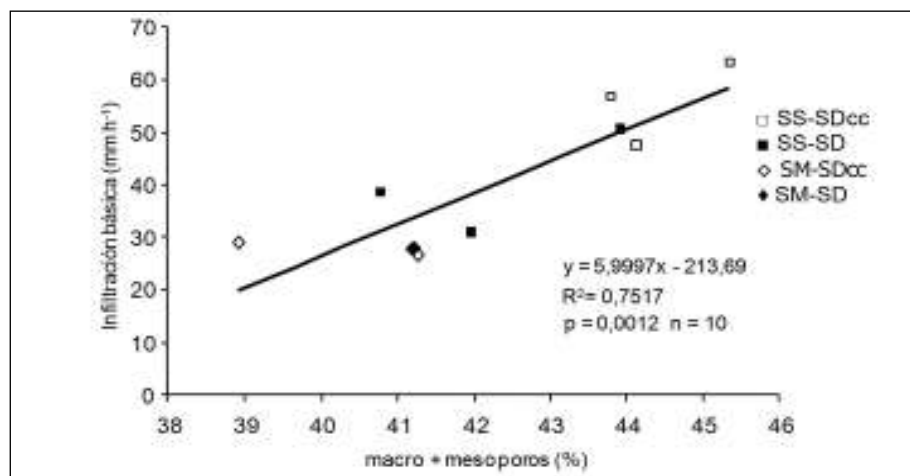
### Porosidad e infiltración básica

Analizando el efecto de los tratamientos sobre la porosidad se observó que la principal diferencia está en la distribución de tamaño de poros y no en la Pt (Tabla 2). Además la Ib fue modificada por los tratamientos (Tabla 2) y presentó una relación lineal positiva con la porosidad mayor a 0,2 μm (MP + mP) (Figura 7). Los tratamientos en la secuencia SM presentaron mayor proporción de μP (menor MP+mP) lo que explicaría los menores valores de Ib. Similares valores de μP fueron encontrados en un parque considerado como referencia, mostrando que mayores aportes de CO generan una mayor proporción de μP (Cesaretti et al., 2010). En concordancia con estos resultados, Sasal et al., (2006a) mencionan que la microporosidad estaría asociada a un mayor stock de MO. Por otro lado, la secuencia SS mos-

Tratamiento	Pt (%)	MP+mP (%)	Ib (mm h <sup>-1</sup> )
SS SDcc	54,94 a	44,42 a	55,8 a
SS SD	53,45 a	42,22 ab	39,9 b
SM SDcc	53,66 a	40,10 b	27,9 b
SM SD	53,67 a	41,20 b	27,7 b

**Tabla 2:** Valores de porosidad total (Pt) y de macro+mesoporos (MP+mP) en 0-20 cm de profundidad y de infiltración básica (Ib).

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas (LSD, p<0,05).



**Figura 7:** Relación entre Infiltración básica (Ib) y macro+mesoporos (MP + mP).



tró mayor proporción de mP y MP, principalmente en SDcc, lo que estuvo asociado a los mayores valores de Ib observados en dicho tratamiento (Tabla 2, Figura 7). Varios autores encontraron disminución de la infiltración en SD con respecto a sistemas con laboreo (VandeBygaart et al. 1999; Sasal et al., 2006b; Álvarez et al., 2009) y la atribuyeron principalmente a la orientación preferentemente en sentido horizontal de los poros superficiales, los cuales son menos efectivos para la transmisión del agua que los orientados en sentido vertical. Posiblemente la inclusión del CC todos los años pueda estar influyendo favorablemente en las características del sistema poroso en SS mejorando la Ib.

## CONCLUSIONES

La producción de biomasa aérea y la eficiencia de uso del agua del triticale fueron superiores en la secuencia SM en relación a SS.

La producción de biomasa aérea del triticale fue explicada en un 87% por el uso consuntivo de agua, lo que pone de manifiesto que la disponibilidad de agua es el principal factor limitante para el crecimiento del CC en esta región.

El stock de COT (0-1,0 m) fue mayor en la secuencia SM que en SS, pero la inclusión del cultivo de cobertura no mejoró significativamente el stock de COT respecto del tratamiento sin CC (SM SDcc vs SM SD y SS SDcc vs SS SD). Sí hubo una mejora significativa del COT en el sistema que tuvo aporte de C del maíz y del CC (SM SDcc) en relación a SS SDcc.

En la distribución del CO en las fracciones de suelo se observó que en la secuencia SM hubo un incremento significativo del carbono orgánico viejo ( $CO < 50$ ) con el CC y que en la secuencia SS hubo un aumento significativo del carbono orgánico joven ( $CO > 50$ ) con la inclusión del CC que fue del orden del 21%.

En estabilidad de agregados (EA) y en porosidad total (Pt) no hubo efecto de la inclusión del CC.

El CC influyó en la distribución del tamaño de poros generando mayor macro- y mesoporosidad en el tratamiento en que se realizó todos los años (SS SDcc). La infiltración básica (Ib) presentó una relación lineal positiva con la porosidad mayor a 0,2 micras (MP+mP), siendo significativamente superior en SS SDcc.

## CONSIDERACIONES FINALES

El efecto del cultivo de cobertura sobre las propiedades del suelo fue más evidente en la secuencia SS que en SM. El hecho de que el efecto positivo del CC en la secuencia SM sea menos marcado puede deberse a que en dicha secuencia el CC se realiza cada dos años, mientras que en SS se realiza todos los años. Por ese motivo, las mejoras observadas en las variables analizadas en SM en relación a SS se deben principalmente a la inclusión del maíz, no mostrando dicha secuencia grandes cambios con la inclusión del CC.

La inclusión de cultivos de cobertura invernales en los sistemas de agricultura continua con cultivos de cosecha estivales puede ser una alternativa de manejo válida para generar cobertura y mejorar el balance de carbono del sistema de producción, principalmente en planteos con monocultivo de soja. Sin embargo, el uso consuntivo de agua por parte del CC puede afectar de forma importante el agua disponible para el cultivo siguiente en años en los que las precipitaciones no sean suficientes para la recarga del perfil antes de la siembra del mismo, pudiendo comprometer seriamente el rendimiento. Los resultados hasta ahora obtenidos muestran que ésta sería la principal limitante de la inclusión de CC invernales en los sistemas de producción de la región central de Córdoba.

Dada la acentuada variabilidad interanual de las lluvias en la región es necesario continuar las evaluaciones del CC y sus efectos sobre el rendimiento de los cultivos de cosecha para disponer de información que abarque un amplio rango de situaciones de disponibilidad hídrica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez CR, MA Taboada, FH Gutierrez Boem, A Bono, PL Fernández y P Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa Region of Argentina. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1242-1250.
- Álvarez C, M Barraco, M Díaz-Zorita, C Scianca y C Pecorari. 2005. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Haplustol típico del noroeste bonaerense. *Boletín de Divulgación Técnica* nº 87. INTA EEA Anguil. pp. 19-23.
- Amigone M, A Kloster y N Bertram. 2005. Verdeos inverna-

les. Producción de forraje en el área de Marcos Juárez. Hoja Informativa n° 364. Área Producción Animal INTA Marcos Juárez.

- Andriulo A y G Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. En: Panigatti JL, Marelli H, Buschiazzi D, Gil R. (Eds). Siembra Directa. INTA. Hemisferio Sur. pp. 65-96.
- Basanta MV, JP Giubergia, E Lovera, C Alvarez, E Martellotto, E Curto y A Viglianco. 2008. Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un Haplustol de la región central de Córdoba. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis. En CD.
- Cesaretti C, MV Basanta, JP Giubergia y E Lovera. 2010. Evaluación de porosidad e infiltración en un Haplustol éntico bajo diferentes labranzas y secuencias de cultivos. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. En CD.
- Dardanelli JL, AC de la Casa, MR Ateca, R Zanvetor, F Núñez Vázquez y HP Salas. 1991. Validación del balance hídrico versátil para la rotación sorgo-soja bajo dos sistemas de labranza. Revista Agropecuaria de INTA Manfredi e INTA Marcos Juárez, 7 (2): 20-29.
- De la Casa A y G Ovando. 2006. Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. RIA, 35: 67-85.
- Ellert BH y JR Bettany. 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Can. J. Soil Sci. 75: 529-538.
- Fernández R, D Funaro & 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. INTA EEA Anguil. pp. 25-31.
- Ghiotti ML y MV Basanta. 2008. Efecto de distintos sistemas de manejo sobre las fracciones de materia orgánica en un Haplustol del centro de la provincia de Córdoba. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, San Luis. En CD.
- Giubergia JP, MV Basanta, I Garino y E Lovera. 2010. Estabilidad estructural de un Haplustol éntico con diferentes labranzas y secuencias de cultivos. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario. En CD.
- Gorgas JA y JL Tassile. 2003. Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba. Serie C. Publicaciones Técnicas. Agencia Córdoba Ambiente S.E. Córdoba. 85 pp.
- INTA. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Nación. 1987. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3163-32-Oncativo.
- Jarsún B, JA Gorgas, E Zamora, H Bosnero, E Lovera, A Ravelo y JL Tassile. 2006. Recursos naturales de la Provincia de Córdoba, Los Suelos. (Gorgas, JA & JL Tassile, eds.). Publicaciones Técnicas. Agencia Córdoba Ambiente S.E. y INTA Regional Córdoba. Córdoba. 612 pp.
- Kay B y A VandenBygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil & Tillage. Res. 66: 107-118.
- Kemper W y R Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. En: Klute A. (Ed.). Methods of Soil Analysis: part I. Physical and Mineralogical Methods, 2 nd ed. Agron. Monogr., vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 425 – 442.
- Lovera EF, RC Gil y EE Martellotto. 1993. Características edáficas y climáticas del área perteneciente al PAC. II – Zona Centro. Información Técnica. Áreas de Desarrollo Rural y Recursos Naturales. INTA Manfredi. 6 pp.
- Salas HP, EF Lovera, MV Basanta, JP Giubergia, EE Martellotto y AI Salinas. 2005. Producción de soja y maíz en función de la rotación y del sistema de manejo en un Haplustol típico de la región central de Córdoba. INTA EEA Manfredi. 11 pp.
- Sasal C, A Andriulo, S Portela, M Darder, F Rimatori, A Irizar y S Restovich. 2006a. Propiedades físicas superficiales de un Argiudol Típico bajo diferentes labranzas y secuencias de cultivos. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy. En CD.
- Sasal C, A Andriulo y Taboada M. 2006b. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinean Pampas. Soil & tillage. Res. 18: 9-18.
- VandenBygaart R, R Protz y D Tomlin. 1999. Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, Southern Ontario. Soil Sci. 79: 149-160.
- Varela MF, PL Fernández, C Álvarez, C Scianca, G Rubio y MA Taboada. 2010. Propiedades físicas que varían por la incorporación de cultivos de cobertura en Hapludoles franco arenosos. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario. En CD.
- Villamil MB, GA Bollero, RG Darmody, FW Simmons y DG Bullock. 2006. No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. 2006. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1936-1944.
- Wander MM y SJ Traina. 1996. Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1081– 1087.

## Cultivos de cobertura: gramíneas y leguminosas en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires

### 1. Efecto de cultivos de cobertura sobre la productividad del cultivo de soja en el centro oeste de Buenos Aires

#### INTRODUCCIÓN

En la región pampeana los sistemas agrícolas han consolidado su participación en el uso de la tierra respecto a los ganaderos. Se considera que en el 80% de la superficie agrícola de la región se realiza soja sin rotación de cultivos (SAGP y A, 2008). La preponderancia de los cultivos de verano y específicamente de la soja, en los sistemas productivos, prolonga el tiempo que los lotes quedan sin cobertura entre el lapso de dos secuencias de siembra de cultivos de verano (7 meses). Es propósito de este artículo discutir algunos de los elementos a considerar del manejo de cultivos de cobertura coberturas y su efecto sobre las propiedades edáficas y producción de los cultivos en la secuencia. Si bien todos los factores mencionados pueden ejercer algún grado de influencia sobre la producción de granos, el peso relativo de los mismos normalmente varía entre sitios con distintas características edafoclimáticas. Identificar los factores más importantes (a nivel de sitio) y establecer cierto orden jerárquico en los mismos resulta imprescindible para sentar las bases del manejo del agua y optimizar la producción (interacción genotipo-ambiente). Distintos estudios han abordado los problemas en la captación del agua (infiltración, conductividad hidráulica, escurrimientos) a partir de la reducción de la macroporosidad como consecuencia de la degradación física de los suelos. Uno de los cambios más relevantes y que esta

marcando efecto sobre la eficiencia de captación y conservación de agua es la pérdida de cobertura a través de la intensificación de los sistemas de producción agrícolas y ganaderos debido a una mayor participación de cultivo de bajo aporte de volumen y/o la extracción de materia seca, casi completa, mediante el “pastoreo mecánico”, como es el caso del silaje. Esto representa una fuerte disminución del aporte de residuos con repercusión sobre el contenido de materia orgánica del suelo, y además expone los suelos a la erosión hídrica y eólica. Una manera de mitigar esta tendencia sería lograr una adecuada cobertura del suelo utilizando especies gramíneas de crecimiento invernal, como cultivo de cobertura (CC), en el prolongado tiempo que media entre la cosecha y la próxima siembra del cultivo de verano. El principal problema de ésta práctica es el uso del agua ya que, si no existe recarga del perfil durante el período de barbecho posterior al CC, podría transformarse en una limitante para el cultivo principal (Stute y Posner, 1995). En este sentido Rufo, (2003) sostiene que, la decisión de finalizar el crecimiento de los CC debe adaptarse a dos premisas fundamentales; (i) lograr una acumulación de biomasa que garantice cobertura y aportes de C y, (ii) ajustarse a las precipitaciones de la región con la finalidad de garantizar la recarga del perfil. El objetivo general del presente trabajo fue evaluar el impacto de incluir especies de gramíneas como CC sobre la productividad del cultivo de soja y las propiedades edáficas.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante los años 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009 en un lote de producción perteneciente a la Escuela de Ganadería y

**Tabla 1:** Precipitaciones mensuales, total anual (mm) y promedios correspondientes a los años 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 y a la serie histórica 1961-2009.

AÑO	MES	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	Total
2005		39	24	52	17	89	50	34	139	36	207	106	87	880
2006		142	0	57	15	0	27	280	58	126	224	190	40	1159
2007		63	14	7	3	0	114	90	60	46	137	82	211	827
2008		0	22	35	78	0	45	147	55	15	125	107	196	825
2009		40	26	0	45	0	136	30	171	230	20	64	15	777
Promedio 05-09		57	17	30	32	18	74.5	116	97	91	143	110	110	894
Promedio 1961-2009		108	54	39	42	40	62	112	105	113	126	110	147	1060

Agricultura M.C. y M.L. Inchausti 25 de Mayo (Bs As). El lote provenía de diez años en agricultura continua con soja de 1º, de los cuales los últimos cuatro fueron realizados en SD sobre un suelo Hapludol éntico perteneciente a la serie Norumbega, (INTA, 1972). El clima del lugar se caracterizó como subhúmedo, con una precipitación media de 1.060 mm., (serie histórica 1961-2009). En la tabla 1 se presentan las precipitaciones mensuales, total anual y las precipitaciones medias correspondientes a los años 2005 -2009 y a la serie histórica 1961-2009 (datos de INTA 9 de Julio).

Se utilizaron dos cereales de invierno como CC, avena (*Avena sativa*) y raigrás anual (*Lolium Multiflorum*) y un testigo sin cultivo que se mantuvo libre de vegetación con aplicaciones de herbicidas. La siembra se realizó en franjas con 3 repeticiones. Todos los cultivos fueron sembrados entre el 15 y el 25 de abril, bajo SD. El espaciamiento entre líneas de siembra fue de 0,21 m. La suspensión del desarrollo de los CC en cada año se realizó en emergencia de espiga (entre 1 y 10 de octubre). El cultivo de soja fue sembrado entre el 10 y 25 de Noviembre, empleándose la variedad DM 3700 a un espaciamiento entre líneas de 0,42 m y una densidad de 48 plantas por m<sup>2</sup>. Se caracterizó el sitio experimental mediante análisis físico-químico en el espesor 0-120 cm para determinar: densidad aparente (DA) y las constantes hídricas de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) y Materia orgánica (MO). El valor de MO fue de 2,46% en los primeros 20 cm. La DA varió entre 1,34 y 1,37 g/cm<sup>3</sup> en la capa superficial y a profundidades mayores de 40 cm respectivamente, mientras que la CC fue de 28% en los primeros 20 cm y de 24% en el resto del perfil, y para PMP se observaron valores de 13% en la superficie y 10% a profundi-

dades mayores. Los contenidos hídricos del perfil se evaluaron anualmente, por gravimetría, a la siembra, a la suspensión del desarrollo de lo CC y a la siembra y en cosecha del cultivo de soja. Al momento de secado de los CC se determinó la biomasa producida (kg Ms ha<sup>-1</sup>), y al momento de secado de los CC y a cosecha de la soja se determinó el uso consuntivo (UC) como la diferencia de agua final-agua inicial+precipitaciones durante el desarrollo de los cultivos y la eficiencia de uso de agua (EUA) realizando el cociente entre el rendimiento en grano y el UC. En R8 se determinó la producción de granos y componentes de rendimiento (número de granos por unidad de superficie (NG) y peso de 1000 granos (PG)). Se cosechó manualmente una superficie de 4 m<sup>2</sup>. Los resultados de rendimiento en grano se expresaron con contenidos de 140 g kg<sup>-1</sup> de humedad. El diseño fue en bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. Los resultados se analizaron por ANOVA y la comparación entre medias mediante el test de LSD Fisher ( $p \leq 0,05$ ), utilizándose para ello el software Infostat (2004).

**Tabla 2:** Producción anual de materia seca aérea total (kg ha<sup>-1</sup>) de cereales de cobertura. En cada año, letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Año	Avena	Raigrás
2005	12776 a	11551 b
2006	7575 a	7122 a
2007	6382 a	4111 b
2008	4529 a	3230 b
2009	4668 a	3460 a
2010	4093 a	3219 a
2011	5411 a	4647 a

## RESULTADOS

### Producción de materia seca del CC, consumo y eficiencia de uso de agua

La producción de MS de avena varió entre 12.776 y 4.529 kg ha<sup>-1</sup> mientras que la de raigrás entre 11.551 y 3.230 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 2). En el período 2005-09 la avena registró en promedio una mayor acumulación de MS que raigrás (21 %). Estos resultados guardan similitud con lo reportado por Quiroga et al., (2008) que en 4 sitios experimentales en la provincia de Buenos Aires documentaron producciones de 7443 a 5952 kg MS ha<sup>-1</sup> para avena y de 6.384 a 3.800 kg MS ha<sup>-1</sup> para el raigrás.

Los contenidos de agua útil del testigo al momento del secado de las gramíneas fueron superiores al de los CC en cuatro de las cinco campañas (tabla 2). Las diferencias en el período 2005-2008 del contenido hídrico al momento de secado de los CC variaron entre 24 a 104 mm<sup>-1</sup> entre los CC y el testigo, en tanto que en el año 2009 el cultivo de avena registró mayor contenido de agua (+ 19 mm), mientras que el balance para el raigrás fue neutro (Tabla 3). Estos valores coinciden con los reportados por Quiroga et al.,

(2008) quienes determinaron diferencias al momento del secado de los CC del orden de 30 a 100 mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> para el perfil de 0-140 cm en 3 sitios experimentales durante 5 años de evaluación en centeno y raigrás, respectivamente.

El uso de agua varió entre 338 a 248 mm en avena y de 385 a 254 mm en raigrás, detectándose diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) solamente en el año 2005. Las EUA oscilaron entre 42 a 15 kg MS mm<sup>-1</sup> en avena y de 34,0 a 8,5 kg MS mm<sup>-1</sup> en raigrás y fueron mayores en el primer año. Avena siempre expresó valores altos en la EUA. Estas son coincidentes con lo reportado por Scianca et al. (2008) quienes evaluaron en las campañas 2005 y 2006 eficiencias del orden de 36 a 21 y de 33 a 14 en kg MS mm<sup>-1</sup> con usos de agua de 208 a 337 mm y de 196 a 318 mm en avena y raigrás, respectivamente.

Al momento de la siembra del cultivo de soja, en el 2005, las diferencias en el contenido de agua respecto al testigo se redujeron a 10 y 45 mm ha<sup>-1</sup>, para avena y raigrás, respectivamente. En términos porcentuales las diferencias en el contenido de agua útil al momento de la siembra de soja se redujeron del 23 al 3 % cuando la

**Tabla 3:** Contenido de agua útil al secado de los CC (AUscc) y agua útil a la siembra de soja (AUss) en mm hasta los 200 cm, materia seca (MS kg ha<sup>-1</sup>), uso consuntivo de los CC (UCcc) (mm), eficiencia de uso de agua de los CC (EUAcc) (kg MS mm<sup>-1</sup> agua), diferencia en el contenido de agua de avena, raigrás y testigo al momento del secado de los CC y a la siembra del cultivo de soja, para las campañas 2005 a 2009 en (% y mm). Tratamientos (Trat.), testigo (T), Avena (A) y Raigrás (R). Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamiento por año ( $p < 0,05$ )

Año	Trat.	Auscc	UCcc	EUAcc	AUss	Diferencia de agua con el testigo			
						secado CC		siembra soja	
						mm	%	mm	%
2005	T	310 a			312				
	A	252 a b	300 a	42	303	-58	-23	-10	-3
	R	217 b	334 b	34	267	-93	-42	-45	-17
2006	T	281			413				
	A	241	338	22	386	-40	-16	-27	-6
	R	183	370	19	357	-98	-32	-56	-16
2007	T	236 a			272				
	A	190 a	299	21	223	-46	-24	-49	-21
	R	166 b	306	14	217	-70	-42	-55	-25
2008	T	142			179				
	A	118	305	15	124	-24	-20	-54	-44
	R	38	385	8.5	72	-104	-273	-106	-148
2009	T	36			132				
	A	55	248	19	112	19	53	-20	-18
	R	36	254	14	102	---		-10	-30

Año	Trat.	UCs	EUAs	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	Número de granos	Peso de 1000 granos (g)
2005	T	616 a	5,0 a	3098 a	2201 a	140,7 a
	A	593 a	5,1 a	3051 a	1976 a	156,0 a
	R	594 a	5,4 a	3192 a	2222 a	143,7 a
2006	T	786 b	5,6 ab	4395 a	2725 a	160,0 a
	A	735 a	5,2 a	3840 b	2331 b	170,0 a
	R	750 a	6,1 b	4555 a	2828 a	160,0 a
2007	T	617 a	6,8 a	4125 a	2135 a	190,0 a
	A	604 a	7,2 a	4290 a	2283 a	190,0 a
	R	566 a	8,3 a	4691 a	2727 a	170,0 a
2008	T	342 b	5,8 a	2004 a	1373 a	140,0 a
	A	264 ab	7,6 a	1979 a	1289 a	150,0 a
	R	243 a	8,4 a	2026 a	1369 a	150,0 a
2009	T	730 b	5,9 a	4338 a	2656 a	160,0 a
	A	735 b	5,6 a	4120 a	2471 a	170,0 a
	R	628 a	6,6 a	4125 a	2470 a	170,0 a

**Tabla 4:** Uso consuntivo del cultivo de soja UCs (mm), eficiencia de uso de agua del cultivo de soja EUAs (kg MS mm<sup>-1</sup> agua), rendimiento del cultivo de soja (kg ha<sup>-1</sup>), NG y PG para las campañas 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009. Letras en sentido vertical indican diferencias significativas entre tratamiento para cada año evaluado ( $p < 0,05$ )

cobertura fue avena y del 42 al 17% cuando la cobertura fue raigrás (Tabla 2).

#### Rendimiento en el cultivo de soja, consumo y eficiencia de uso de agua

Los rendimientos, promedio global, del cultivo de soja con CC como antecesor no presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) respecto al testigo (Tabla 4). Tampoco el NG y PG. Los UC variaron entre 243 y 786 mm entre tratamiento para las diferentes campañas. Los resultados medios globales coinciden con los reportados por Álvarez et al., (2006), Scianca et al. (2008).

La EUA varió entre 5,0 y 8,4 kg grano mm<sup>-1</sup> agua entre tratamientos para las diferentes campañas (Tabla 3). La tendencia general muestra una mayor EUA del tratamiento con antecesor raigrás, pero sólo presentó diferencias significativas en la campaña 2006.

La inclusión sistemática de los CC en las secuencias agrícolas, con alta frecuencia del cultivo de soja, realizarán significativos aportes a la sustentabilidad. En este estudio se realizaron mediciones relacionadas a la porosidad, MO total y joven, infiltración, densidad aparente. Después de las 5 campañas se presentaron mejoras en todos los parámetros (datos no presentados) (Rillo, 2011 inédito); similares resultados fueron comprobados por Álvarez et al. (2010).

#### Propiedades edáficas: carbono del suelo e infiltración básica

Las concentraciones de COT variaron entre valores máximos de 1,97; 1,87% y mínimos de 1,43; 1,45% para avena y testigo, respectivamente, observándose los valores máximo en los primeros 5 cm del perfil y los valores mínimos en el espesor 15-20 cm.

**Tabla 5:** Valores medios de la variable carbono orgánico total (COT) en (%) y en (Mg ha<sup>-1</sup>) para los espesores de suelo 0-5; 5-10; 10-15 y 15-20 cm, evaluado sobre avena y testigo al 1° año de permanencia de los CC. Tratamientos, testigo (T), avena (A). Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher ( $p < 0,05$ )

Prof. cm	Trat.	COT (%)	COT (Mg ha <sup>-1</sup> )
0 - 5	A	1,97 a	12,1 a
	T	1,87 a	11,6 a
5 - 10	A	1,54 a	10,5 a
	T	1,64 a	10,9 a
10 - 15	A	1,52 a	10,4 a
	T	1,51 a	10,5 a
15 - 20	A	1,43 a	9,6 a
	T	1,45 a	9,6 a

Esesor de suelo (cm)	Trat.	COT (%)	COT (Mg ha <sup>-1</sup> )	COP (%)	COP (Mg ha <sup>-1</sup> )
0 - 5	A	1,89 a	11,31 a	0,28 ab	1,64 ab
	R	2,14 a	12,43 a	0,37 b	2,22 b
	T	1,91 a	12,36 a	0,20 a	1,29 a
5 - 10	A	1,50 a	10,12 a	0,13 a	0,90 a
	R	1,54 a	10,39 a	0,07 b	0,45 b
	T	1,39 a	9,70 a	0,05 b	0,33 b
10 - 15	A	1,30 a	8,50 a	0,12 a	0,78 a
	R	1,44 a	9,55 a	0,05 b	0,33 b
	T	1,34 a	9,16 a	0,03 b	0,19 b
15 - 20	A	1,10 a	7,25 a	0,10 a	0,66 a
	R	1,08 a	7,33 a	0,03 b	0,22 b
	T	1,15 a	7,85 a	0,03 b	0,20 b

**Tabla 6:** Valores medios de las variables carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico particulado (COP), en (%) y (Mg ha<sup>-1</sup>) para los espesores de 0-5, 5-10, 10-15 y 15 -20 cm de suelo, evaluadas sobre avena, raigrás y testigo, al 5 año de permanencia de los CC. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas para el test de LSD Fisher (p<0,05)

### Carbono Orgánico Total (COT) y Carbono Orgánico Particulado (COP) evaluados al 5º año de los cultivos de cobertura

Las concentraciones de COP en el espesor 0-5 cm de raigrás y avena fueron del 0,37 y 0,28 %, respectivamente, mientras que en el testigo fue del 0,20 %, diferenciándose raigrás del testigo (p<0,05). En tanto que en los espesores 5-10, 10-15 y 20-15 avena se diferencio del raigrás y del testigo. Esta captación de COP en los primeros 5 cm del perfil concuerdan con los encontrados por Scianca et al., (2006), quienes reportaron una relación positiva entre el aporte de la biomasa aérea de los CC y el COP (R<sub>2</sub>: 0,67), en una secuencia agrícola girasol-CC y maíz. Además, estos resultados son semejantes a los registrados por Eiza et al., (2008) por la rotación con una pastura.

### Infiltración

Cuando la infiltración básica se evaluó luego del secado de los CC durante el primer año del tra-

bajo no se encontró diferencia significativa (p<0,05) entre el testigo y los CC, sin embargo la tendencia con presencia de CC avena y raigrás fue mayor que el testigo (Tabla 7).

En la evaluación realizada en post cosecha de soja, los CC se diferenciaron significativamente del testigo (p<0,05). En términos porcentuales la infiltración de los CC fue un 33 % mayor que el testigo.

En la última evaluación realizada al 5º año, la infiltración de los CC fue significativamente mayor (p<0,05). Claramente se aprecia una reducción del 70% en la infiltración del tratamiento testigo respecto al promedio de los tratamientos con CC de avena y raigrás. Quiroga et al., (2008) han abordado los problemas en la captación del agua (infiltración, escurrimiento) a partir de la reducción de la macroporosidad como consecuencia de la degradación física de los suelos. Asimismo, la pérdida de agregados de mayor tamaño está directamente influenciada por el manejo del suelo

Trat.	Infiltración (mm hora <sup>-1</sup> )					
	Momento de evaluación					
	En el 1º año, en post secado de los CC	Diferencia respecto al testigo (%)	En el 1º año, en post cosecha del cultivo de soja	Diferencia respecto al testigo (%)	En el 5º año, en post secado de los CC	Diferencia respecto al testigo (%)
T	78,7 a		28,8 b		20,96 b	
A	92,6 a	15,0	44,0 a	34,54	66,79 a	68,61
R	88,0 a	10,5	41,50 a	30,60	74,00 a	71,67

**Tabla 7:** Infiltración (mm h<sup>-1</sup>). Medida i) en el 1º año luego del secado de los CC, ii) en post cosecha del cultivo de soja y iii) al 5º año luego del secado de los CC. Tratamientos, testigo (T), Avena (A) y Raigrás (R). Test LSD Fisher. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas (p<0,05)

(Taboada, 2008). Los resultados obtenidos al 5 año coinciden con los de Sasal y Andriulo, (2003), quienes observaron que el ingreso del agua en superficie está en relación con la macroporosidad comprendida entre 60 y 300 mm de diámetro. Además, los mismos autores encontraron menor infiltración en SD en una rotación con mayor proporción de soja, atribuyéndoselo a una mayor disposición horizontal de los macroporos del espesor superficial producto del nuevo ordenamiento horizontal de agregados producido por el tránsito de las máquinas y el bajo volumen de rastrojo de soja. Los resultados son coincidentes con lo reportado por Álvarez et al., (2005 y 2008), quienes determinaron efectos significativos en la infiltración básica atribuibles a la incorporación de gramíneas anuales como CC luego de 2 y 4 años en secuencias de alta frecuencia de soja, indicando una relación directa entre el aporte de rastrojos de los CC y la infiltración del suelo. Se reconoce que las coberturas con residuos de cosechas o bien las que se establecen con vegetación viva tienen alta eficacia para mitigar la susceptibilidad de ruptura de los agregados por el impacto de las gotas de lluvia y el posterior proceso de dispersión de partículas y oclusión de los macroporos, además de favorecer la biota contribuyendo a la generación de bioporos estables y profundos sobre esa porción del perfil (Álvarez et al., 2008).

## 2. Efecto de vicia como cultivo de cobertura sobre la disponibilidad de nitrógeno y agua en maíz

### INTRODUCCIÓN

En el partido de 9 de Julio (Bs. As) solamente un 18% de la superficie agrícola es sembrada con maíz, en tanto que el cultivo de soja es el que predomina en las secuencias agrícolas (SAGPyA, 2011). La estrecha relación entre costos y beneficio es el principal factor que incide en la baja superficie de siembra del maíz. Dentro de los costos la fertilización nitrogenada es una de los costos más importantes con una incidencia del 30% del total de los costos (datos propios). Este insumo podría ser aportado en parte por especies

leguminosas utilizadas como CC, ya que a éstas tienen la capacidad de retener N en su biomasa por fijación biológica del N atmosférico. El momento dentro del ciclo fenológico en el cual se suspende el crecimiento mediante herbicidas sistémicos (secado) determina cuanta biomasa se genera y por ende, cuanto N es retenido en la misma (Clark et al, 1995, citado por Vanzolini et al., 2010). Por este motivo, y con el fin de acumular mayor cantidad de N fijado, fechas tardías de secado serían más convenientes para suplantar la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz. El uso de vicia como CC tendría además otros beneficios, ya que se estaría contribuyendo a la fertilidad física del suelo dado que la cobertura disminuye el impacto de las gotas de lluvias sobre la superficie del suelo y las raíces contribuirían a generar porosidad en el perfil del suelo. La eficiencia de vicia como mejoradora de las condiciones edáficas también depende del tiempo transcurrido entre la siembra y el secado del CC (Vanzolini et al., 2010; Restovich et al., 2006). Vanzolini et al., 2007) determinaron incrementos del 134 y 248% en la biomasa producida por vicia al retrasar dos semanas la fecha del secado. El período de desarrollo de los CC influirá directamente también en la disponibilidad y el uso del agua que tendrá el cultivo siguiente. La disminución en los contenidos de agua útil a la siembra de cultivo del cultivo de renta causada por un CC puede considerarse un “costo hídrico” (CH) del mismo, y Baigorria y Cazorla, (2010) encontraron que el CH de los CC en Argiudoles típicos fue entre de 35 y 110 mm. El objetivo general de este trabajo fue estudiar el impacto de la incorporación de *vicia sativa* (L) como cultivo de cobertura (CC) en rotación con maíz (*Zea mays*) y sus efectos sobre la dinámica del agua, y del Nitrógeno (N) en la biomasa aérea del cultivo de *vicia sativa* (L.) y del Nitrógeno inorgánico (Ni) del suelo.

### MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló en un lote de producción correspondiente a la Escuela de Ganadería y Agricultura M.C. y L.M. Inchausti. (UNLP)-Valdés-Pdo. De 25 de Mayo (Bs.As.) 35°35'38,0" Latitud sur, 60°33'46,5" Longitud oeste. El suelo corresponde a la serie Norumbega



**Tabla 1:** Fecha de siembra y suspensión del desarrollo de vicia y fecha de siembra de maíz.

Año	Siembra de Vicia	Temprana Fecha Suspensión	Temprana Fecha siembra Maíz	Tardía Fecha Suspensión	Tardía Fecha siembra Maíz
2008	8/5	20/9	3/10	6/11	30/11
2009	30/4	25/9	15/10	6/11	30/11
2010	2/5	30/9	30/10	10/11	8/12

Año	Precipitaciones			
Fecha de secado/siembra	Cultivo de vicia		Cultivo de maíz	
	temprana	tardía	temprana	tardía
2008	135	247	361	249
2009	247	277	651	496
2010	280	386	466	450

**Tabla 2:** Promedio de precipitaciones en mm ocurridas en el ciclo de maíz y vicia en los años 2008, 2009 y 2010.

(Hapludol éntico) de textura franco arenosa. La siembra de vicia (*Vicia sativa* L.) fue a fines de abril a principio de mayo, y el secado se realizó en dos fechas separadas cada una aproximadamente entre 40 y 45 días (Tabla 8). El cultivo de maíz se sembró aproximadamente 30 días posteriores a la suspensión del desarrollo de vicia (Tabla 1). El cultivo de vicia no recibió aportes de ningún nutriente por fertilización, en cambio, al cultivo de maíz se lo fertilizó con 21 kg ha<sup>-1</sup> de P en la línea de siembra (SPT, 46% de P). El diseño experimental fue en fajas apareadas con 3 repeticiones por fecha de secado, y del testigo sin CC. Se determinaron las constantes hídricas por el método de la olla de Richards de capacidad de campo (CC) a una tensión de 0,33 atm y punto de marchitez permanente (PMP) a 15 atm en intervalos de 20 cm hasta los 2 m de profundidad de suelo. Utilizando las siguientes ecuaciones se transformaron los contenidos de humedad obtenidos por gravimetría (g kg<sup>-1</sup>), en lámina de agua disponible (mm) para los momentos de inicio y final de cada cultivo.

Lámina de agua útil (LAU) (mm): [Lámina de agua total al momento del muestreo (g kg<sup>-1</sup>) – PMP (g kg<sup>-1</sup>)] x DA (mg kg<sup>-1</sup>) x espesor de capa de suelo (mm) <sup>(1)</sup>

Se determinó el contenido de humedad por gravimetría a la siembra y al final del cultivo de vicia y de maíz a través de la ecuación (1) en intervalos de 20 cm hasta una profundidad total de 2 m. se calculo el uso consuntivo del cultivo (UC), utilizando la siguiente formula:

$$UC = \text{Agua inicial} + \text{precipitaciones} - \text{agua final} \quad (2)$$

En floración del maíz en los años 2009 y 2010 se evaluó en el espesor de 0,2 m del suelo el nitrógeno mineral (Nm) a partir de los contenidos de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, determinados por extracción con agua destilada y sulfato de calcio y valoración colorimétrica utilizando ácido cromotrópico. Utilizando la siguiente fórmula se calculó la cantidad del nutriente en Kg ha<sup>-1</sup> para el espesor considerado.

$$Nm = \sum(N-NO_3) \times Dap \times E \quad (3)$$

Determinaciones en los cultivos: La evaluación de la producción de biomasa aérea del cultivo de vicia se realizó cortando manualmente las plantas de una superficie de 1 m<sup>2</sup>, luego el material se secó hasta peso constante a 60°C en estufa. Con la MS en el laboratorio se determinó N total (método de Kjeldahl). El N absorbido por la biomasa en cada momento de suspensión de vicia se calculó a partir del contenido de N (%) y de la producción MS aérea (kg ha<sup>-1</sup>). La evaluación del rendimiento del cultivo de maíz se realizó sobre una superficie de 5 m<sup>2</sup>, Los rendimientos fueron corregidos a humedad de comercialización (140 g kg<sup>-1</sup>), además se analizaron los componentes de rendimiento; granos m<sup>-2</sup>, y peso de 1.000 granos.

La eficiencia de uso de agua (EUA) en términos de biomasa aérea de vicia y de granos en maíz, se calculó como el cociente entre la producción de granos de cada cultivo y el UC del cultivo (vicia o maíz). Análisis estadísticos: Los resultados se cotejaron a través del análisis de varianza

**Tabla 3:** Producción de MS en Kg ha<sup>-1</sup> por año y momento de suspensión del desarrollo del cultivo de vicia. Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas (p<= 0,05) según Test de Tukey por momento de suspensión.

Año	Temprana	Tardía
2008	1535 a	5743 b
2009	1475 a	4364 b
2010	2444 a	4502 b
Promedio	1818 a	4871 b

**Tabla 4:** N retenido (kg ha<sup>-1</sup>) en la MS (kg ha<sup>-1</sup>) por año y promedio 2008-2010, según momento de suspensión del desarrollo de vicia. Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas (p<= 0,05) según Test de Tukey por momento de suspensión.

Año	N retenido en MS del cultivo de vicia	
	temprana	tardía
2008	35,0 a	189,7 b
2009	43,5 a	132,5 b
2010	61,5 a	142,7 b
Promedio	46,67 a	154,9 b
% de N en biomasa respecto al total	30,1	69,9

(ANOVA) bajo un diseño factorial para determinar la existencia de interacción de los tratamientos involucrados y la existencia de diferencias medias fueron comparadas por el test de Tukey (p<=0,05).

Las precipitaciones fueron registradas con un pluviómetro distante a 2.000 metros del sitio experimental. La Tabla 2 muestra las precipitaciones ocurridas en el ciclo de vicia y de maíz, respectivamente, de los años 2008, 2009 y 2010.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Cultivo de vicia

En la tabla 3 se observa la producción de MS por año y momento de suspensión del cultivo de vicia.

La acumulación de MS se correspondió con la fecha de secado del CC, variando entre 1818 y 4871 kg ha<sup>-1</sup> para fechas tempranas y tardías de secado en promedio de los 3 años, observándose diferencias significativas entre los momentos de secado (Tabla 3). La variación en la producción de vicia entre años estuvo entre un mínimo de 1475 y

un máximo de 2444 kg MS ha<sup>-1</sup>, en tanto que en la fecha mas tardía las producciones de biomasa tuvieron un mínimo de 4364 y un máximo de 5743 kg MS ha<sup>-1</sup>. La producción de vicia correspondiente a la fecha temprana de secado acumuló el 37,3% del total de biomasa acumulada en la fecha tardía de secado. En 43 días, entre fines de septiembre a los primeros días de noviembre, coincidiendo con la diferenciación de la fase vegetativa y comienzo de floración el cultivo de vicia aumentó su producción un 62 %. Estos resultados son coincidente a los encontrados por Vanzolini et al., (2008 y 2010), quienes determinaron tasas de desarrollo semejantes a partir del mes de septiembre. Asimismo comprobaron que el retraso de dos semanas en el secado del cultivo produjo incrementos del orden del 134 y 248% en la biomasa total en los años 2006 y 2007, respectivamente.

Se encontró una relación muy significativa entre la producción de biomasa y el N retenido (Figura no presentada). El N acumulado en la fecha tardía de secado se diferenció en todos los años del acumulado en la fecha temprana, representando éste solamente el 30% del total (46,7 versus 155,0 kg ha<sup>-1</sup>). Estos datos coinciden con registrados por Vanzolini et al, 2010 quienes comprobaron una relación de acumulación de 38 kg N ha<sup>-1</sup> por cada tonelada de MS acumulada de vicia villosa, indicando, que el retraso en la fecha de secado favoreció la acumulación de MS y de N sin riesgos de perjudicar la posterior descomposición de los residuos durante la estación de crecimiento del cultivo estival. Restovich et al., (2006) en contraon unvalor de 96 kg ha<sup>-1</sup> de N en la biomasa de un CC de vicia, señalando que este nutriente es entregado al siguiente cultivo de maíz durante su desarrollo.

### 2. Cultivo de Maíz

No se registro interacción en el rendimiento del cultivo de maíz entre tratamientos y años evaluadas (p=0,65).

La producción de maíz varió entre 8261 y 8562 kg ha<sup>-1</sup> y entre 8316 y 8826 kg ha<sup>-1</sup> para los tratamientos testigo y CC en fecha temprana y tardía de secado respectivamente (Tabla 5). En promedio, no se determinaron diferencias (p<=0,05) en el rendimiento del cultivo de maíz entre los tratamientos testigo y los que tuvieron a vicia como CC, en ninguno de los momento de suspensión

**Tabla 5:** Producción de maíz ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) con antecesor de vicia y testigo por año y momento de siembra. Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey según siembra de maíz por momento y por año del cultivo de vicia.

Año	Rendimiento temprano		Rendimiento tardío	
	Testigo	CC Vicia	Testigo	CC Vicia
2008	7386 a	6733 a	7596 a	7233 a
2009	9149 a	9415 a	8555 b	9788 a
2010	8247 b	9537 a	8796 a	9457 a
Promedio	8261 a	8562 a	8.316 a	8.826 a

**Tabla 6:** N ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) en el espesor 0, 20 m en floración en el cultivo de maíz. Años 2009 y 2010. Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) según Test de Tukey según siembra de maíz por momento y por año del cultivo de vicia.

Año	N temprana		N tardía	
	Testigo	CC (Vicia)	Testigo	CC (Vicia)
2008	sd	sd	sd	sd
2009	35,80 ab	31,72 ab	26,78 b	37,61 a
2010	18,80 b	24,86 b	21,23 b	36,41 a
Promedio	27,23 b	28,29 b	24,01 b	37,01 a

del desarrollo del cultivo de vicia evaluados. Se encontró una tendencia de incremento en la producción de granos de maíz cuando tuvo a vicia como CC; entre 300 y 510  $\text{kg ha}^{-1}$  para las fechas temprana y tardía respectivamente. Estas diferencias equivalen a un 3,6 y 6,13 % más de producción de maíz cuando tuvieron a vicia como CC. Trabajos desarrollados por Baigorria y Cazorla, (2008) en Marcos Juárez sobre un Argiudol típico, lograron un incremento de 20% en el rendimiento del cultivo de maíz con CC, comparado con el testigo.

En el primer año de evaluación (2008) el maíz con CC expresó menor rendimiento que el tratamiento testigo, en los dos momentos considerados. Este comportamiento, en los años 2009 y 2010, no se evidenció. El maíz tardío con CC rindió más que el testigo, presentando diferencias significancia ( $p \leq 0,05$ ) en el 2009, mientras que en el año 2009 el rendimiento del maíz sembrado temprano fue superior. Probablemente el comportamiento del rendimiento de maíz con CC estuviera influenciado por las condiciones del año, dado que en el 2008 las lluvias ocurridas durante el ciclo del maíz fueron menores a las de los años 2009 y 2010 (con diferencias significancia  $p \leq 0,05$  respecto al 2009).

De la evaluación de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) del espesor de suelo 0,20 m en floración en el cultivo de maíz (Tabla 6), surge que, en promedio, cuando vicia

fue suspendida en noviembre (tardía), el N disponible se diferenció (10,3  $\text{Kg N ha}^{-1}$ ), ( $p \leq 0,05$ ) de la vicia suspendida en septiembre (temprana) y de los testigos de cada fecha. (Tabla 6). Además en los dos años evaluados la cantidad de N fue mayor cuando la vicia fue secada tardíamente, alcanzando en el 2010 diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) del resto de los tratamientos, a diferencia del 2009 que solamente se diferenció del testigo de la fecha de siembra tardía. Estos resultados son similares a los de Balarrey et al., (2010), quienes determinaron cantidades de 24 a 26  $\text{kg N ha}^{-1}$  en los primeros 0,30 m del suelo en avena consociada con vicia villosa (R) en el sudoeste bonaerense.

Asimismo, la fecha tardía, al dejar desarrollar la vicia 43 días más respecto al secado temprano, permitió acumular mayor cantidad de biomasa y por ende retener mayor cantidad de N. Luego, en el proceso de descomposición de la MS durante el desarrollo del maíz, se produjo la mineralización del N retenido en la biomasa de vicia lo cual resultó en mayores contenidos de este nutriente a floración del cultivo de maíz, comparado con el testigo. La fecha de secado temprana no se diferenció del testigo en cuanto a la disponibilidad de N, sugiriendo que si el objetivo del CC de vicia es suplantar al menos en parte la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz, sería más recomendable

**Tabla 7:** UC (mm) y EUA (kg MS mm<sup>-1</sup> agua) en el cultivo de vicia. Promedio de los 3 años evaluados. Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas (p<=0,05) según Test de Tukey por momento de suspensión.

	Fecha de secado de Vicia	
	temprana	tardía
UC	198 a	279 b
EUA	9,0 a	18,0 b

**Tabla 8:** Uso consumptivo (UC, mm), eficiencia de uso de agua (EUA, kg grano mm<sup>-1</sup>) y costo hídrico (CH, mm) en el cultivo de maíz. Promedio de los 3 años evaluados. Letras distintas en sentido horizontal indican diferencias significativas (p<= 0,05)según Test de Tukey según siembra de maíz por momento del cultivo de vicia.

	temprana		tardía	
	Testigo	Maiz	Testigo	Maiz
UC	523 a	523 a	461 a	459 a
EUA	15,95 a	16,27 a	17,70 a	19,34 a
CH		33 a		46 a

una fecha tardía de secado de vicia y consecuentemente el sembrado tardío del maíz.

### 3. Agua

#### 3.1 Cultivo de vicia

Se registraron diferencias significativas (p<=0,05) en el UC (mm) y en la EUA (kg MS mm<sup>-1</sup>) en el promedio de los 3 años en el secado tardío (Tabla 7). Esto podría estar relacionado a la mayor acumulación de MS (4871 kg ha<sup>-1</sup>) y al mayor UC (279 mm) respecto a la fecha temprana, mostrando así diferencias significativas en la EUA (9 vs 18 kg MS mm<sup>-1</sup>, entre temprana y tardía respectivamente). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Baigorria y Cazorla (2010), quienes reportaron 314 a 297 mm de UC en vicia sativa fertilizada y sin fertilizar, respectivamente, y con EUA de 24 a 25 kg MS mm<sup>-1</sup>. Los mismos autores obtuvieron 84 a 75 mm de UC con EUA de 14,6 a 16,4 kg MS mm<sup>-1</sup> en un año más seco, señalando que las condiciones del año provocaron un fuerte condicionamiento sobre la producción de biomasa del cultivo y por ende en los parámetros evaluados. Las diferencia observada en la EUA entre las fechas temprana y tardía estarían relacionadas con el ciclo fenológico de la vicia, que tiende a

desarrollar mayor volumen de biomasa entrando en los meses de primavera.

#### 3.2 Cultivo de maíz

No se determinaron diferencias en el UC, en el promedio de los 3 años evaluados, entre los tratamientos y en los momentos considerados de siembra del cultivo de maíz (Tabla 8), y las EUA oscilaron entre 15,95 y 19,34 kg grano mm<sup>-1</sup> sin alcanzar diferencias significativa (p<=0,05).

El CH que tuvo el cultivo de maíz por haber tenido como CC a vicia fue de 33 y 46 mm, para las dos fechas de siembra evaluadas, sin registrar diferencias significativas (p<=0,05) entre las mismas. Estos resultados coinciden con Restovich et al., (2008), quienes trabajando en Argiudoles en Pergamino (Bs. As) encontraron que vicia y otros CC tuvieron un CH que osciló entre 40 y 50 mm del agua útil, señalando además que los CC consumieron poca agua por debajo de los 0,3 m de espesor del suelo. Baigorria y Cazorla, (2010) determinaron un CH de 35 y 110 mm para maíz sobre CC de vicia en Argiudoles de Marcos Juárez (Córdoba) para las campañas 2008 y 2009, respectivamente.

### CONCLUSIONES

El uso de vicia (*Vicia sativa* L) como CC en maíz en suelos de textura franco-arenosa del centro-oeste de Buenos Aires, tendría la potencialidad de ser adoptada en los establecimientos agropecuarios, con la finalidad de reducir la dosis de fertilizantes nitrogenados, dado que no tendría efectos depresores en el rendimiento del maíz.

Cuando vicia se dejó desarrollar hasta floración se encontró mayor proporción de biomasa aérea y N retenido, que resultó en mayores contenidos de N disponible a floración del cultivo de maíz. El CH de vicia no ejercería efectos limitantes del rendimiento del maíz en años de precipitaciones normales.

### BIBLIOGRAFIA

- Alvarez C, Scianca C, Barraco M y M Diaz-Zorita 2010. Cambios en suelos bajo siembra directa con cereales de invierno como cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. CD
- Álvarez C, Barraco M, Díaz Zorita M, Scianca C y C Pecorari.

2005. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: Efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol Típico del Noroeste bonaerense. Boletín de divulgación técnica N° 87. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiáridas y subhúmeda Pampeana. INTA EEA Anguil. Pág.19-23. 2006.

- Álvarez C, Scianca C, Barraco, M y Díaz Zorita, M. 2008. Impacto del manejo de cereales de cobertura invernal sobre propiedades edáficas y producción de soja. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (en CD).
- Baigorria T y C Cazorla. 2009. Evaluación de especies como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. Sistemas productivos sustentables. Fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca - AACs- (en CD)
- Baigorria T y C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivo de cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Rosario. (en CD).
- Balbarrey G, T Loewy y M Ron. 2010. Variación del nitrógeno inorgánico del suelo por efecto combinado de avena consociada con vicia villosa Roth y fertilización nitrogenada. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Rosario (en CD).
- Eiza M, G Studdert y G Domínguez. 2008. Dinámica de la materia orgánica del suelo bajo rotaciones mixtas: II Materia orgánica particulada. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (Resumen. en CD).
- Fernández R, Peinemann N, Nellemeyer E y A Quiroga. Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy (En CD). (2006)
- Infostat. 2004. Infostat versión 2004. Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina
- INTA. 1993. Carta de suelos de la República Argentina. Instituto de suelos. Área de Investigación en Cartografía de suelos y evaluación de tierras. Hoja 3560 – 32 Del Valle. Escala 1: 50.000.
- Quiroga A, M Saks, R Fernández y D Funaro. Aspectos del manejo de la nutrición de cultivos. En XIV Congreso de AAPRESID. Pág.189-195. (2008).
- Restovich S, A Andriulo, C Sasal, A Irizar, F Rimatori, M Darder, y L Hanuch. 2006. Absorción de agua y de nitrógeno edáficos de diferentes cultivos de cobertura. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (en CD).

• Restovich S, A Andriulo y C Améndola. 2008. Definición del momento de secado de diferentes cultivos de cobertura en la secuencia soja-maíz. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).

• Rillo Sergio. 2011. Cultivos de Cobertura para mejorar las condiciones del suelo en rotaciones con alta frecuencia de soja. Tesis especialización en SD. UBA.

• Ruffo, M. y Parsons, A. 2003. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. INPOFOS Informaciones Agronómicas N° 21. Pág.13-20

• Rufo M. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. En: Actas. XI Congreso de AAPRESID. Rosario, Santa Fe, 26 al 29 de agosto de 2003. pp.171-176.

• Sasal MC y AE Andriulo. 2003. Comparación de dos métodos para determinar la distribución de la porosidad edáfica en dos sistemas de labranza. Ciencia del suelo 21 (2): 74-78.

• Scianca C, C Álvarez, M Barraco, A Pérez y A Quiroga. 2006. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Actas del XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD). Scianca C, C Álvarez, M Barraco, A Quiroga y P Zalba. 2008. Cultivos de cobertura en un Argiudol típico del Noroeste Bonaerense. Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. (En CD).

• Stute J, y J. Posner. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. Agron. J. 87:1063-1069.

• Taboada M, F Micucci y C Álvarez. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. En Fertilidad Física de los suelos. Cap 5. Pág.93-153. Editorial Facultad de Agronomía. 2° Edición.

• Vanzolini J, J Galantini, R Agamennoni, J Martínez y O Reinoso. 2010. Efectos del momento de secado de un cultivo de cobertura de Vicia Villosa Roth. Sobre su acumulación de biomasa y su contenido de N. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – Rosario – (en CD).

• Vanzolini JI, JP Renzi, R Agamennoni y O Reinoso. 2010. Diferentes fechas de siembra de Vicia Villosa Roth y su efecto sobre la producción de materia seca. Sistemas productivos sustentables. Fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca - AACs- (en CD).

Helena Rimski-Korsakov, Marta Susana Zubillaga, María Rosa Landriscini y Raúl Silvio Lavado

## Utilización de un cultivo de cobertura luego de maíz, para recuperar nitratos residuales susceptibles de lixiviarse

### INTRODUCCIÓN

La contaminación de aguas subsuperficiales y superficiales con nitratos, sean éstos provenientes de los fertilizantes o de la mineralización de la materia orgánica del suelo o los residuos orgánicos, es un problema que genera preocupación en el mundo. Desde que se ha observado este fenómeno en el país (Andriulo et al., 2000; Costa et al., 2002; Rimski-Korsakov et al., 2004), se ha transformado también en un problema para nosotros. Los cultivos de cobertura (CC) son una alternativa tecnológica potencial para disminuir las pérdidas de nitratos por lixiviación (Macdonald et al., 2005; Hooker et al., 2008). El proceso constaría, en síntesis, de dos etapas: i) la absorción por el CC de los nitratos residuales (entendiéndose como nitratos residuales a los presentes en los primeros 150 cm del suelo luego de la cosecha del cultivo), o los producidos por la mineralización de la materia orgánica o rastrojo durante el período entre los cultivos de interés, y ii) la liberación de ese N durante el cultivo siguiente, debido a la descomposición de los residuos del CC. Los CC también pueden reducir la lixiviación de nitratos porque su transpiración disminuye el agua percolante que desplaza a estos nitratos hacia las capas más profundas del suelo (Thorup-Kristensen et al., 2003). Cuando el rendimiento de un cultivo disminuye por la ocurrencia de un estrés, como por ejemplo una sequía, el contenido de nitratos residuales tiende a incrementarse, aumentándose el riesgo de pérdidas de nitratos por lixiviación (Rimski-Korsakov et al., 2009). En esas condiciones la incorporación de un CC, con posterioridad al cultivo que sufrió estrés, se torna

interesante como alternativa para reducir la cantidad de nitratos residuales. Así, se disminuye el riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos.

El conocimiento de la capacidad de los CC para reducir las pérdidas por lixiviación de nitratos originó un consenso favorable bastante generalizado. Sin embargo, se conocen algunos resultados opuestos: desde CC que no fueron eficientes para cumplir el rol buscado, hasta evidencias que en el largo plazo estos cultivos podrían aumentar las pérdidas de nitratos por lixiviación (Berntsen et al., 2006). Como ejemplo del primer caso, Ritter et al., (1998) no encontraron diferencias en el contenido de nitratos del suelo o en el agua de drenaje, entre cultivos de maíz, ante la presencia o no de un CC integrado por centeno. El aumento en la lixiviación de nitratos, por su parte, fue atribuida a que los incrementos del N orgánico del suelo por el uso de CC no fue acompañada por una disminución proporcional de la dosis de fertilizante utilizado (Hansen et al., 2000). Otra razón posible es el eventual efecto negativo del CC sobre el rendimiento del cultivo principal, que puede llevar a un menor aprovechamiento del fertilizante aplicado, dejando nitratos residuales susceptibles a lixivarse (Thorup-Kristensen et al., 2003). Por todo lo expuesto, la práctica de utilizar CC para reducir las pérdidas de nitratos por lixiviación debe ser considerada para cada situación en particular.

Dentro de las especies utilizadas como CC en zonas templadas, el raigrás anual (*Lolium multiflorum*) es utilizado en barbechos invernales. Se caracteriza por tener un rápido crecimiento, adaptándose bien a suelos con altos contenidos de arcillas y excesos de humedad. Posee una buena aptitud para capturar los nitratos residuales y se

le atribuye la capacidad de incrementar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar la estructura edáfica y controlar la erosión y las malezas (Clark, 2007).

En el presente se analiza la capacidad del raigrás como CC para reducir el contenido de nitratos residuales, luego de un cultivo de maíz fertilizado con nitrógeno y sometido a estrés hídrico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en el predio de la Facultad de Agronomía (UBA) ubicado en la ciudad de Buenos Aires (34° 36'S, 58° 29'O), sobre un Argiudol Vértico, cuyas principales características se presentan en la Tabla 1. El ensayo contempló dos etapas, la primera con un cultivo de maíz (*Zea mays* cv FAUBA 209) y la segunda, inmediatamente a continuación de la anterior, con un raigrás anual (población comercial de *Lolium multiflorum*).

Las precipitaciones y la evapotranspiración que tuvieron lugar durante el ensayo fueron recopiladas de los registros obtenidos en la Estación Meteorológica Villa Ortúzar, del Servicio

**Tabla 1:** Principales indicadores de la fertilidad química del suelo (0-30 cm).

Parámetro	Valor
Materia orgánica (%)	3,5
Nitrógeno total (%)	0,16
pH (agua 1:2,5)	7,3
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,08
P extractable, Bray I (ppm)	17,1

Meteorológico Nacional, contigua a la FAUBA (Figura 1). El maíz se sembró en noviembre del 2005 y se cosechó en mayo del 2006. A continuación se sembró el raigrás que fue muestreado en noviembre del 2006. Las parcelas tuvieron una dimensión de 2.5 x 4.5 m. En cada parcela se delimitó una "microparcela" de 1.5 x 1.2 m. Todas las parcelas recibieron una fertilización presiembra con superfosfato triple (30 kg P ha<sup>-1</sup>), aplicado al voleo, y con nitrato de amonio (140 kg N ha<sup>-1</sup>) incorporado en banda en el estado fenológico de V6 (Ritchie y Hanway, 1982). Dentro de las microparcelas se fertilizó con la misma dosis de N, pero se utilizó fertilizante marcado con <sup>15</sup>N (1.5% abundancia).

Se aplicó un diseño estadístico con bloques completamente aleatorizados con 3 repeticiones. Los tratamientos durante el cultivo de maíz fueron:

**H50:** con estrés hídrico en el maíz.

**H100:** sin estrés hídrico en el maíz.

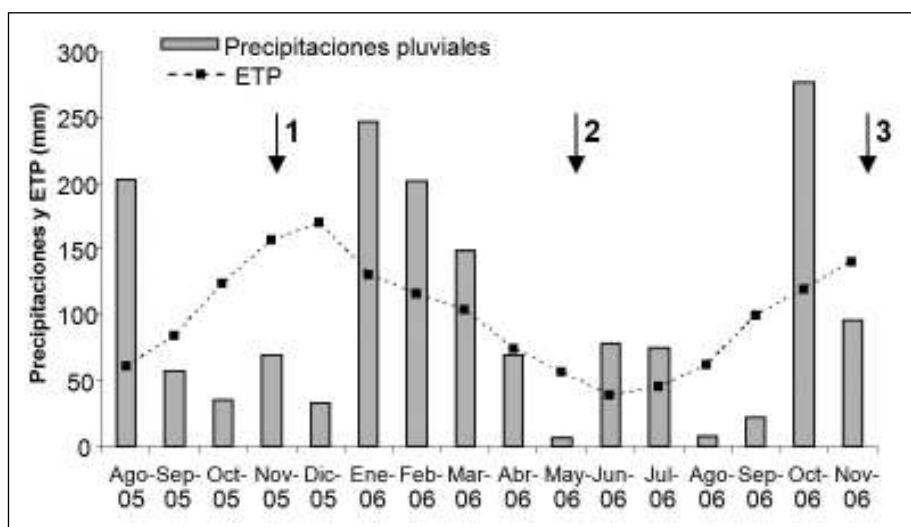
Posteriormente, se sembró el CC en la mitad de las parcelas de cada tratamiento, mientras que la otra mitad se dejó en barbecho con suelo desnudo. Quedando contemplados, finalmente, los siguientes tratamientos:

**H50 + CC:** maíz con estrés hídrico y con cultivo de cobertura posterior al maíz.

**H50 - CC:** maíz con estrés hídrico y sin cultivo de cobertura posterior al maíz.

**H100 + CC:** maíz sin estrés hídrico y con cultivo de cobertura posterior al maíz.

**H100 - CC:** maíz sin estrés hídrico y sin cultivo de cobertura posterior al maíz.



**Figura 1:** Precipitaciones pluviales y evapotranspiración ocurridas durante el desarrollo de los experimentos. Flechas: 1) siembra del maíz, 2) cosecha del maíz y siembra del raigrás, 3) muestreo del raigrás.

Los tratamientos sin estrés hídrico recibieron 621 mm de agua, que corresponde al 100% de la evapotranspiración potencial del cultivo calculada por el método de Penman (1948), mientras que los estresados recibieron un 50% de dicha evapotranspiración (310 mm). Para controlar el ingreso de agua pluvial a las parcelas sometidas a estrés hídrico, se utilizó una estructura de nylon que cubrió los entresurcos. En las parcelas de los tratamientos que no sufrieron estrés hídrico se alcanzó el valor calculado de agua requerida, sumando el agua aportado por las lluvias y las aportadas por riegos complementarios, aplicados en los momentos que fue necesario. Las parcelas bajo estrés hídrico sólo recibieron agua por riego. En el período crítico (15 días antes y después de floración) no se las regó.

Se cosechó material vegetal a madurez fisiológica del maíz y del raigrás. Se determinó la materia seca aérea y N total por Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y la proporción de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  por espectrometría de emisión óptica (Fiedler y Proksch, 1985). Con estos resultados se estimó el N acumulado derivado del suelo y el derivado del fertilizante. Se muestreó el suelo a cosecha del maíz y del raigrás, de 0 a 150 cm de profundidad, en intervalos de 30 cm. En las muestras se cuantificó la concentración  $\text{NO}_3$  por destilación (Sparks et al., 1996) y el  $^{15}\text{N}-\text{NO}_3$  por la técnica citada. En los primeros 30 cm se determinó el contenido de nitrógeno orgánico total por Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) y el proveniente del fertilizante ( $^{15}\text{N}$ ). Se estimó la mineralización aparente del N orgánico proveniente del fertilizante ( $^{15}\text{N}$ ), realizando la diferencia entre el contenido de  $^{15}\text{N}$  orgánico presente a cosecha del maíz y a cosecha del raigrás. Esta estimación es aproximada ya que solo se basa en la diferencia en el tamaño del componente  $^{15}\text{N}$  orgánico en dos momentos puntuales, sin tener en cuenta los posibles flujos de entrada y salida del mismo (Videla, 2007).

## RESULTADOS

### Muestreo a cosecha del maíz

El maíz afectado por estrés hídrico generó menor biomasa aérea total a madurez fisiológica que el no estresado (Tabla 2). El rendimiento en granos también fue menor cuando el agua fue limitante, alcanzándose valores de 9100 y 13300 kg grano  $\text{ha}^{-1}$  con y sin estrés hídrico, respectivamente. El N total y el N derivado del fertilizante acumulado en la biomasa aérea total fue mayor cuando no hubo estrés hídrico (Tabla 2). El N derivado del suelo no mostró diferencias entre tratamientos. El contenido de nitratos residuales (0-150 cm) originales del suelo no evidenció diferencias entre tratamientos (Tabla 3). En forma opuesta los nitratos residuales derivados del fertilizante fueron mayores en el tratamiento donde el maíz sufrió estrés hídrico. Esta acumulación de nitratos tuvo lugar en los primeros 30 cm del perfil, donde fue mayor tanto el contenido de nitratos derivados del fertilizante como el del suelo. El resto de las profundidades (30-150 cm) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. El N derivado del fertilizante encontrado en la fracción orgánica del suelo, fue superior en las parcelas que no fueron estresadas hídricamente (Figura 2).

### Muestreo a cosecha del raigrás o del barbecho desnudo

La biomasa producida por el raigrás, el N acumulado en la misma, tanto total (suelo+fertilizante) como el derivado del suelo y del fertilizante, analizados en forma independiente, no mostraron diferencias significativas generadas por el nivel de humedad recibido por el maíz (Tabla 4).

Al momento del corte del raigrás, el contenido de nitratos residuales (0-150 cm), tanto naturales del suelo como proveniente del fertilizante, no mostró diferencias significativas entre tratamientos. A pesar de lo anterior, en los primeros 30 cm,

**Tabla 2:** Biomasa total producida por el maíz y N acumulado total y derivado del suelo y del fertilizante. Maíz con estrés hídrico (H50); maíz sin estrés hídrico (H100). Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

	Biomasa total kg MS $\text{ha}^{-1}$	N acumulado	N acumulado	N acumulado
		total	del fertilizante	del suelo
		kg N $\text{ha}^{-1}$		
H50	16921 b	134 b	34 b	120 a
H100	23723 a	222 a	65 a	157 a



**Tabla 3:** Contenido de nitratos originales del suelo y contenido de nitratos provenientes del fertilizante a cosecha del maíz. Maíz con estrés hídrico (H50); maíz sin estrés hídrico (H100). Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

	Profundidad (cm)					
	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	0-150
<b>Nitratos del suelo (kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>						
H50	89,93 a	9,83 a	4,28 a	6,16 a	3,51 a	113,71 a
H100	68,19 b	21,83 a	12,25 a	3,74 a	2,13 a	108,15 a
<b>Nitratos del fertilizante (kg <sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>						
H50	10,68 a	0,72 a	0,23 a	0,04 a	0,02 a	11,69 a
H100	2,19 b	1,27 a	1,05 a	0,13 a	0,07 a	4,71 b

**Tabla 4:** Biomasa total producida por el raigrás y N acumulado total y derivado del suelo y del fertilizante. Maíz con estrés hídrico (H50); maíz sin estrés hídrico (H100). Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

	Biomasa total kg MS ha <sup>-1</sup>	N acumulado total	N acumulado del fertilizante	N acumulado del suelo
		kg N ha <sup>-1</sup>		
H50	4677 a	81 a	3 a	78 a
H100	5429 a	100 a	5 a	95 a

**Tabla 5:** Contenido de nitratos naturales del suelo y provenientes del fertilizante a cosecha del raigrás. Letras distintas en sentido vertical indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

	Profundidad (cm)					
	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	0-150
<b>Nitratos del suelo (kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>						
H50 +CC	43,37 a	9,90 a	7,69 a	6,82 a	5,78 a	73,57 a
H50 -CC	37,11 a	6,18 a	5,98 a	6,45 a	8,11 a	63,84 a
H100 +CC	9,39 b	14,42 a	7,31 a	7,27 a	5,49 a	43,87 a
H100 -CC	15,29 b	13,47 a	11,66 a	9,98 a	8,77 a	59,17 a
<b>Nitratos del fertilizante (kg <sup>15</sup>N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>)</b>						
H50 +CC	1,89 a	0,38 a	0,36 a	0,31 a	0,21 a	3,15 a
H50 -CC	2,05 a	0,29 a	0,28 a	0,25 a	0,22 a	3,08 a
H100 +CC	0,50 b	0,62 a	0,23 a	0,37 a	0,21 a	1,93 a
H100 -CC	0,63 b	0,43 a	0,61 a	0,39 a	0,33 a	2,39 a

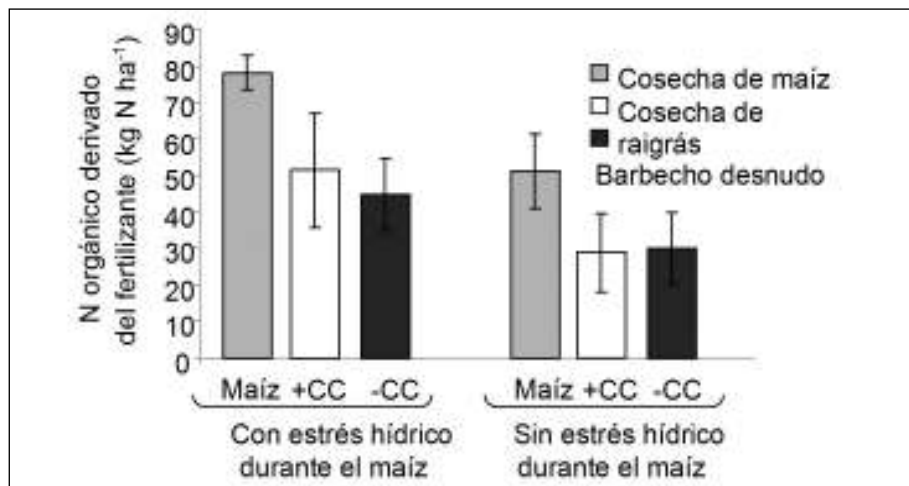
tanto el contenido de nitratos del suelo, como el proveniente del fertilizante, fue mayor cuando existió estrés hídrico durante el cultivo de maíz, independientemente que haya habido, o no, raigrás previo (Tabla 5).

A diferencia de lo ocurrido a la cosecha del maíz, el N derivado del fertilizante formando parte del N orgánico al momento de corte del raigrás, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 2). Comparando los valores

encontrados en los dos momentos de muestreo se evidenció una disminución del N proveniente del fertilizante en dicha fracción.

## DISCUSIÓN

El estrés hídrico afectó al cultivo de maíz, reduciendo su rendimiento y su biomasa aérea total. También redujo el N total y derivado del fertilizante acumulado en ella. La recuperación del



**Figura 2:** Nitrógeno orgánico derivado del fertilizante a cosecha del maíz, del raigrás y luego del barbecho desnudo. Líneas: error estándar.

fertilizante aplicado por parte del maíz, fue menor ante la presencia del estrés hídrico (24 vs. 46%). Estos datos están en consonancia con los encontrados por Rimski-Korsakov et al., (2009) ya que, ante la misma dosis de fertilización en floración, el maíz recuperó el 19 y 40% del fertilizante, con y sin estrés hídrico, respectivamente.

La menor acumulación de N en las plantas estresadas hídricamente originó una mayor cantidad de N derivado del fertilizante en el suelo, el cual quedó en la forma de nitratos residuales o fue inmovilizado por la biota del mismo y se acumuló en la fracción orgánica. En el tratamiento sin estrés hídrico la planta fue el principal destino del fertilizante, siendo la fracción orgánica del suelo el segundo destino en orden de importancia (46% y 37%, respectivamente). Con plantas sometidas a estrés hídrico, la situación fue la inversa, la fracción orgánica del suelo fue el principal destino del fertilizante (56%), seguido por la planta (24%). Los valores de N derivado del fertilizante retenidos en la fracción orgánica del suelo son algo mayores a los indicados por Portela et al. (2006) quienes detectaron, a cosecha de un maíz desarrollado sin condiciones limitantes, entre un 15 y un 29% del N aplicado por fertilización en el componente orgánico. Del total de N aplicado por fertilización, se detectó el 8,3 y 3,4% como nitratos residuales, para el tratamiento con estrés y sin estrés hídrico, respectivamente.

La producción de biomasa del raigrás no fue afectada por el nivel de humedad recibido por el maíz. Los valores de producción de biomasa fueron similares a los encontrados por De Battista y Arias, (2009) en un Argiudol Vértico de la provincia de Entre Ríos. Otros autores encontraron una

menor producción de biomasa aérea de raigrás (Fernández et al., 2005), posiblemente porque dichos autores trabajaron en un sitio de menor productividad que la del presente experimento.

La concentración y acumulación total de N en la biomasa aérea de raigrás no fueron afectadas significativamente por los niveles hídricos a que fuera sometido el maíz. Tampoco se observaron diferencias significativas en el N acumulado por el raigrás derivado del suelo, ni en el derivado del fertilizante. En promedio, la biomasa aérea del raigrás acumuló 90 kg N ha<sup>-1</sup>, siendo 4 kg N ha<sup>-1</sup> los provenientes del fertilizante aplicado al maíz. Los valores de acumulación de N total por el raigrás, en consonancia con la mayor productividad registrada, son superiores a los encontrados por Fernández et al., (2005).

El nivel de N orgánico total y el N derivado del fertilizante en la fracción orgánica del suelo, en los primeros 30 cm del suelo, no fueron afectados por los tratamientos analizados. Las diferencias significativas encontradas en el N orgánico derivado del fertilizante a cosecha del maíz, originadas por el estrés hídrico, no se registran al momento de la cosecha del raigrás. La cantidad de N proveniente del fertilizante inmovilizado en la fracción orgánica se redujo en ambos tratamientos, con respecto a lo encontrado a cosecha del maíz. A partir de los contenidos del fertilizante en la fracción orgánica a cosecha de los dos cultivos realizados (maíz y raigrás) se estimó la mineralización aparente de dicha fracción. Durante el ciclo del raigrás se mineralizó en promedio el 47% del N proveniente del fertilizante encontrado a cosecha del maíz en forma orgánica. Este valor es un orden de magnitud superior a la

mineralización encontrada para la fracción orgánica total en la región pampeana (Álvarez y Steinbach, 2006). Posiblemente esto se deba a que el fertilizante aplicado al maíz quedó retenido en las fracciones más lábiles de la materia orgánica, siendo, por lo tanto, más susceptibles a mineralizarse a una tasa alta (Álvarez y Álvarez, 2000). Por lo tanto, la retención del N aplicado por fertilización en esta fracción, podría atenuar la lixiviación sólo en un corto plazo. Las altas tasas de mineralización encontradas muestran que este nitrógeno se liberaría rápidamente, dejándolo susceptible a lixiviar.

El contenido de nitratos solo mostró diferencias entre tratamientos en los primeros 30 cm del perfil, siendo mayor en las parcelas en donde el maíz había sido estresado hídricamente, no estando afectado por la presencia o no del CC. El suelo cubierto con el CC presentó semejante concentración de nitratos que el suelo desnudo. Estos resultados no coinciden con los encontrados en otros trabajos, inclusive desarrollados en nuestro país. Por ejemplo, Quiroga et al., (1999) determinaron entre 70 y 83% menos nitratos después de un verdeo de invierno (que se asemeja a un CC) en relación con el suelo descubierto, a la siembra de girasol, cuyo antecesor fue maíz. Por su parte, Álvarez y Scianca, (2006), encontraron valores de 55,1 y 13,9 kg N-NO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> en el suelo a la siembra de soja, con el suelo descubierto o con raigrás, como CC, respectivamente. La principal diferencia con el presente experimento es que en los trabajos mencionados no se registraron precipitaciones importantes previas al muestreo de suelo. Como se aprecia en la Figura 1, el mes previo a la finalización del presente experimento existieron precipitaciones muy abundantes (277 mm en el mes) y, además, con altas intensidades: 90 mm en un día. Estas precipitaciones pueden haber desplazado los nitratos residuales hacia capas del suelo más profundas, principalmente en el tratamiento sin cobertura, lixivándolos. Willumsen y Thorup-Kristensen, (2001), analizando el comportamiento de un CC a lo largo de dos años, con precipitaciones contrastantes, encontraron resultados que coinciden con los encontrados en el presente experimento y los provenientes de Quiroga et al., (1999) y Álvarez y Scianca, (2006): luego de un período húmedo. Willumsen y Thorup-Kristensen, (2001) no registraron diferen-

cias en el contenido de nitratos residuales entre parcelas con CC o suelo desnudo, atribuyéndolo a las pérdidas de los nitratos por la lixiviación en el suelo sin cobertura. Por otro lado, luego de un año seco, observaron pocos nitratos perdidos por lixiviación durante el invierno y mayores niveles de nitratos en el tratamiento sin CC. De esta forma el CC cumplió con su objetivo, actuando como una trampa eficiente para evitar que los nitratos residuales se pierdan.

La suma de la fracción retenida en planta más los nitratos remanentes en suelo en nuestro caso, muestra que en el tratamiento con CC se acumuló significativamente ( $p < 0,001$ ) más N que si el suelo quedaba descubierto durante el barbecho (130 vs. 51 kg N ha<sup>-1</sup>). El N derivado del fertilizante en estas fracciones (nitratos residuales + planta) fue significativamente mayor cuando hubo CC ( $p = 0,03$ ). Resultados similares fueron encontrados por Scianca et al., (2009) utilizando centeno como CC. Cabe considerar que cuando se incluye el N presente en la fracción orgánica del suelo, no se encontraron diferencias significativas en el N retenido en el sistema suelo-planta entre los niveles agua, impuestos al maíz, y raigrás. Esto posiblemente se deba a la magnitud del componente orgánico, que diluye los otros destinos. Por lo tanto, el panorama sería más complejo que lo previsto en función de los resultados de la literatura y lo previsto cuando se formuló el presente trabajo: la acumulación de N en el raigrás contribuye a reducir el riesgo de lixiviación del exceso de nitratos luego de una situación de estrés hídrico en el maíz antecesor, pero el N del fertilizante acumulado en la fracción orgánica del suelo se mineraliza a una tasa muy alta, con lo que su aporte a la retención de N puede ser de muy corto plazo.

En definitiva, el N que es retenido en la materia orgánica al finalizar el cultivo, o el que es retenido por la biomasa de un CC son formas de inmovilizar nitratos, evitando su lixiviación. Sin embargo, lo anterior es un efecto de corto plazo: rápidamente el N retenido se mineraliza y así puede, de todos modos, perderse por lixiviación. Esto ocurre si no existe una sincronización entre la liberación del N mineralizado y la absorción del mismo por vegetación (pudiendo ser cultivos, de interés económico o de cobertura, o malezas), además de existir precipitaciones que facilitan su desplazamiento. Estos resultados alertan acerca de las

limitaciones que posee esta tecnología de manejo del N del suelo y el riesgo de aplicar ideas generales a situaciones específicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez R y CR Álvarez. 2000. Soil Organic Matter Pools and Their Associations with Carbon Mineralization Kinetics. *Soil Science Society of America Journal* 64: 184-189.
- Álvarez C y C Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. *Jornada Profesional Agrícola* 2006.
- Álvarez R y HS Steinbach. 2006. Liberación de nitrógeno de residuos y mineralización de nitrógeno del humos. En: *Materia Orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos*, Editorial Facultad de Agronomía. 123-136.
- Andriulo A, C Ferreira, C Sasal, MLR de Galetto, F Abrego, M Bueno, F Rimatori MA de la Cruz, MDV Venancio y R Giacosa. 2000. Nitratos en el agua subterránea del Partido de Pergamino. Efecto a largo plazo de la agricultura continua y a corto plazo de la producción intensiva de granos. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Abril del 2000. Actas en CD.
- Berntsen J, JE Olesen, BM Petersen y EM Hansen. 2006. Long-term fate of nitrogen uptake in catch crops. *Europ. J. Agronomy* 25: 383-390
- Bremner JM y CS Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. En: Page AL (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Wisconsin. USA.* pp: 595-622.
- Clark A. 2007. Managing cover crops profitably, *Handbook Series Book 9* (3rd ed.), Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD. 246 p.
- Costa JL, H Massone, D Martínez, EE Suero, CM Vidal y F Bedmar. 2002. Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agric. Water Manag.* 57: 33-47.
- De Battista JJ y N Arias. 2009. Cultivos de cobertura: Efecto de la duración del barbecho sobre el aporte de rastrojo y rendimiento de soja. *Boletín técnico. EEA Concepción del Uruguay. Serie producción vegetal. N°50:* 81-85.
- Fernández R, D Funaro y A Quiroga. 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.*
- Fiedler R y G Prokch. 1985. The determination of  $^{15}\text{N}$  by emission and mass spectrometry in biological analysis: A review. *Anal. Chim. Acta* 78: 1-62.
- Hansen EM, K Kristensen y J Djurhuus. 2000. Yield Parameters as Affected by Introduction or Discontinuation of Catch Crop Use. *Agron. J.* 92:909-914
- Hooker KV, CE Coxon, R Hackett, LE Kirwan, E O'Keeff y KG Richards. 2008. Evaluation of Cover Crop and Reduced Cultivation for Reducing Nitrate Leaching in Ireland. *Journal of Environmental Quality* 37: 138-145.
- Macdonald AJ, PR Poulton, MT Howe, KWT Goulding y DS Powlson. 2005. The use of cover crops in cereal-based cropping systems to control nitrate leaching in SE England. *Plant and Soil* 273: 355-373
- Penman HL. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. Roy. Soc. London A* 193:120-146.
- Portela SI, AE Andriulo, MC Sasal, B Mary y EG Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas:  $^{15}\text{N}$  application in field lysimeters. *Plant Soil* 289, 265-277.
- Quiroga A, O Ormeño, A Bono, N Rodríguez, J Montoya y F Babinec. 1999. Aspectos del manejo de suelo y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. *Bol. Tec. N° 63 EEA Anguil.*
- Rimski-Korsakov H, G Rubio y RS Lavado. 2004. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the Pampas Region, Argentina. *Agric. Water Manag.* 65: 83-94.
- Rimski-Korsakov H, G Rubio y RS Lavado. 2009. Effect of Water Stress in Maize Crop Production and Nitrogen Fertilizer Fate. *Journal of Plant Nutrition* 32: 565-578,
- Ritchie SW y JJ Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames Iowa. Sp report N° 48.
- Ritter WF, RW Scarborough y AEM Chirnside. 1998. Winter cover crops as a best management practice for reducing nitrogen leaching. *Journal of Contaminant Hydrology* 34: 1-15.
- Scianca C, M Barraco y C Álvarez. 2009. Estrategia de manejo de centeno utilizado como cultivo de cobertura en un argiudol típico del Noroeste bonaerense. *EEA INTA General Villagas. Memoria Técnica 2008-2009:* 25-29.
- Sparks DL, AL Page, PA Helmke, RA Loeppert, PN Soltanpour, MA Tabatabai, CT Johnston y ME Sumner (Eds). 1996. *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods.* 3rd edn, ASA Madison Wisconsin.
- Thorup-Kristensen K, J Magid y LS Jensen. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy* 79: 227-302.
- Videla C. 2007. Utilización de  $^{15}\text{N}$  en estudios de flujos brutos de nitrógeno en el suelo. En: *Isótopos estables en agroecosistemas.* Lazzari, MA y C Videla (Eds). pp: 33-40.
- Willumsen J y K Thorup-Kristensen. 2001. Effects of green manure crops on soil mineral nitrogen available for organic production of onion and white cabbage in two contrasting years. *Biological Agriculture and Horticulture* 18: 365-384.

## Sistemas de cultivos de cobertura de suelo de otoño-invierno: sus efectos sobre la disponibilidad de agua

### INTRODUCCIÓN

Para muchos suelos agrícolas los cultivos de cobertura (CC) ofrecen el solo significado práctico de suministrar la materia orgánica (MO) necesaria para mantener el suelo en un alto estado de productividad. La MO hace al suelo más friable, mejora su capacidad de laboreo y facilita la captación del agua. La MO se descompone y provee nitrógeno y otros nutrientes al suelo para los cultivos subsiguientes. Los microorganismos del suelo que se benefician de la descomposición de los residuos de los CC, contribuyen a dar una mayor salud al ecosistema. El CC protege el suelo de los agentes degradantes (precipitaciones, vientos) mientras desarrolla su ciclo vegetativo. Una vez que se suprime el crecimiento, sea mediante métodos mecánicos (corte o aplastado) o bien químicos (herbicida) se lo mantiene en superficie sin incorporar continuando su efecto protector del suelo. En cuanto al balance de agua en algunos ambientes no interesaría mucho el menor contenido de humedad al suspender el crecimiento ya que un suelo con CC es más eficiente en captar el agua de lluvia de la primavera, por lo que en relación con el barbecho desnudo se minimizan diferencias en la disponibilidad de agua (Cordone et al., 1986). La agricultura permanente, bajo las actuales condiciones de manejo, ha producido una disminución del contenido de MO de los suelos y en consecuencia, una aceleración de su degradación. Ante esta situación, resulta prioritario el desarrollo de tecnologías que restituyan fertilidad y mitiguen el deterioro físico de los suelos agrícolas pampeanos y en especial los suelos con aptitud agrícola de Coronel Suárez que comienzan a sufrir los efectos negativos de una alta fre-

cuencia del monocultivo de Soja o Trigo/Soja

La utilización de leguminosas y/o gramíneas invernales como CC, contribuirían junto con la siembra directa (SD), a mitigar en parte los problemas que afectan a los suelos del área. Las leguminosas invernales podrían restituir nitrógeno a través de la fijación biológica y, junto con las gramíneas, realizar un aporte adicional de MO. Además, los restos vegetales de estos cultivos, cuando son manejados superficialmente, constituyen excelentes coberturas que podrían disminuir las pérdidas de agua por escurrimiento y evaporación. De esta manera, se puede contrarrestar la persistente acción de la erosión hídrica y aumentar la eficiencia en el uso del agua (Cordone y Hansen, 1984).

La matriz de suelo está constituida por una fase sólida, (partículas minerales y material orgánico), otra fase porosa ocupada por gases y por agua con sustancias en disolución. Las fases gaseosas y líquidas se complementan ampliando o disminuyendo su tamaño de acuerdo al estado hídrico del suelo, dependiendo de la textura y estructura del mismo (Sánchez, 2001). Los avances y retrocesos del agua en el espacio poroso del suelo se conocen como proceso de humedecimiento y secado, definen la dinámica del agua durante el ciclo del cultivo, siendo esto parte del objetivo de estudio de este trabajo.

Para evaluar convenientemente la influencia de los CC sobre la disponibilidad de agua (costo hídrico en la generación de biomasa) resulta necesario considerar la capacidad de almacenaje de agua de los suelos. Este aspecto es particularmente importante ya que define de alguna manera el periodo necesario para la recarga del perfil (fecha de secado del CC).

Además otro de los factores que incide es la fecha de siembra del cultivo sucesor, por ejemplo para siembras de maíz (principios octubre) los CC deberían finalizar la extracción de agua antes que para siembras de soja o sorgo (principios noviembre). Resultados de experiencias obtenidos por Quiroga et al., (2009) en los últimos 5 años muestran que las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC variaron entre 30 y 100 mm. En un análisis preliminar podría concluirse que los CC tienen un efecto negativo para el cultivo siguiente. Sin embargo, Quiroga et al., (2009) concluyeron que si consideramos que las precipitaciones durante el periodo evaluado fueron de 220 mm, las que sumadas al contenido inicial de agua (190 mm) dan una lámina total de 410 mm, es evidente que la mayor parte de la misma no puede ser almacenada en los primeros 140 cm del perfil. De esta manera se comprueba que el tratamiento testigo finalizó con 207 mm de los 410 mm que potencialmente podría haber almacenado. Es decir que 203 mm no fueron almacenados en el perfil. Por lo tanto de los 233 mm de uso consuntivo del CC, 203 mm deben ser descontados y consecuentemente el costo hídrico para el cultivo de verano siguiente resultaría de 30 mm (Fernández y Quiroga, 2009).

Estos resultados resultan coincidentes con los obtenidos en distintos ambientes (Gral. Villegas, 30 de Agosto, Coronel Suárez, Gral. Pinto, etc.) donde se han evaluado los efectos de la inclusión de CC (Álvarez et al., 2006; Carfagno et al., 2008; Sá Pereira et al., 2008; Scianca et al., 2008).

La mayor participación de cultivos de verano en la zona de Coronel Suárez, centro del sudoeste bonaerense en la región subhúmeda pampeana, principalmente soja y girasol han dado lugar a una importante reducción en el aporte de residuos. Intercalar cultivos invernales como CC podría ser una alternativa para proveer de residuos ricos en carbono, promover el desarrollo y el mantenimiento de la cobertura de los suelos. Sin embargo, su consumo hídrico durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002). Evidentemente, el resultado final dependerá de la dinámica del agua durante el período CC - cultivo de cosecha, la que puede ser extremadamente variable. Una forma de tener herramientas de evaluación que permitan extrapolar los resultados es con la aplicación de modelos matemáticos de simulación de

los cambios del agua en el suelo.

En virtud de lo anteriormente planteado, y como parte de una tesis de postgrado, se instalaron una serie de experimentos con los objetivos de evaluar el costo hídrico a la siembra del cultivo de verano al introducir previamente un CC y de simular la dinámica del agua a lo largo del ciclo de ambos cultivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las experiencias se realizaron en sistemas mixtos de producción del área de influencia de Coronel Suárez, donde durante las campañas 2005/08 se instalaron cinco ensayos. El clima se clasifica como templado a moderadamente frío, con heladas de hasta  $-10^{\circ}\text{C}$ , con precipitaciones media anual de 770 mm y temperatura media anual de  $14^{\circ}\text{C}$ . Los suelos clasifican como Argiudoles típicos, presentando secuencia de horizontes A<sub>1</sub> (A<sub>p</sub> + A<sub>12</sub>)- B<sub>1</sub>- B<sub>2t</sub> y B<sub>3</sub> de textura franca a franco-arcillosa.

Las especies utilizadas como CC de inviernos fueron: Avena (*Avena sativa*), Vicia (*Vicia sativa*), Trébol pastoreo "Laser" (*Trifolium resuspiratum*), Trébol cobertura "Leithering" (*Trifolium resuspiratum*), (*Avena sativa* + *Vicia sativa*) y un testigo (Barbecho químico). Todos los ensayos se sembraron bajo el sistema de SD. La densidad de siembra fue de 40 Kg/ha. para vicia, 12 Kg ha<sup>-1</sup> trébol, 100 Kg ha<sup>-1</sup>, avena y (50 + 50 Kg ha<sup>-1</sup>) de avena + vicia. Los tratamientos fueron dispuestos en bloques al azar con tres repeticiones y en parcelas de 150 m<sup>2</sup>.

La supresión del crecimiento de los CC de otoño/invierno en la campaña 2006/07 fue realizada 239 días después de la siembra. La misma se realizó con rolo "faca" y herbicida glifosato + 2,4D a una dosis de (4l ha<sup>-1</sup> + 500 c<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Se realizaron dos cortes de evaluación a los 122 y 226 días de la siembra en la campaña, ya que los cultivos debieron soportar 90 heladas durante el otoño-invierno y parte de la primavera. En los momentos de evaluación final la avena se encontraba en estado de plena floración y la vicia en inicio de floración.

Se determinó la humedad a la siembra y finalización de los CC, y a la siembra y cosecha del cultivo de maíz. En todos los casos se tomaron tres repeticiones. Se utilizó para ello el método gravimétrico realizando determinaciones hasta los 80 cm del perfil a intervalos de 20 cm.

Se registraron las precipitaciones diarias y decádicas en cada sitio y durante los tres años que se condujeron, desde la siembra de los CC hasta la cosecha del cultivo de maíz sucesor. Se confeccionaron gráficos de precipitación acumulada y decádica en cada período de tiempo en que permaneció la sucesión de cultivos estudiados (CC/Maíz). Se realizaron comparaciones de las precipitaciones acumuladas y decádicas de cada año con las históricas y el cálculo de las probabilidades de excedencia de precipitaciones en períodos desde la siembra de los CC hasta su supresión y dentro del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (Scian, 2003), con parámetros estimados mediante la aproximación de Thom (1958).

Se realizó una estimación del balance diario de agua, calculando el contenido de AU en el suelo a lo largo del año, en base a la necesidad teórica de agua de los CC, a la capacidad de retención de agua útil del suelo y a las precipitaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los registros en cada sitio experimental de precipitaciones mensuales y decádicos desde la siembra de los CC, (marzo y abril) hasta los meses de abril y mayo del año siguiente al momento de la cosecha del maíz y las precipitaciones acumuladas durante el ciclo CC-maíz son presentados en la Figura 1.

## Distribución Gamma

A modo de interpretar mejor la información de la Figura 2 se trazó una línea que indica el 80% de probabilidad de exceso de precipitaciones comprobándose que las mismas superan los 233 mm en el período de noviembre a mayo (ciclo del maíz), 169 mm de marzo a octubre (período de crecimiento de los CC), 111 mm de noviembre a enero (siembra a floración) y 67 mm de agosto a octubre (período de recarga del perfil previo a la siembra del siguiente cultivo de maíz), siendo estos dos últimos periodos fundamentales para la recarga del perfil del suelo y posterior período crítico del maíz.

Cuando se analizan las precipitaciones promedio para esos mismos períodos en los 5 sitios experimentales y los 3 años evaluados, las mimas ascienden a: 512 mm (marzo a octubre), 534 (noviembre a mayo), 260 mm (agosto a octubre) y 254 mm (noviembre a enero) confirmándose el nivel de probabilidad obtenida con el modelo de distribución gamma (Scian 2003).

Las lluvias durante el periodo de crecimiento del los CC en el año 2006 superaron la capacidad de almacenamiento del suelo ( $120\text{mm m}^{-1}$ ), originando un exceso que pudo favorecer la pérdida de nutrientes y mantener la humedad del suelo en valores cercanos a la capacidad de campo (Figura 4 a y b). La pérdida de eficiencia en la producción de grano y los mayores requerimientos de N para

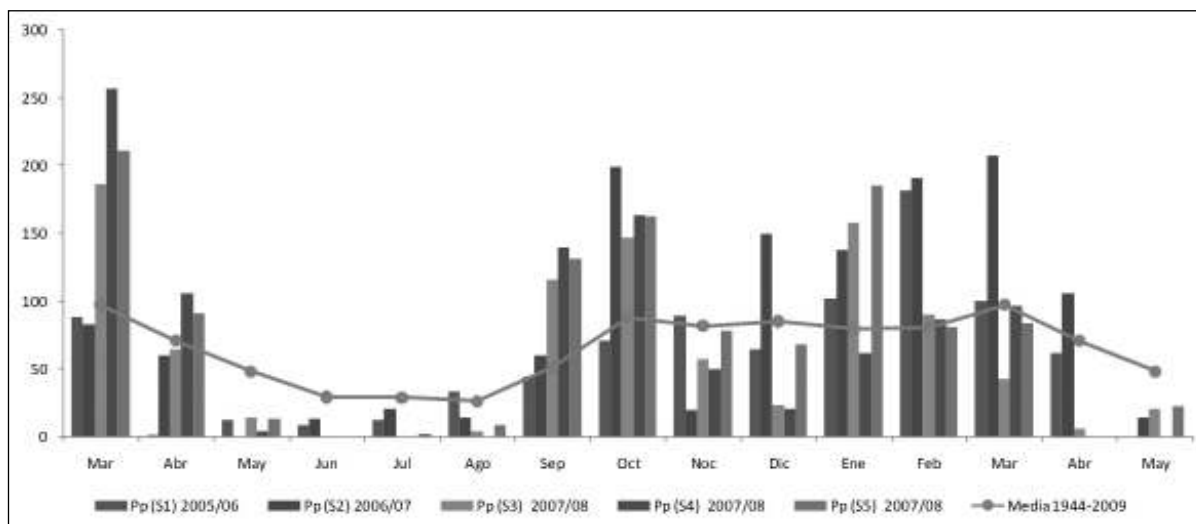
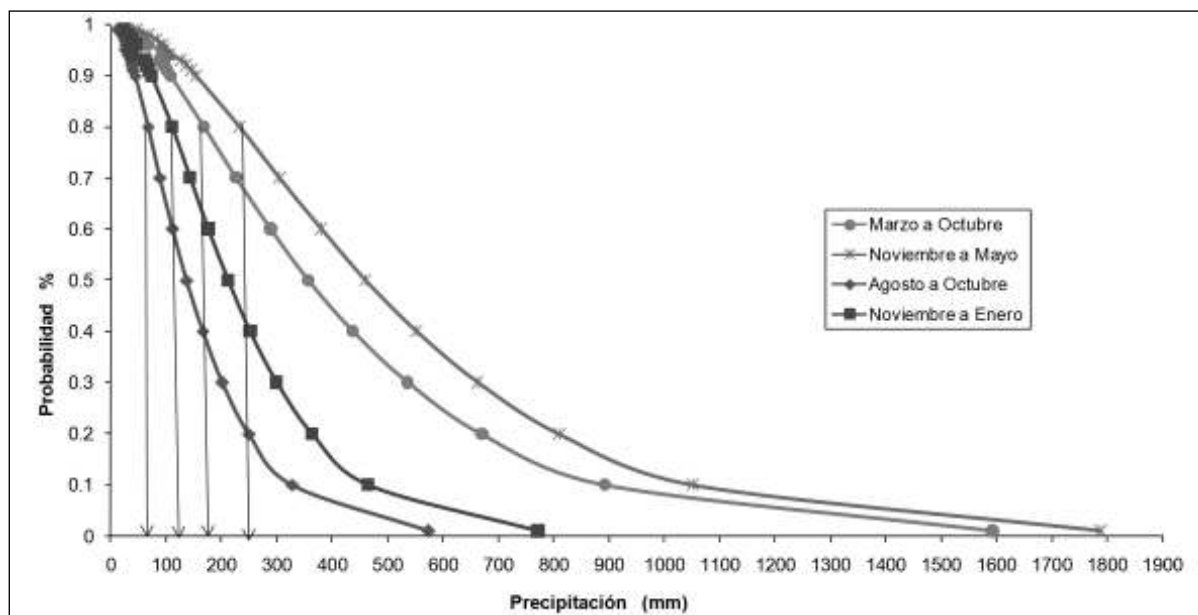


Figura 1. Precipitaciones medias mensuales durante los años 2005, 2006 y 2007 correspondientes a los sitios ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  y  $S_5$ ) de estudio. Promedio histórico obtenido de la Aerostación Meteorológica Coronel Suárez.



**Figura 2.** Probabilidad de exceso de precipitaciones para los periodos (marzo-octubre), (noviembre-mayo), (agosto-octubre) y (noviembre-enero). Promedio (1944 - 2009) obtenidos de la Aerostación Meteorológica Coronel Suárez.

producir una tonelada de grano estaría sugiriendo pérdidas de N, sea por lixiviación o desnitrificación.

En la Figura 3 se puede observar la dinámica del agua en el suelo para los distintos CC como antecesores del maíz durante todo el ciclo de la sucesión. También es importante destacar que los valores de humedad observados están muy próximos a los calculados.

Según Fernández y Quiroga, (2009) para evaluar convenientemente la influencia de los CC sobre la disponibilidad de agua (costo hídrico en la generación de biomasa) resulta necesario considerar el CRA de los suelos. Este aspecto es particularmente importante ya que define de alguna manera el periodo necesario para la recarga del perfil (fin del CC). Además, otro de los factores que incide es la fecha de siembra del cultivo sucesor, por ejemplo para la siembras de maíz (principios octubre) los CC deberían finalizar la extracción de agua antes que para siembras de soja o sorgo (principios noviembre).

Estos resultados son coincidente con los obtenidos por Cordone et al., (1986) y Quiroga et al., (2009), donde los CC no afectaron de modo significativo la disponibilidad de agua en el suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz. Analizando la dotación hídrica en el suelo a diferentes profundidades tampoco se observaron

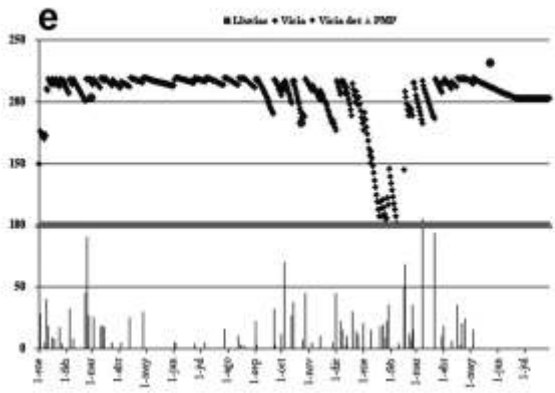
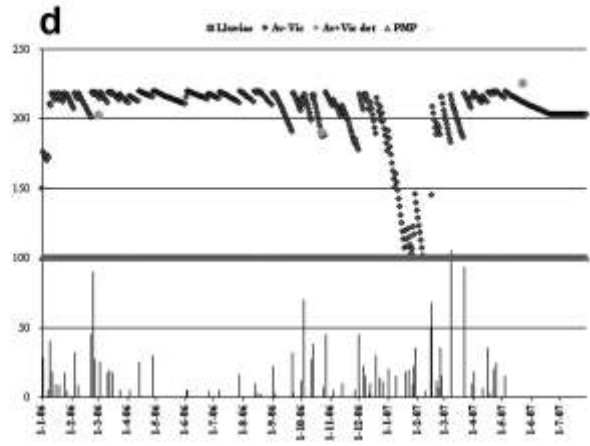
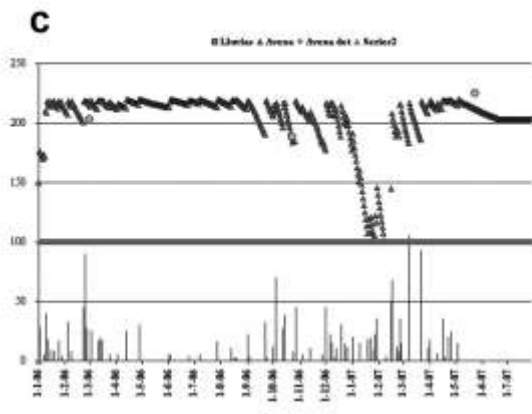
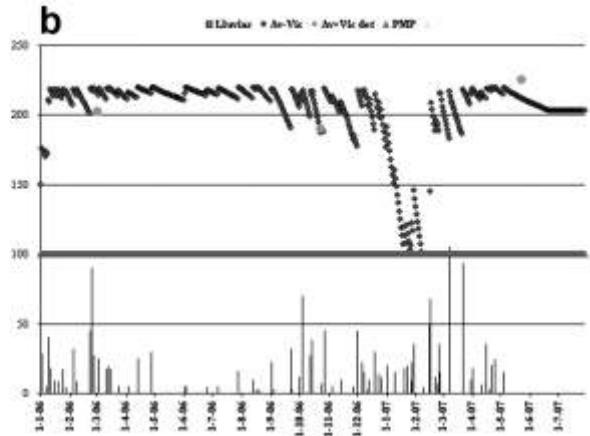
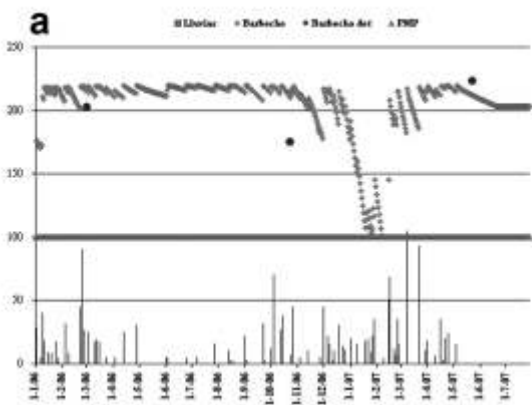
diferencias en todos los CC con respecto al testigo (Figura 4a) en el año 2006/07. En cuanto al porcentaje de agua disponible a la siembra de maíz con los diferentes CC fue de 70,6% contra 62,4% en el testigo con antecesor barbecho largo (Figura 4 a).

Esta nuevamente confirma los resultados obtenidos por Cordone et al. 1986 y se observó un resultado inverso al obtenido en el año 2005 para la misma fecha, los mismos antecesores y con una acumulado de precipitaciones significativamente menor al año 2006. Esto nos confirma resultados previos (Sá Pereira et al., 2003), en donde en años seco o húmedos las precipitaciones de la primavera alcanzarían para recargar el perfil del suelo llegando a un 70% de su agua útil disponible para el cultivo posterior de maíz.

Si observamos la Figura 4, la acumulación agua total en mm en las diferentes profundidades evaluadas vemos que con antecesores CC hubo una mayor captación de agua al momento de la siembra de cultivo de maíz respecto al testigo barbecho largo. En las profundidades de 0-20, 40-60, 60-80 cm los CC tuvieron un 23, 9 y 3% respectivamente superior al testigo y este solo superó a los CC en la profundidad de 20 a 40 cm en un 10% (Figura 4 b).

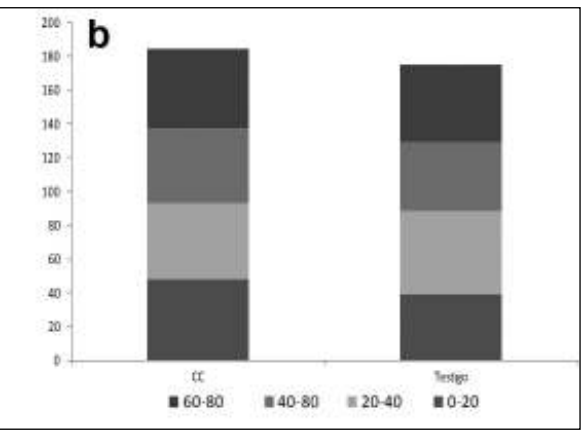
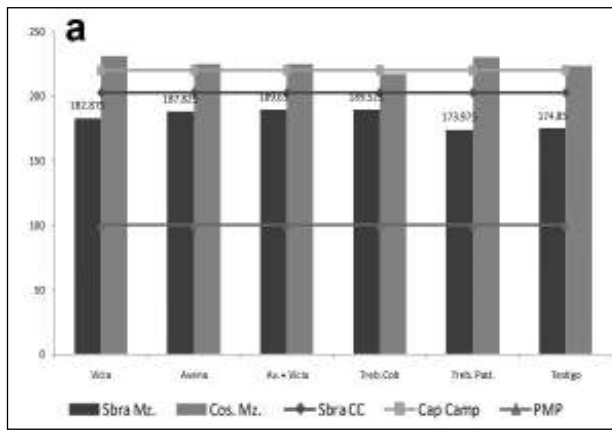
Los resultados obtenidos en el año 2006, en cuanto a las precipitaciones acumuladas, mues-

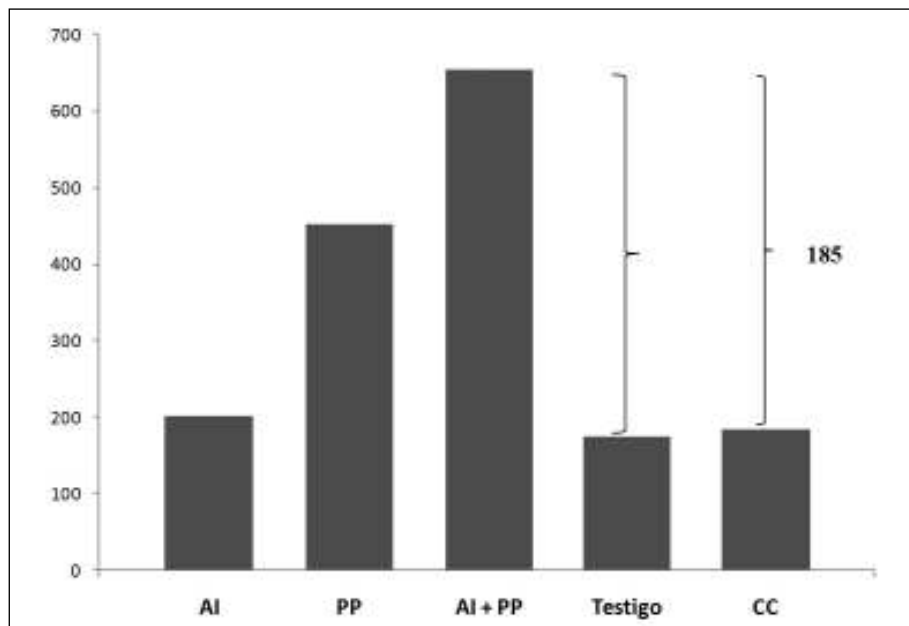




**Figura 3.** Dinámica de agua total en el suelo calculada y determinada el año 2006/07. (Datos expresados en mm). a) Vicia, b) Avena, c) Trébol, d) Avena + Vicia y e) Testigo (barbecho).

**Figura 4.** (a) Contenido de agua en el suelo en mm (0-80 cm) para los diferentes CC, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. (PMP) antecesores de maíz para el año 2006. (b) Contenido de agua total por profundidades para CC y testigo.





**Figura 5.** Contenido inicial de agua, precipitaciones y uso consuntivo del CC en el Sitio 1. AI: agua inicial, PP: precipitaciones, (AI + PP), Testigo y los diferentes CC. Año 2006.

tran que las diferencias en los contenidos finales de agua entre el testigo y los CC fueron de 10 mm (Figura 4 a). En un análisis preliminar podría concluirse que los CC no tienen un efecto negativo para el cultivo siguiente. Sin embargo, si consideramos que las precipitaciones durante el periodo evaluado fueron de 452 mm, para el año 2006, las que sumadas al contenido inicial de agua (203 mm) dan una lámina total de 655 mm, es evidente que la mayor parte de la misma no puede ser almacenada en los primeros 80 cm del perfil para el año 2006. De esta manera se comprueba que el tratamiento testigo finalizó con 175 mm de los 655 mm que potencialmente podría haber almacenado (Figura 5). Es decir de los 470 mm de uso consuntivo de los CC, 480 mm deben ser descontados y en consecuencia no solo que no existió ningún costo hídrico para el cultivo de maíz sino que los CC acumularon 10 mm más de agua en el perfil de suelo comparado con el testigo (Figura 5).

Según Galarce, (2009) (comunicación personal), en la Regional Aapresid de Vicuña Maquena, la inclusión de CC, en suelos Haplustoles énticos, está tomando gran interés e importancia en sus sistemas de producción.

Los resultados obtenidos en estas experiencias durante las campañas 2005/06, 2006/07 y 2007/08 confirman los obtenidos por Galarce, (2009) en cuanto a la eficiencia, acumulación y consumo de agua en Coronel Suárez-SO Bonaerense perteneciente a la región sub-húme-

da pampeana con suelos Argiudoles típicos, con un régimen de precipitaciones superior y con una capacidad de almacenaje de agua total de 180 a 220 mm a un metro de profundidad.

## CONCLUSIONES

Para los cinco ensayos evaluados en el área de Coronel Suárez los CC no produjeron un efecto negativo sobre los rendimientos del cultivo maíz siguiente.

El simple balance diario de agua en el suelo, junto con el estudio de probabilidad de ocurrencias de las lluvias y la capacidad de almacenamiento de agua de cada suelo, pueden ser herramientas útiles al momento de definir tanto la factibilidad de la implantación de CC como la fecha más adecuada para suspender su crecimiento

El estado de porosidad del suelo y la cantidad y calidad de la cobertura dejados por los diferentes CC luego de la supresión de su crecimiento y al momento de la siembra del maíz, deberían formar parte de futuras líneas de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez C, Barraco M, Díaz-Zorita M y C Scianca. 2006. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. XX Congreso AACs, Salta. CD ROM.

- Carfagno P, Eiza M, Quiroga A y F Babinec. 2008. Cultivos de cobertura: Efecto sobre la dinámica del agua en el suelo. XXI Congreso AACS, San Luís. CD ROM.
  - Cordone G, y O Hansen. 1986 Los abonos verdes y el efecto sobre el rendimiento. Carpeta de Maíz. EERA-Pergamino. CVP Nº 77.
  - Cordone G, y W. Hansen. 1984 Utilización de cultivos invernales como abonos verdes o cobertura en la producción de maíz. Carpeta de Producción Vegetal. Maíz. Información Nº 64. INTA Pergamino. 6 p
  - Duarte G. 2002. Manual práctico para el cultivo de girasol. Ed. Díaz-Zorita M. y Duarte G.
  - Fernández R, y A Quiroga. 2009. Cultivos de cobertura. Costo hídrico de su inclusión en sistemas mixtos. Jornadas Cultivos de Cobertura. UNS-CERZOS-CRIBABB - Bahía Blanca. 2 p
  - Quiroga A, Fernández R, Frasier I y C Scianca. 2009. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. Jornadas Cultivos de Cobertura. UNS-CERZOS-CRIBABB – Bahía Blanca -Agosto 2009. 16 p
  - Sá Pereira E, A Quiroga y J Galantini. 2008. Posibilidades de utilización de gramíneas y leguminosas invernales como cultivos de cobertura. VII Congreso Nacional Trigo y V Simposio Cereales Otoño Invernales, Santa Rosa.
  - Scianca C, Álvarez C, Barraco M, Quiroga A y P Zalba. 2006. Cultivos de cobertura. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. XX Congreso AACS, Salta. CD ROM
  - Scian B. 2003. Distribución teórica Apuntes de clase Meteorología. Dto. Agronomía-Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
-

Mónica Fabiola Boccolini, Bethania Aimetta, Cristian Cazorla y Belén Conde

## Efecto del residuo de vicia (*Vicia sativa* L.) sobre el potencial de nitrificación del suelo

### INTRODUCCIÓN

Los cultivos de cobertura (CC) han sido utilizados tradicionalmente para controlar la erosión pero pueden cumplir múltiples funciones en el sistema de producción, como reducir la compactación, minimizar la lixiviación de nitratos residuales, incrementar el contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) del suelo, controlar malezas y aportar N mineral al cultivo siguiente. En zonas templadas, las especies más utilizadas son fundamentalmente de las familias de las gramíneas y leguminosas. Las leguminosas mejor adaptadas en la zona pampeana, son las vicias: vicia villosa y vicia sativa y los tréboles (Ruffo y Parsons, 2004). Con la elevada participación de cultivos estivales en los agrosistemas, los rastrojos son la única fuente de energía para los microorganismos del suelo (Bolger et al., 2001).

El aporte de N desde los residuos afecta la actividad enzimática de los microorganismos que intervienen en el proceso de mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo. Los residuos con baja relación C/N, como los de las leguminosas, entregan más rápidamente el N al suelo, aumentando la disponibilidad para los microorganismos y posteriormente al cultivo (Gliessman, 2002). Como los residuos de cultivos son un importante componente de la fracción orgánica activa del suelo (Galantini y Suñer, 2008), es decir, de la materia orgánica particulada (MOP), el contenido de C, N y la relación C/N de la misma están fuertemente afectados por la relación C/N y el contenido de N del residuo vegetal (Bending, 1999). De esta manera, la cantidad de N disponible en el suelo depende del proceso de mineralización, principalmente de la nitrificación de la MO y de los residuos de cultivos (Cabrera, 2007). El poten-

cial de nitrificación (PN) representa la máxima capacidad de la población de bacterias nitrificantes del suelo para transformar el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Fortuna et al., 2003; Kowalchuk y Stephen, 2001). Por lo tanto, refleja la disponibilidad de sustrato del suelo para estas bacterias. El PN es sensible a los cambios en el manejo y proporciona rápida información sobre la tasa de nitrificación in situ (Fortuna et al., 2003). Algunas prácticas de manejo aumentan los niveles de  $\text{NH}_3^+$  en el suelo provocando incrementos en el PN, como la fertilización y los residuos con baja relación C/N (Fortuna et al., 2003).

Existen numerosos estudios realizados en la región pampeana (Baigorria y Cazorla, 2009; Barraco et al., 2009; Fargioni et al., 2009) sobre el rol de los CC en el rendimiento de distintos cultivos estivales, pero no se han reportado trabajos que caractericen específicamente el impacto sobre el ciclo del nitrógeno y las modificaciones en el suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de vicia como CC sobre la actividad potencial nitrificante del suelo.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Marcos Juárez en la Provincia de Córdoba. El clima presenta una temperatura media anual de  $16,9^\circ\text{C}$  con una precipitación media anual de 894 mm. El suelo es un Argiudol típico, oscuro, profundo y bien drenado con textura franco limosa ligeramente ácido (pH 6.4) y con 3,26 % de MO (INTA, 1978). El estudio se realizó en un ensayo iniciado en 2008 que tiene una rotación maíz-soja con tres repeticiones y la inclusión de un CC como vicia sativa (L). Los tratamientos fueron vicia (V) sem-

brada luego de maíz y un testigo, barbecho (B) ambos fertilizados con 11 Kg P ha<sup>-1</sup> (52 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 5,5 Kg N ha<sup>-1</sup> (11% NT). Se recolectaron un total de 18 muestras de suelo en tres momentos de muestreo: previo a la siembra de soja (PS) (en la etapa de floración del CC), en floración (F) y en postcosecha (PC) de soja, estas últimas con residuos en superficie de V y soja respectivamente. Las muestras de suelo fueron recolectadas con barreno de 7.5 cm de diámetro a 0-5 cm de profundidad. Conjuntamente fueron extraídas muestras de residuos con aro de ¼ de metro cuadrado. En el procesamiento, las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente por 24 h como mínimo y tamizadas por 4 mm para la medición de la actividad potencial y por 2 mm para el resto de las determinaciones. Previamente al secado fueron extraídos aproximadamente 50 g de suelo por muestra para la determinación del contenido de humedad. Mediante el método propuesto por Cambardella y Elliott, (1992) se fraccionó la MOP del suelo en dos tamaños de partícula 53 y 106 µm con tamizador ultrasónico SPARTAN. Las muestras de rastrojos fueron secadas a 60° hasta peso constante. Posteriormente las muestras de MOP de 106 µm y rastrojos fueron molidas y tamizadas por 0,5 µm y se les determinó el contenido de N total (Dumas, 1831 citado de Bremner, 1996) y C total (Allison et al., 1965 citado de Nelson y

Sommers, 1996) con equipo LECO TRUSPEC CN.

En laboratorio se determinó el potencial de nitrificación de suelo neto (PNN) y por día (PND) según (Hart et al., 1994 citado de Drury et al., 2008) en el cual una muestra de suelo se incubaba con 1 mM de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (sulfato de amonio) a 25 °C y en condiciones óptimas de aireación. Posteriormente se realiza la extracción de los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> generados en intervalos regulares de tiempo a las 0, 2, 6, 12, 22 y 24 h. Luego éstos son cuantificados mediante el método del Ácido Fenoldisulfónico según Bremner (1965). El PNN se calculó como la diferencia entre los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> generados a las 24 h y los iniciales en la muestra. El PND se estimó a partir de la pendiente obtenida del contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la muestra en cada intervalo tiempo regular. Tanto en PNN como en PND los NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fueron expresados como N de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Kg<sup>-1</sup> suelo (N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Kg).

Para el análisis estadístico de los resultados se aplicó el método univariado (ANAVA) del paquete estadístico INFOSTAT (2009). Cuando se detectaron diferencias significativas en las variables medidas, se aplicó la prueba de comparación de medias mediante LSD Fisher. Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables químicas y la actividad potencial neta y por día. Para el cálculo del PND se aplicó Análisis de Regresión Lineal.

**Tabla 1:** Potencial de nitrificación (neto y por hora), propiedades químicas del suelo bajo vicia y barbecho y en pre-siembra (PS), floración (F) y postcosecha (PC) del cultivo de soja. Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05)

EFECTO	PNN (mg N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Kg <sup>-1</sup> s en 24 h)	PND (mg N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Kg <sup>-1</sup> s. d <sup>-1</sup> )	RESIDUOS		MOP			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
			C/N	N (g. Kg <sup>-1</sup> )	C/N	N (g. Kg <sup>-1</sup> )	Fracción (g. Kg <sup>-1</sup> )	
PS	15,56ab	14,88a	40,66c	9,75a	14,21a	0,33b	21,13b	60,89a
F	13,92a	14,80a	24,67b	16,03b	15,29c	0,25 <sup>a</sup>	15,53a	52,58a
PC	17,51b	13,76a	19,79a	15,98b	14,72b	0,30ab	16,91a	119,51b
<b>TRATAMIENTO</b>								
B	14,21a	13,84a	33,44b	11,33a	15,06b	0,25 <sup>a</sup>	16,00a	78,18a
V	17,11b	15,12a	22,30a	16,51b	14,42a	0,33b	19,72b	79,14a
<b>P valor</b>								
Tratamiento	0,0069	NS	<0,0001	<0,0001	0,0012	0,0061	0,0008	NS
Muestreo	0,0229	NS	<0,0001	<0,0001	0,0004	0,0237	0,0004	0,0005
Trat. x Muestreo	NS	NS	0,0004	<0,0001	0,0299	NS	0,0052	NS

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos y los muestreos afectaron significativamente ( $p < 0,05$ ) al PNN, mientras que el PND no fue afectado (Tabla 1). El PNN en V fue un 17% mayor que en B. Este resultado es debido a la mayor velocidad de descomposición y aporte de N desde los residuos. Además en el tratamiento V el contenido de MOP fue un 19% mayor, siendo estas diferencias estadísticamente significativas. Esto estaría indicando una mayor disponibilidad de N fácilmente mineralizable. Resultados similares fueron encontrados por Steenwerth y Belina, (2008) y Linares, (2009) quienes determinaron que la MO aumentaba significativamente cuando se utilizaban CC.

El PNN en PC de soja fue un 20% mayor que en F, mientras que en PS se encontraron valores intermedios. Este aumento en PC puede deberse a la descomposición de los residuos de V debido a la menor relación C/N encontrada ( $p < 0,05$ ) con respecto a F (sólo residuos de V). Este aporte de N benefició la actividad nitrificante del suelo y se reflejó en la mayor cantidad de  $\text{NO}_3^-$  en PC con respecto a PS y F. No obstante, en PS se observó mayor cantidad de MOP y N con respecto a F, lo que también favoreció la mineralización del N. Esta mayor cantidad de MOP y N en PS puede deberse al aporte por parte de las raíces del cultivo de V. Además, el mayor porcentaje de hume-

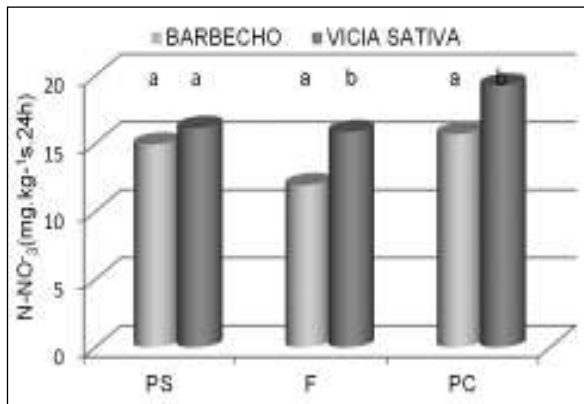
dad en PC y PS con respecto a F, pudo haber sumado a las condiciones de mineralización en dichos muestreos.

El PND no fue afectado por los muestreos ni por los tratamientos. Esto difiere de Steenwerth y Belina, (2008) quienes encontraron que a mayor contenido de humedad en el suelo menor PND. Fortuna et al., (2003), observaron que las parcelas con CC presentaban mayor PND que aquellas sin CC. No obstante, se encontró una correlación positiva y significativa entre el PND y el contenido de N y C/N de los residuos ( $r^2 = 0,74$   $p = 0,08$ ;  $r^2 = 0,88$   $p = 0,04$  respectivamente) (datos no mostrados). Esto sugiere que los cambios en el PND están relacionados a los cambios en los contenidos de N y C/N de los residuos.

La Tabla 2 muestra el efecto de los tratamientos sobre el PN neto dentro de cada muestreo. El PNN fue mayor en V en los tres muestreos (Figura 1), pero significativamente superior ( $p \leq 0,05$ ) en F y PC de Soja. Esto estuvo determinado por la menor relación C/N de los residuos y mayor aporte de N ( $p < 0,05$ ) en V en F y con la misma tendencia en PC. Esto confirma la mayor dinámica de descomposición y por lo tanto, mayor disponibilidad de N con la inclusión de leguminosas (Ernest et al., 2002; Frioni, 2006; Galantini, 2008). Por otro lado, en PS de Soja, aunque V presentó el mayor aporte de N desde los residuos y mayor cantidad de MOP y N, los tratamientos no difirieron

**Tabla 2:** Potencial de nitrificación neto y propiedades químicas del suelo en vicia y barbecho en presiembra (PS), floración (F) y postcosecha (PC) del cultivo de soja. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

MUESTREO	TRATAMIENTO	PNN (mg N- $\text{NO}_3^-$ Kg <sup>-1</sup> s en 24 hs)	RESIDUOS		MOP			$\text{NO}_3^-$ (ppm)
			C/N	N (g. Kg <sup>-1</sup> )	C/N	N (g. Kg <sup>-1</sup> )	Fracción (g. Kg <sup>-1</sup> )	
PS	B	14,96a	50,46b	7,88a	14,26a	0,26 a	16,89a	72,50a
	V	16,17a	30,87a	11,62b	14,15a	0,40 b	25,37b	49,28a
<b>P valor</b>		NS	0,0013	0,0021	NS	0,0007	0,0248	NS
F	B	11,96a	31,77b	10,83a	15,91b	0,23a	14,88a	42,32a
	V	15,87b	17,57a	21,23b	14,67a	0,26a	16,18a	60,83a
<b>P valor</b>		0,0304	0,0028	0,0001	0,0042	NS	NS	NS
PC	B	15,72a	21,10a	15,27a	15,02a	0,27a	16,23a	111,71a
	V	19,29b	18,47a	16,69a	14,42a	0,32a	17,6a	127,31a
<b>P valor</b>		0,054	NS	NS	NS	NS	NS	NS



**Figura 1:** PN Neto ( $N-NO_3$  mg.kg<sup>-1</sup>s. 24hs) para vicia y barbecho en cada muestreo. Previo a la siembra (PS), floración (F) y postcosecha de soja (PC). Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

ron significativamente en su actividad potencial. Esto probablemente porque el N pudo haber estado inmovilizado debido a la relación C/N de los residuos. Según Herman et al., (2006), el potencial de nitrificación en la zona rizosférica es afectado por la competencia de las raíces de la planta por el amonio.

## CONCLUSIÓN

Este estudio representa un primer paso en documentar diferencias en la dinámica del N en sistemas con rotación e inclusión de CC leguminosas. Claramente, V influencia sobre la dinámica del N desde las funciones microbiológicas de mineralización. El incremento del PNN en la etapa de F y PC del cultivo de soja representa una mayor disponibilidad de N durante la fase de crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivo. Así los incrementos temporales en la actividad nitrificante potencial por la utilización de V podrían permitir una disminución en el uso de fertilizantes nitrogenados o aumentar los pools de N disponible del sistema.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto Regional de Agricultura Sustentable: 61-620021.9 de la EEA INTA Marcos Juárez-Córdoba.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baigorria T y C Cazorla. 2009. Evaluación de especies como cultivos de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. EEA INTA Marcos Juárez. Jornada nacional de sistemas productivos sustentable: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Agosto 2009.
- Barraco M, C Álvarez y C Scianca. 2009. Aporte de nutrientes y rastrojo de diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura. EEA INTA General Villegas. La Pampa. Jornada nacional de sistemas productivos sustentable: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Agosto 2009.
- Bending GD y MK Turner. 1999. Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biology Fertility Soils* 29: 319–327.
- Bolger TP, MB Reid, A Peoples y JF Angus. 2001. Nitrogen mineralization from shoot and root residues of crop and pasture species. In: *Proceedings of the Australian Agronomy Conference*.
- Bremner JM. 1965. Inorganic Forms of Nitrogen. En: DD Evans; JL White; LE Ensminger y FE Clark (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, EEUU, pp. 1179-1232.
- Bremner JM 1996. Nitrogen Total. En: D L Sparks et al. (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 1085-1121.
- Cabrera ML. 2007. Mineralización y Nitrificación: Procesos claves en el Ciclo de Nitrógeno. Simposio Fertilidad de Suelos. Rosario, Argentina, pp 18.
- Cambardella CA y ET Elliott. 1992. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Drury CF, SC Hart y XM Xang. 2008. Nitrification Techniques for Soil. En: Carter MR y EG Gregorich (eds). *Soil sampling and methods of analysis. Part. 2. Canadian Society of soil Science.* 495-515 pp.
- Ernst O, O Bentancur y R Borges. 2002. Descomposición de rastrojo de los cultivos en siembra directa sin laboreo: Trigo, Maíz, Soja y Trigo después de Maíz o de Soja. *Agrociencia Vol. VI N°1: 20-26.*
- Fargioni M, C Vega, T Baigorria, J Pietrantonio y C Cazorla. 2009. Cultivos de cobertura y su efecto sobre la disponibilidad hídrica y nitrogenada a la siembra y el rendimiento de maíz. EEA INTA Manfredi y Marcos Juárez. Jornada nacional

de sistemas productivos sustentable: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Agosto 2009.

- Fortuna A, RR Harwood, GP Robertson, JW Fisk y EA Paul. 2003. Seasonal changes in nitrification potential associated with application of N fertilizer and compost in maize systems of southwest Michigan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97: 285-293.
- Frioni L. 2006. Microbiología: básica, ambiental y agrícola. Departamento de publicaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. 463 pp.
- Galantini J. A. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. En: JA Galantini (ed) Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina, pp.19-39.
- Galantini JA y L Suñer. 2008. Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. *Agriscientia XXV* (1): 41-55.
- Gliessman SR. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 359 pp.
- Herman DJ, KK Johnson, CH Jaeger, E Schwartz y MK Firestone. 2006. Root influence on nitrogen mineralization and nitrification in *Avena barbata* rhizosphere soil. *Soil Science Society America*, 70: 1504-1511.
- InfoStat. 2009. Infostat versión 2009. Grupo Infostat/ FCA.

Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.

- INTA. 1978. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina, 86 pp.
- Kowalchuk GA y JR Stephen. 2001. Ammonia-Oxidizing Bacteria: A Model for Molecular Microbial Ecology. *Annual Review Microbiology* 55: 485-429.
- Linares JC. 2009. Efecto de la Asociación de dos Cultivos de Cobertura (*Lablab purpureus* y *Sorghum bicolor*) en la Supresión de Malezas y la Materia Orgánica del Suelo. Resumos do VI CBA e II CLAA. *Rev. Bras. de Agroecologia* Vol. 4 No. 2.
- Nelson DW y LE Sommers. 1996. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. En: D L Sparks et al. (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, EEUU. pp. 961-1010.
- Ruffo ML y A Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.*
- Steenwerth K y K Belina. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, 40: 359-369.



Fernando Salvagiotti, Alfredo Vernizzi, Marcelo Bodrero y Silvina Bacigaluppo

## Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja

### INTRODUCCIÓN

La superficie ocupada con el cultivo de soja fue de alrededor de 18 millones de has en la campaña 2009/10, y en la región centro-sur de Santa Fe el cultivo contribuye con alrededor del 26% nacional, predominantemente en monocultivo (MINAGRI, 2010). Además de la incidencia crónica de insectos, malezas y enfermedades como resultado de esta práctica, el monocultivo de soja presenta potencialmente otras limitantes debido al bajo aporte de residuos en el sistema, que se ven traducidos en una escasa cobertura en superficie que aumenta la susceptibilidad a procesos erosivos del suelo, aun en siembra directa. Además del menor aporte en cantidad de rastrojos, estos tienen una labilidad mayor en relación a los residuos de gramíneas debido a la baja relación C/N. En consecuencia el tiempo relativo de permanencia en el suelo es menor ya que rápidamente son degradados por los microorganismos del suelo. En consecuencia, el rol de la soja en monocultivo presenta serios cuestionamientos desde el punto de vista de la sustentabilidad. En contraposición, la incorporación de gramíneas en la rotación permitiría hacer un mayor aporte de residuos y mejoraría el balance de carbono (C) al sistema.

Experiencias previas en la región centro-sur de Santa Fe han mostrado efectos positivos en el rendimiento de soja en rotaciones donde se incluyen las gramíneas de verano y el trigo (Castellarín et al., 1994). Teniendo en cuenta que el ciclo de cada cultivo es de aproximadamente 6 meses, esta secuencia tendría ca. 40% del tiempo en periodos de barbecho, apenas un 10% por debajo

de un monocultivo (ca. 50% del tiempo en barbecho). El periodo de barbecho se da generalmente en invierno, donde la ocurrencia de lluvias son más bajas y además de baja intensidad. El agua acumulada en el perfil no es utilizada y se perdería por evaporación, no generando beneficios al sistema de producción. En este marco, la incorporación de cultivos de cobertura (CC) durante el invierno que aprovechen esta oferta hídrica sería una fuente de aporte de C que harán más eficiente el uso de los recursos disponibles en el sistema.

A pesar del potencial aporte de las gramíneas a la sustentabilidad del sistema de producción, muchas veces no se traducen en beneficios inmediatos en el corto plazo sobre el rendimiento de los cultivos siguientes (eg soja) (Bodrero et al., 1993). Entonces, para evaluar los efectos positivos de la inclusión de gramíneas en la secuencia en el corto plazo será necesario encontrar variables que muestren sensibilidad a estos cambios. Gerster et al., (2010) observaron una reducción en la resistencia mecánica a la penetración por debajo de los 30 cm de profundidad en un suelo degradado cuando los antecesores fueron gramíneas (maíz, trigo o trigo como CC). La materia orgánica (MO) es uno de los indicadores de calidad de suelo por excelencia (Arshad and Martin, 2002). Sin embargo, el contenido total de C en el suelo es poco probable que cambie en el corto plazo (3-4 años), no así las fracciones más lábiles de la MO, asociada a residuos en etapas tempranas de descomposición y ligada a las fracciones estructurales más gruesas del suelo (materia orgánica particulada -MOP) (Christensen, 2001). Estas fracciones han demostrado ser un buen indicador

ante cambios en las secuencias de cultivos (Salvo et al., 2010) y las labranzas (Fabrizzi et al., 2003; Paul et al., 2004) y podría mostrar cambios tempranos en el suelo por la inclusión de CC.

En el presente trabajo se muestran los efectos en el corto plazo de la inclusión de CC, ya sea incluido en un planteo de monocultivo de soja o dentro de una rotación soja-maíz-trigo soja sobre diferentes compartimentos de la MO.

El objetivo general del ensayo es estudiar los efectos a largo plazo de la descompactación mecánica y la inclusión de gramíneas en lotes degradados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un ensayo de larga duración conducido en la Estación Experimental INTA Oliveros (32° 32' S; 60° 51' O) que comenzó en el año 2006 en un lote con más de 50 años de agricultura continua sobre un suelo Argiudol Típico serie Maciel manejado los últimos 8 años en siembra directa.

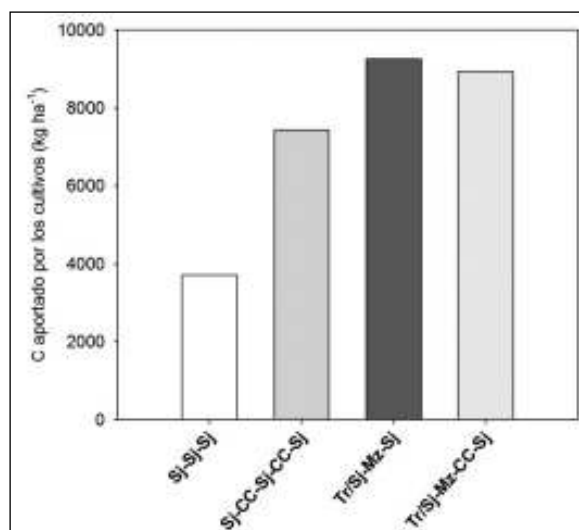
La rotación del lote previo a la instalación del ensayo era maíz-soja-trigo/soja. El experimento fue un arreglo factorial de 2 estrategias de manejo de la compactación del suelo: i) testigo sin descompactar y ii) descompactado con escarificador, y 2 secuencias de cultivo: i) Soja-Soja (Sj-Sj) y ii) Maíz-Soja-Trigo/soja (Mz-Sj-Tr/Sj), con y sin la incorporación del CC durante el receso invernal. Los tratamientos se arreglaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se utilizó como CC trigo. Todos los años el secado de este cultivo se realizó en el estadio de espiga embuchada. Cada unidad experimental fue de 13 × 50 m. Al finalizar el primer ciclo de rotaciones (3er año) y luego del secado del cultivo de cobertura se realizó un muestreo en cada secuencia de cultivo a tres profundidades: 0-3.5, 3.5-7.5 y 7.5-15 cm. Las muestras fueron secadas en estufa y pasadas por tamiz de 2 mm. En cada muestra se pesaron 40 g de suelo y se agregó 50 ml de una solución de hexametáfosfato al 0,5% y 5 perlas de vidrio. Posteriormente se agitó la muestra durante 5 horas a 180-190 golpes/min utilizando un agitador a vaivén. El tamizado se realizó haciendo pasar la muestra sucesivamente a través de un tamiz de 106 y 53 μ para separar la MOP. En consecuencia, las fracciones recuperadas fueron

MOP 106-2000, 53-106 y menor a 53 μ (esta última representando el C orgánico asociado a la fracción mineral). Se determinó el contenido de C total en las fracciones 106-2000 y 53-106 μ a través de oxidación húmeda (Walkley and Black, 1934). El contenido de C en la fracción menor a 53 μ fue determinado por diferencia entre C total y el retenido en las fracciones más gruesas. Los resultados fueron analizados a través de un ANOVA utilizando el procedimiento Proc Mixed de SAS.

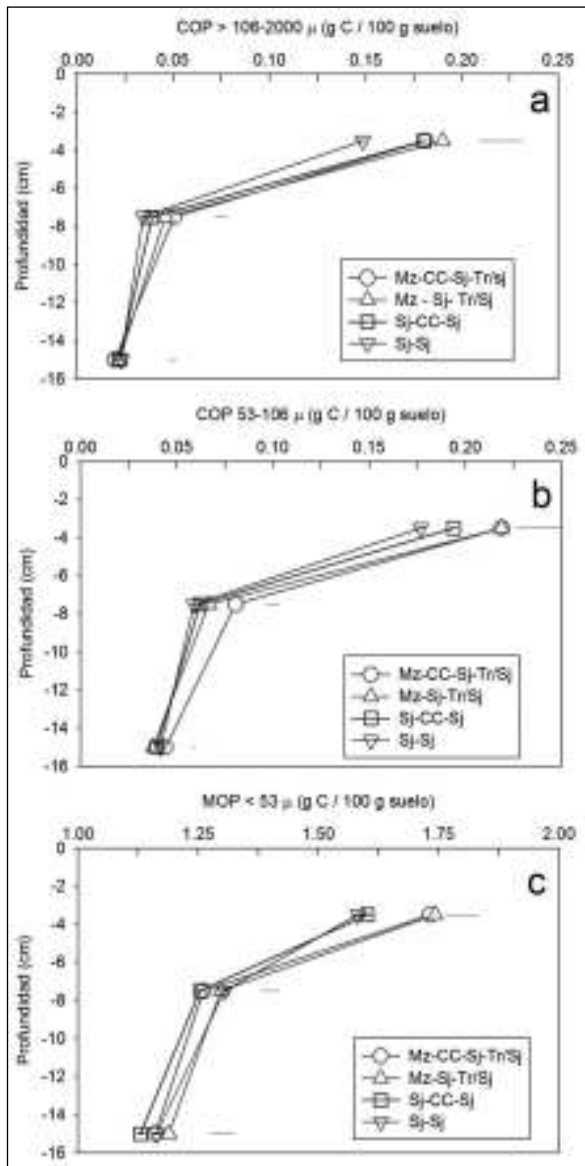
## RESULTADOS

Luego de 3 años de ensayo, el aporte de materia seca a través de los residuos de cosecha del monocultivo de soja fue de 8240 kg MS ha<sup>-1</sup>, lo que equivale a aproximadamente un aporte de 3708 kg C ha<sup>-1</sup>. La inclusión del CC en el monocultivo duplicó este aporte significativamente (p<0,05). No se observaron diferencias significativas por la inclusión del CC dentro de la rotación Maíz-Soja-Trigo/Soja, aportándose en promedio ca. 9095 kg C ha<sup>-1</sup> (Figura 1). El efecto de la descompactación mecánica no fue significativo y no interactuó con las secuencias estudiadas.

La fracción más gruesa de la MO (fracción 106-2000 μ) se incrementó en un 21% en relación al monocultivo de soja en respuesta a la inclusión de CC, ya sea en la rotación como en el monocultivo (Figura 2a) en los primeros 3,5 cm del suelo.



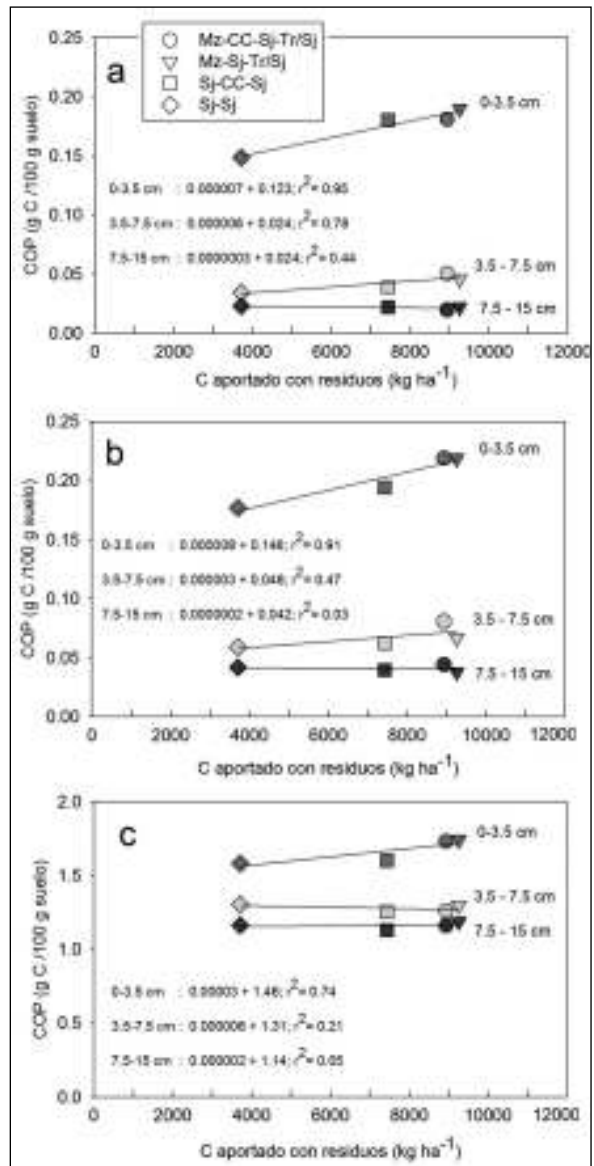
**Figura 1:** Aporte de C de dos secuencias de cultivos con y sin la inclusión de CC. El contenido de C se calculó en base a mediciones de materia seca afectada por un factor del 45%.



**Figura 2:** Contenido de C en diferentes fracciones de la MO: a) Fracción 106 - 2000  $\mu$ ; b) Fracción 53-106  $\mu$  y c) Fracción < 53  $\mu$  luego de tres años de cultivo en 2 secuencias de cultivos con y sin la inclusión del CC.

Estos incrementos fueron similares a los observados en la secuencia Maíz-Soja-Trigo/Soja. Sin embargo, la inclusión de CC dentro del monocultivo no alcanzó a aumentar el contenido de C en esta fracción de la MO cuando se analizó a 7,5 cm, donde solo la secuencia que incluyó gramíneas de invierno (con y sin la inclusión de CC) incrementó en un 32% respecto del monocultivo de soja en sus dos versiones. A los 15 cm de profundidad no se observaron ventajas entre secuencias (Figura 2a).

Los efectos de la inclusión del CC en el mono-



**Figura 3:** Cambios en el C en diferentes fracciones de la MO: a) Fracción 106 - 2000  $\mu$ ; b) Fracción 53-106  $\mu$  y c) Fracción < 53  $\mu$ , en respuesta al aporte acumulado de C en tres años en 2 secuencias de cultivos con y sin la inclusión del CC.

cultivo de soja no mostró la misma tendencia al analizar la fracción intermedia (retenida entre las mallas de 53 y 106  $\mu$ ) a ninguna profundidad (Figura 2b). En el muestreo más superficial (3,5 cm) se observó un aumento significativo de esta fracción en la secuencia Maíz-Soja-Trigo/soja. La inclusión del CC en esta secuencia incrementó significativamente el contenido de C en esta fracción en la profundidad de 7,5 cm, no detectándose diferencias a mayor profundidad (Figura 2b).

El incremento en el contenido de C de las dife-

rentes fracciones estuvo directamente ligado al aporte de C que se realizó durante los tres años desde que comenzó el ensayo (Figura 3). Sin embargo esta respuesta fue de mayor magnitud en los estratos más superficiales (0-3,5 y 3,5-7,5 cm) y para las fracciones 106-2000  $\mu$  y 53-106  $\mu$ . La consistencia de la asociación entre el C aportado por los rastrojos y el C en las diferentes fracciones (estimada a partir del coeficiente de determinación de la regresión) fue disminuyendo a medida que se analizaron los estratos más profundos (eg. 7,5-15 cm).

A 3,5 cm, se observó que el C orgánico aumentó 0,007, 0,008 y 0,03 g C/100 g de suelo por kg de C aportado para las fracciones 106-2000, 53-106 y menor a 53  $\mu$ , respectivamente (Figura 3). En cambio entre 3,5 y 7,5 cm, la tasa de incremento fue menor, del orden de 0,006 y 0,003 g C/100 g de suelo por kg de C aportado para las fracciones 106-2000 y 53-106  $\mu$ , respectivamente.

Es importante observar en la Figura 3 que las relaciones son lineales en todos los casos, es decir que la cantidad de C aportado con los residuos no fue suficiente para tener una respuesta de saturación (i.e. que el C del suelo se deje de incrementar al aumentar el aporte de residuos). En consecuencia, es esperable que un mayor aporte de C al sistema a través de los residuos permita seguir incrementando el contenido de C en las diferentes fracciones.

## CONCLUSIONES

La inclusión del trigo como CC dentro de un monocultivo de soja solo provocó cambios en el contenido de C en fracciones por encima de la 106  $\mu$  a una profundidad de 3,5 cm en un plazo de 3 años. En contraste, la inclusión del CC en una rotación que ya incluía gramíneas no afectó en el corto plazo esta variable, posiblemente debido a la cantidad de C aportado por el maíz y el trigo de la secuencia. Es probable que el efecto de la inclusión del CC en esta secuencia se vea en el más largo plazo, hipótesis que debería ser probada en el futuro. Los cambios en las distintas fracciones de la MO estuvieron ligados al aporte de C al sistema, por lo que el impacto de la inclusión de CC sobre diferentes compartimentos de la MO será mayor en la medida que este forme parte de una secuencia en la que también se incluyan gramíneas de verano. En este contexto, el impacto de la

inclusión del CC en un planteo de monocultivo de soja será proporcional a la producción de materia seca que realice, pero es probable que no sea suficiente para enriquecer pools más lábiles de MO a mayores profundidades, al menos en el corto plazo. El análisis de los compartimentos de la materia orgánica a 3,5 cm mostró ser una variable sensible para detectar cambios tempranos en el suelo en respuesta a la inclusión de CC.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arshad MA y S Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 88, 153-160.
- Bodrero M, Andriani J, Capurro J y G Gerster. 1993. Comportamiento de cultivos de soja en dos sistemas de labranzas. Informe para extensión 70. EEA Oliveros INTA.
- Castellarín JM, Pedrol H M, Babijaczuck P, y O Rosso. 1994. Secuencias agrícolas con dos sistemas de labranza en el SO de la Pcia. de Santa Fe. INTA PAC. Actas del Encuentro de Profesionales hacia una Agricultura Sostenible.
- Christensen BT. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science* 52[3], 345-353.
- Fabrizzi KP, Moron A, y F Garcia. 2003. Soil Carbon and Nitrogen Organic Fractions in Degraded vs. Non-Degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal* 67, 1831-1841.
- Gerster G, Bacigaluppo S, Bodrero M, y F Salvagiotti. 2010. Secuencia de cultivos, descompactación mecánica y rendimiento de soja en un suelo degradado de la región pampeana. Actas XXII Congreso Argentino Ciencia del Suelo. Rosario - Argentina
- MINAGRI. 2010. Estimaciones Agrícolas y Estadísticas. <http://www.sia.gov.ar/>
- Paul EA, Collins HP, Paustian K, Elliott ET, Frey S, Juma N, Janzen H, Campbell CA, Zentner RP, Lafond GP y AP Moulin. 2004. Management effects on the dynamics and storage rates of organic matter in long-term crop rotations. *Canadian Journal of Soil Science* 84, 49-61.
- Salvo L, Hernandez J, y O Ernst. 2010. Distribution of soil organic carbon in different size fractions, under pasture and crop rotations with conventional tillage and no-till systems. *Soil and Tillage Research* 109, 116-122.
- Walkley A, y IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-37.

Julia Capurro, María José Dickie, Javier Surjack, José Monti, Daniel Ninfi, Ariel Zazzarini, Emilio Tosi, José Andriani y María Cristina Gonzalez

## Cultivos de cobertura en el sur de la provincia de Santa Fe

### INTRODUCCIÓN

El área de trabajo de la Agencia de Extensión Rural del INTA en Cañada de Gómez abarca el sur de los Departamentos Belgrano (Distritos Armstrong, Las Parejas y Tortugas) e Iriondo (Distritos Cañada de Gómez, Villa Eloísa, Bustinza y Correa) de la provincia de Santa Fe, con una superficie total de 82600 hectáreas.

La naturaleza de los materiales originarios de los suelos, conservan en toda el área características similares a los observados en la Pampa Ondulada, esto es un manto de sedimentos loésicos con predominio de las fracciones muy finas, limos y arcillas. La textura dominante es franco-limosa.

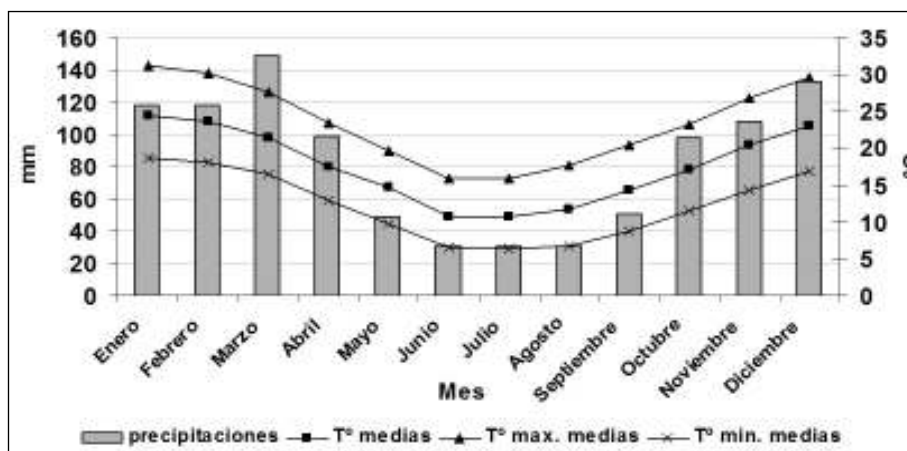
En la región predominan dos tipos de suelos: Argiudoles típicos en los paisajes ondulados (Correa, Villa Eloísa, Tortugas, Las Parejas y sur de Cañada de Gómez) y Argiudoles ácuicos en los paisajes llanos o muy suavemente ondulados (Armstrong, Bustinza y norte de Cañada de Gómez). El clima es templado, sin gran amplitud térmica anual. En el período de octubre a marzo se concentra aproximadamente el 70% de las lluvias. Los valores medios mensuales de precipitaciones

en mm, correspondientes al período 1957/2007 y las temperaturas en °C, se presentan en la Figura 1.

El sistema de producción difundido en la zona es la agricultura continua. Según datos de la SAGPyA, (2009), la superficie ocupada por el cultivo de soja se incrementó de 43% a 74% del total agrícola de la provincia de Santa Fe, en el período comprendido entre las campañas 1979/80 y 2007/08. En el mismo período, el área sembrada con maíz y trigo disminuyó del 57 % al 26% (SAGPyA, 2009).

Según imágenes satelitales obtenidas del Distrito Cañada de Gómez en octubre de 2009 y enero de 2010, sobre una superficie de 61781 has agrícolas, 4782 has se destinaron a Trigo, 12880 has se destinaron a Maíz y 48901 has se destinaron a soja (de primera y segunda época de siembra). Esto representa un 79% de la superficie total agrícola implantada con esta oleaginosa (Monti, 2010).

En cuanto al manejo del cultivo de soja, en la región se utilizan cultivares pertenecientes a los grupos de madurez III largo, IV y V corto, la fecha de siembra se concentra en el mes de noviembre y más del 90% se siembra en forma directa. La cosecha se realiza durante los meses de marzo y



**Figura 1:** Precipitaciones (mm) Cañada de Gómez (1957/07); temperaturas medias (°C), máximas medias (°C) y mínimas medias (°C), Carta de Suelos Cañada de Gómez-Rosario.

abril y los controles de malezas (barbechos químicos), posteriores a la cosecha, comienzan en mayo. Con estas aplicaciones se reinicia un nuevo ciclo agrícola.

## I. SECUENCIAS SOJA-SOJA

En sistemas de monocultivo de soja, los lotes permanecen con escasa cobertura durante gran parte del ciclo productivo. Los residuos de cosecha de este cultivo son escasos en cantidad y de baja perdurabilidad en el tiempo. Entre otros efectos negativos, esta condición superficial disminuye el aprovechamiento de las lluvias primaverales, ya que una proporción importante del agua caída se pierde por escurrimientos superficiales, arrastrando el escaso rastrojo remanente (Capurro et al., 2010). Ante esta situación, de difícil solución debido a los resultados económicos favorables del cultivo de soja, se están evaluando diferentes técnicas de manejo que atenúen esta problemática.

Una alternativa para incrementar el aporte de residuos, en sistemas de agricultura continua con alta participación de soja, es la incorporación de cultivos de cobertura (CC) (Álvarez et al., 2006). Los CC se siembran entre dos cultivos de cosecha con el objeto de aumentar el aporte de carbono, disminuir la lixiviación de nitratos, reducir la compactación y aumentar la cobertura; no se incorporan, no se pastorean ni se cosechan (Restovich et al., 2006). Según Casas, (2007), los CC permiten mantener elevadas tasas de infiltración del agua de lluvia, debido al incremento de la cobertura del suelo y de la macroporosidad, por descomposición de las raíces que generan un sistema de canales o galerías. La mayor cobertura de biomasa disponible también disminuye la amplitud térmica del suelo superficial, que se traduce en menos pérdida de agua por evaporación. Todo

esto genera una mejora en la eficiencia de uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente.

### I.A. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en secuencias soja-soja en el área sur de la provincia de Santa Fe

El objetivo general del trabajo fue evaluar el impacto de la inclusión de distintas especies de CC invernales sobre la productividad del cultivo de soja, en secuencias soja-soja. Los objetivos específicos consistieron en medir la producción de MS de distintas especies, cuantificar su consumo de agua y registrar los rendimientos de soja en el ambiente considerado.

Los ensayos se condujeron durante las campañas 2006/09 en un suelo Argiudol típico serie Correa (MO = 29,1 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 17 mg kg<sup>-1</sup>, pH 5.96) con más de veinte años en agricultura continua. Se evaluaron cinco tratamientos: trigo (110 Kg ha<sup>-1</sup>), avena sativa (60 Kg ha<sup>-1</sup>), avena sativa + vicia sativa (30 Kg ha<sup>-1</sup> + 30 Kg ha<sup>-1</sup>), vicia sativa (45 Kg ha<sup>-1</sup> y testigo sin CC. Se efectuó un seguimiento de agua en el suelo con sonda de neutrones hasta los dos metros de profundidad en el tratamiento testigo sin CC y en el tratamiento avena sativa + vicia sativa.

Los resultados obtenidos se detallan en las Tablas 1 y 2 y en la Figura 2.

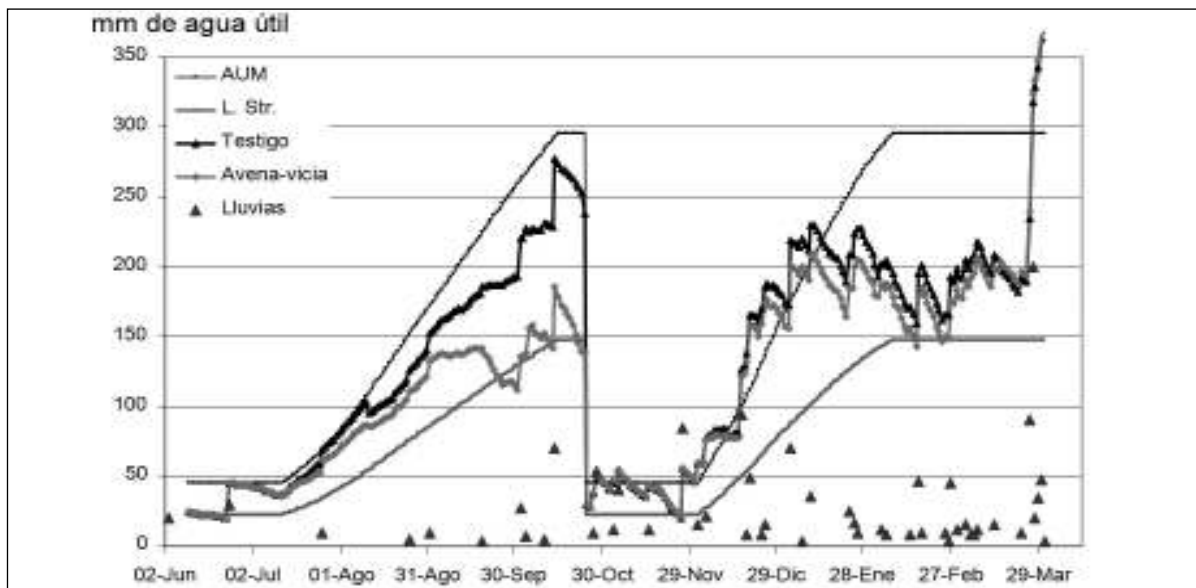
La producción de materia seca (MS) de los CC varió entre 3163 y 8771 Kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 1) con diferencias según especies y años, siendo significativamente mayor en los tratamientos que incluyeron gramíneas. La vicia presentó producciones de MS menores que trigo, avena y avena + vicia, en los 3 años evaluados.

En la Figura 2 se muestra el nivel de agua útil en el perfil del suelo (testigo sin CC y avena + vicia), correspondiente a la campaña 2006/07.

Tratamientos	Años		
	2006 MS kg.ha <sup>-1</sup>	2007 MS kg.ha <sup>-1</sup>	2008 MS kg.ha <sup>-1</sup>
Trigo	8009 a (1)	8268 a (1)	5516 a (1)
Avena	7317 ab	8771 a	5243 a
Avena y vicia	6013 b	8518 a	4871 a
Vicia	3211 c	5740 b	3163 b

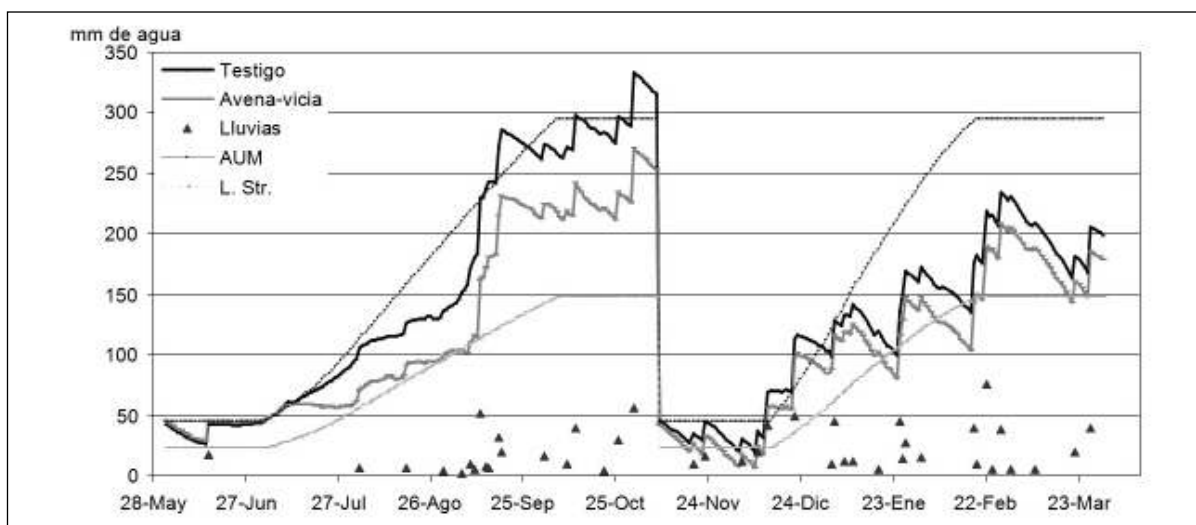
**Tabla 1:** Aporte de MS en kg ha<sup>-1</sup> de las distintas especies utilizadas como CC en los años 2006, 2007 y 2008.

(1) Letras distintas, dentro de cada año, indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05%)



**Figura 2:** Balance hídrico diario de los tratamientos testigo sin CC y CC en base a avena+vicia y el posterior cultivo de soja. Correa, campaña 2006-07.

AUM: capacidad máxima de agua útil del suelo. L. Str.: línea por debajo de la cual se produce estrés hídrico (L. Str.:50% del agua útil máxima). Los triángulos representan los milímetros de agua diaria de los eventos de lluvia.



**Figura 3:** Balance hídrico diario de los tratamientos testigo sin CC y CC en base a avena+vicia y el posterior cultivo de soja. Correa, campaña 2007-08.

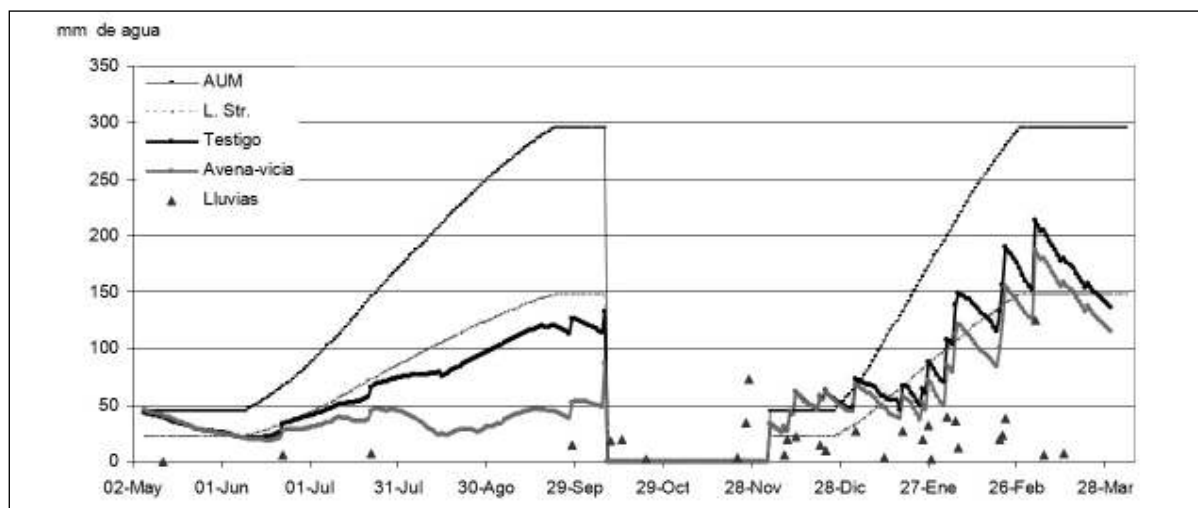
AUM: capacidad máxima de agua útil del suelo. L. Str.: 50% del agua útil máxima. Los triángulos representan los milímetros de agua diaria de los eventos de lluvia.

Se distinguen en el gráfico dos ciclos, el de la izquierda perteneciente al CC hasta su secado con herbicida y a la derecha el ciclo del cultivo de soja. En la primera mitad del gráfico, los puntos que forman las líneas testigo y avena + vicia, corresponden a la disponibilidad de agua en el suelo para ambos tratamientos y, en la segunda parte del gráfico, esas mismas líneas corresponden a la disponibilidad de agua para el cultivo de soja

sembrado sobre testigo y avena + vicia.

Se aprecia, en el primer ciclo, que el testigo sin CC consumió muy poca agua del perfil, manteniéndose en altos niveles de agua útil. En cambio la avena + vicia agotó el perfil hasta el límite de estrés, debido a las escasas lluvias durante su ciclo.

En el ciclo de la derecha, se observa que las lluvias de noviembre y diciembre de 2006 llevaron prácticamente a capacidad de campo (AUM) el



**Figura 4:** Balance hídrico diario de los tratamientos testigo sin CC y CC en base a avena+vicia y el posterior cultivo de soja. Correa, campaña 2008-09.

perfil de suelo, reservas que posteriormente se vieron reducidas por el alto consumo de la soja. Excepto por unos pocos días durante el mes de febrero, la soja nunca estuvo por debajo del límite de estrés, lo que aseguró un muy buen estado hídrico a lo largo de todo su ciclo.

Durante la campaña 2007/08 (Figura 3), el testigo volvió a presentar valores más altos de agua útil que avena + vicia. Debido a la ocurrencia de lluvias de alto milimetraje en el mes de septiembre, los CC dejaron reservas del 70 a 80% del AUM para la soja siguiente. La soja estuvo bien provista de agua durante todo su ciclo, excepto a fines de enero y febrero, momentos en que sufrió un leve estrés hídrico, siendo más marcado en el tratamiento que venía de avena + vicia.

En la campaña 2008/09 (Figura 4), debido a las escasas precipitaciones registradas luego de la etapa de implantación, todos los tratamientos permanecieron en niveles de agua útil por debajo del límite de estrés hídrico. Esta condición ambiental, se reflejó en los bajos niveles de MS obtenida.

Durante todo el ciclo del cultivo de soja, el tratamiento testigo sin CC, mantuvo un nivel más alto de agua en el suelo que avena + vicia. Los tratamientos que incluyeron CC, excepto por breves períodos durante enero y febrero, no lograron superar el límite de estrés hídrico.

En la Tabla 2 se observa que el rendimiento de soja, en dos de los tres años evaluados, no presentó diferencias significativas para los distintos antecesores.

En la campaña 2007/08, se registraron diferencias significativas en rendimiento de soja sobre vicia con respecto a trigo, avena y avena + vicia, pero no significativas con respecto al testigo. Si bien no se evaluó la causa, cabe aclarar que la soja sembrada sobre vicia mantuvo todas sus hojas verdes un mayor número de días (una semana) que el resto de los tratamientos, al final del ciclo del cultivo. Esto implicaría un periodo más largo de acumulación de MS en las semillas, ya que todos los tratamientos de cobertura llegaron a R5 en la misma fecha. En la campaña 2008/09, las mayores deficiencias de agua produjeron rendimientos de soja inferiores a los de campañas previas, en todos los tratamientos, incluido el tratamiento testigo sin CC.

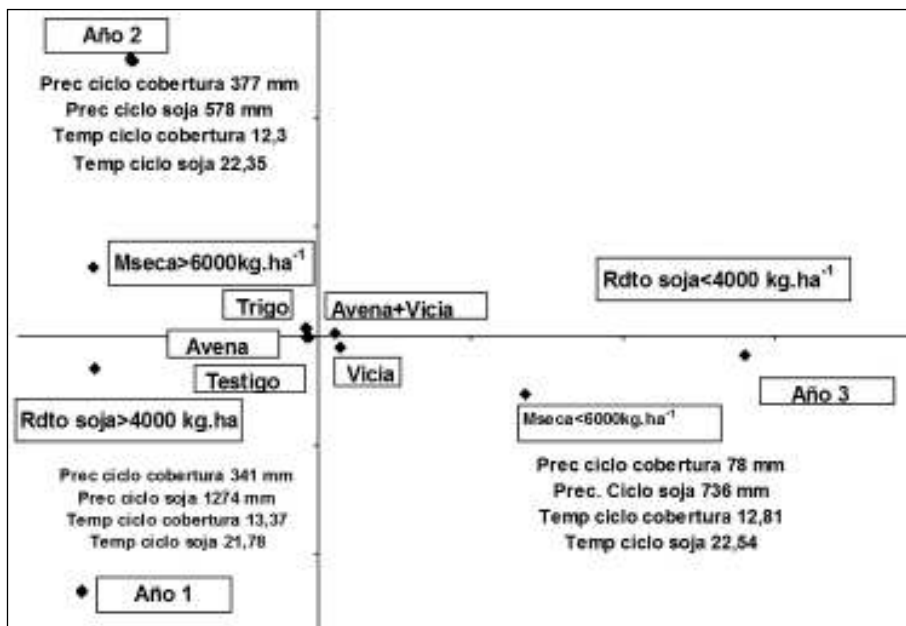
En la Figura 5 se observan los resultados del análisis multivariado de correspondencias múltiples. Se visualiza claramente un pronunciado efecto del año, caracterizado por las temperaturas medias y las precipitaciones registradas, sobre los resultados de MS de los CC y de rendimiento de grano de soja. La producción de MS fue superior en los años 1 y 2, con mayores valores de producción para éste último. El año 3 fue el de más baja producción de MS. En referencia al rendimiento de soja, los mayores valores se registraron el año 1, siendo el año 2 intermedio, con mayor cercanía al año 1 y los menores rendimientos se dieron en el año 3. Esto se visualiza también en la Tabla 2, con 4743, 4146 y 3623 Kg ha<sup>-1</sup> promedio, respectivamente.



Tratamientos	Campañas		
	2006/07 kg.ha <sup>-1</sup>	2007/08 kg.ha <sup>-1</sup>	2008/09 kg.ha <sup>-1</sup>
trigo	4805 a (1)	4021 b (1)	3718 a (1)
avena	4669 a	4036 b	3560 a
avena y vicia	4672 a	3932 b	3539 a
viaja	4876 a	4529 a	3559 a
testigo	4696 a	4214 a b	3739 a
Promedio	4743	4146	3623

**Tabla 2:** Rendimiento de grano de soja en kg.ha<sup>-1</sup> sobre diferentes tratamientos correspondientes a las campañas 2006/09.

(1) Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05%)



**Figura 5:** Relación entre MS en kg ha<sup>-1</sup> y el rendimiento de soja en kg.ha<sup>-1</sup> con las condiciones climáticas, temperaturas medias en °C (T<sup>9</sup>) y precipitaciones en mm (PP), de cada año y los tratamientos evaluados. Correa, 2006/07 a 2008/09.

En este análisis no se encontró asociación entre los distintos tratamientos evaluados con los rendimientos del cultivo de soja y la producción de MS de los CC. Esa relación se estudió dentro de cada año con un análisis univariado (Tablas 1 y 2).

### Conclusiones

La producción de MS de los CC y el rendimiento del cultivo de soja, estuvieron asociados a las precipitaciones y temperaturas de cada año y no a los tratamientos de cobertura evaluados. Los CC en base a trigo, avena y avena + vicia aportaron cantidades de MS significativamente superiores a la vicia. El consumo de agua de los CC no fue limitante para la producción de MS de las especies evaluadas, ni para la producción de granos de soja.

Estudios posteriores deberían analizar el impacto a largo plazo de la inclusión de la técnica en los ambientes evaluados.

### I.B. Efecto de diferentes momentos de supresión del crecimiento de cultivos de cobertura

El objetivo del ensayo fue registrar la producción de MS y el consumo de agua del CC, para distintos momentos de supresión de su crecimiento y evaluar el impacto en el rendimiento del cultivo posterior de soja.

El ensayo se realizó durante la campaña 2009/10 en un suelo Argiudol típico serie Correa (MO = 25,6 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 13 mg kg<sup>-1</sup>, pH 5,90) con 25 años de agricultura continua. Se utilizó como CC la mezcla de avena + vicia. Los tratamientos consistieron en tres momentos ó fechas de supresión del crecimiento del CC y un testigo sin CC. El secado se realizó con una mezcla de Glifosato y 2,4 D sal amina.

En la primera fecha de secado, a los 125 días de la siembra de los CC, las especies se encontraban en estadios vegetativos. En la segunda fecha

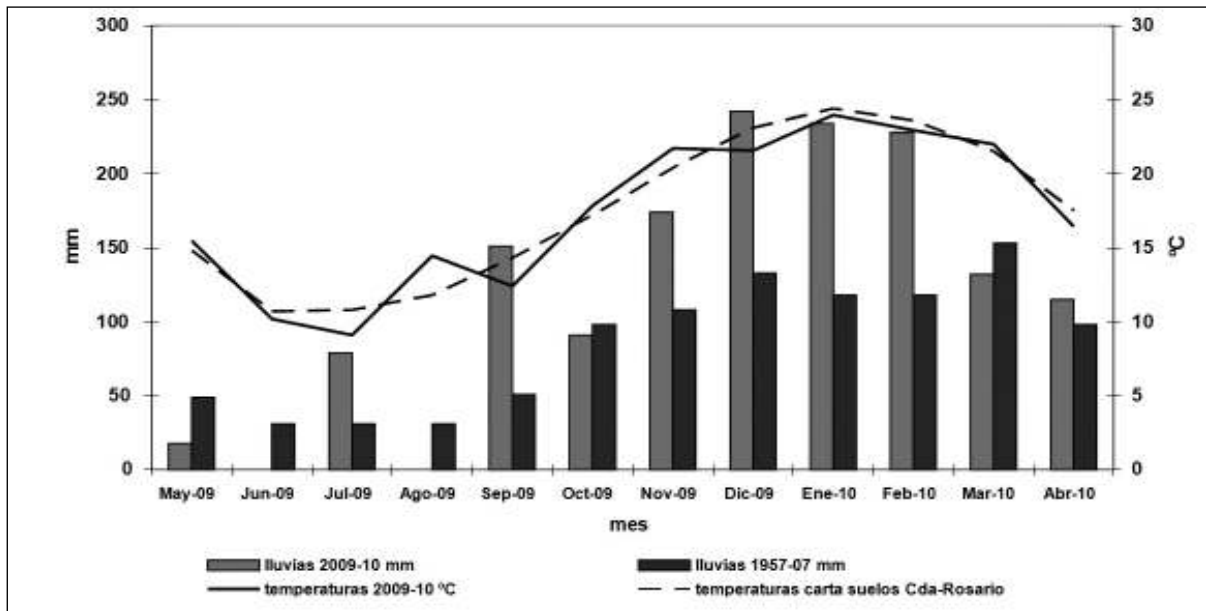


Figura 6: Precipitaciones (mm) y temperaturas medias (°C).

de secado, a los 149 días de la siembra de los CC, la avena estaba con panoja embuchada y la vicia en inicios de floración. En la tercera fecha de secado, a los 169 días de la siembra de los CC, la avena estaba en llenado de granos y la vicia en plena floración - inicios de fructificación.

En la Figura 6 se muestran las condiciones climáticas durante el desarrollo de la experiencia, en comparación con las medias históricas de la región.

El crecimiento inicial de los CC fue lento, debido probablemente a las bajas temperaturas de los meses de junio y julio. A partir del mes de sep-

tiembre los CC incrementaron su producción de biomasa, favorecidos por condiciones hídricas muy superiores a la media de la época.

En las Figuras 7 y 8 se muestra el seguimiento de agua en el perfil. Se observa que el CC presentó una deficiencia hídrica, desde fines del mes de agosto a principios del mes de septiembre, lo que probablemente provocó una disminución en su crecimiento. Posteriormente el perfil del suelo recuperó su estado hídrico hasta el momento del secado en la primera y segunda fechas de supresión de crecimiento. En la tercera fecha de supre-

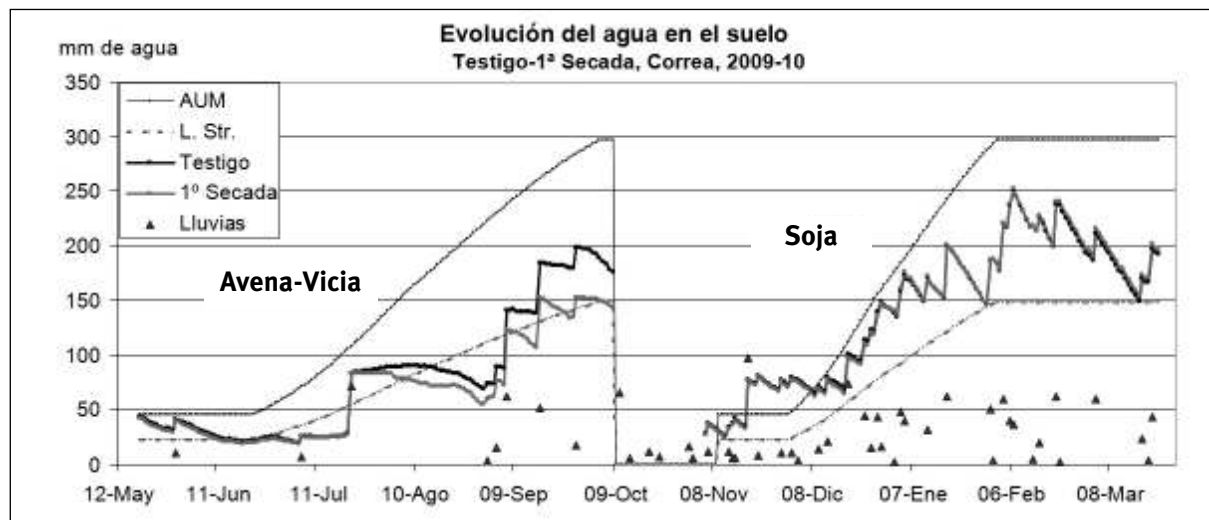


Figura 7: Balance hídrico diario de los tratamientos testigo (barbecho limpio) y 1ª fecha de secado del CC (avena + vicia) y el posterior cultivo de soja. Ensayo localidad de Correa, campaña 2009-10.

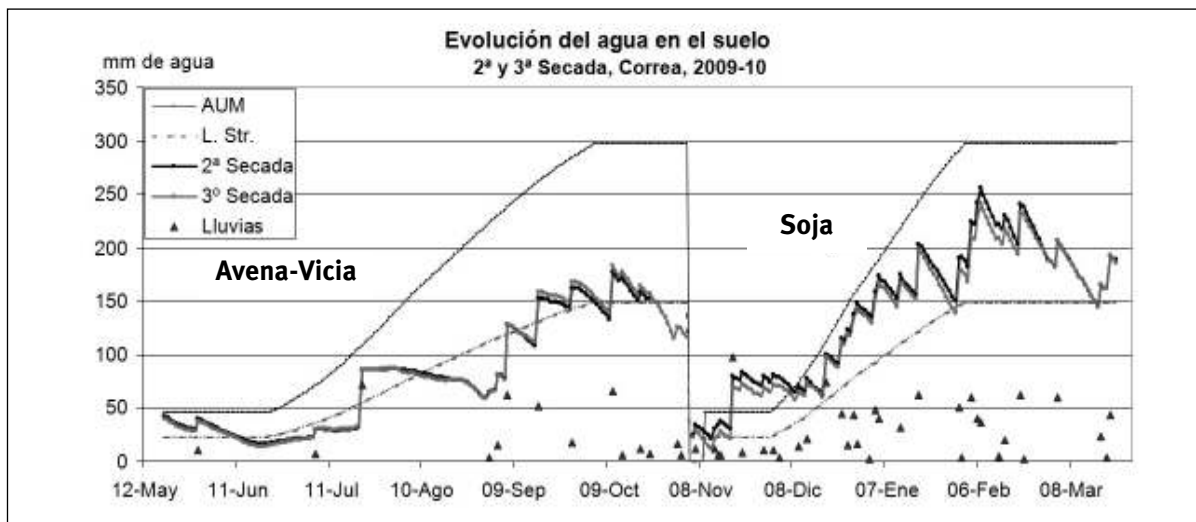


Figura 8: Balance hídrico diario de los tratamientos 2ª y 3ª fecha de secado del CC y el posterior cultivo de soja. Ensayo de la localidad de Correa, campaña 2009-10.

Momento secado CC	Materia Seca (kg.ha <sup>-1</sup> )	Nº días crecimiento	Lluvias registradas durante ciclo de crecimiento de los CC. (mm)
3º fecha (4/11/09)	11536 a	169	353
2º fecha (15/10/09)	7876 b	149	312
1º fecha (21/09/09)	3464 c	125	222

Tabla 3: Producción de MS del CC (Avena + vicia) en diferentes momentos de secado.

sión, el CC agotó parte del agua contenida en el perfil del suelo. Pese a estas diferencias, el cultivo de soja no sufrió ninguna deficiencia de agua a lo largo de todo su ciclo de crecimiento y desarrollo, producto de las frecuentes y abundantes precipitaciones ocurridas.

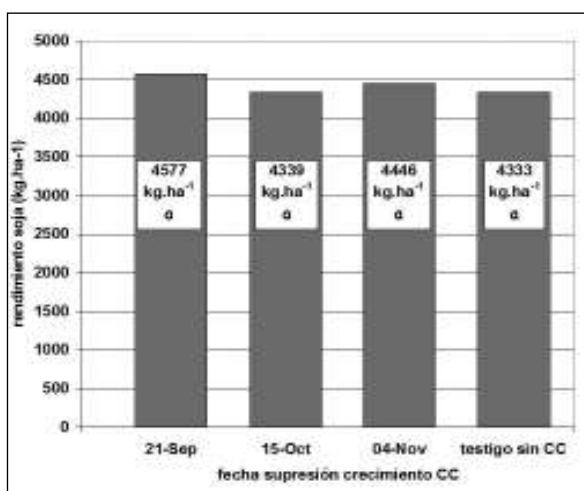


Figura 9: Rendimientos de soja (kg.ha<sup>-1</sup>). Correa. 2009/10. Letras iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas (p<0,05%)

La producción de MS en Kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 3) del CC mostró diferencias significativas entre las tres fechas de secado evaluadas, por encontrarse en los períodos de mayor tasa de crecimiento. En el segundo y tercer momento de supresión del crecimiento, el CC tuvo un incremento del 127 y 233% en la producción de MS, en referencia al primer momento de supresión evaluado.

Los rendimientos de la soja no registraron diferencias estadísticamente significativas, para las diferentes fechas de supresión de crecimiento del CC y el testigo sin CC (Figura 9). En las condiciones ambientales probadas, los rendimientos de soja no fueron afectados por la presencia del CC en ninguna de las fechas de secado.

### Conclusiones

El aumento en el número de días de crecimiento del CC, provocó incrementos significativos en su producción de MS en Kg ha<sup>-1</sup>. El perfil del suelo presentó diferencias en su estado hídrico al momento de secado en las distintas fechas evaluadas, que no afectaron el rendimiento de la

soja. Los rendimientos de soja no presentaron diferencias significativas para las distintas fechas de secado evaluadas y el testigo, producto de las abundantes precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Los resultados obtenidos son válidos para situaciones de suelo y clima similares a las del presente ensayo.

### I.C. Evaluación de cultivos de cobertura en diferentes ambientes productivos

El objetivo de las experiencias fue evaluar el efecto de la inclusión de distintos CC y de la fertilización, en la productividad del cultivo de soja, en Argiudoles típicos y acucos del sur de la provincia de Santa Fe.

Los ensayos se establecieron durante la campaña 2010/11, en dos ambientes productivos contrastantes: un suelo Argiudol típico serie Correa, con 16 años en agricultura continua (MO = 26,1 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 15,1 mg kg<sup>-1</sup>, pH 5,6) y un suelo Argiudol acucos serie Armstrong, con 22 años en agricultura continua (MO = 25,9 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 9,8 mg kg<sup>-1</sup>, pH 5,8). La serie Correa es un suelo profundo, oscuro, bien drenado, ubicado en áreas fuertemente onduladas. La serie Armstrong es un suelo oscuro, profundo y moderadamente bien drenado, que se desarrolla en un paisaje llano o de lomadas con muy escasas pendientes.

Cada sitio experimental incluyó tres tratamientos de cobertura invierno primaveral: CC en base a Avena sativa + Vicia villosa (A+V), CC en base a Vicia villosa (V) y testigo sin CC (T) y tres sub-tratamientos de fertilización a la siembra del cultivo de soja: 20 Kg ha<sup>-1</sup> P + 20 Kg ha<sup>-1</sup> S = P20+S20; 20

Kg ha<sup>-1</sup> S = S20 y testigo sin fertilización.

Desde la etapa de implantación, las plantas de los CC tuvieron un mayor crecimiento y más rápido desarrollo en el ambiente Correa, cumpliendo con anticipación los distintos eventos fenológicos, respecto al ambiente Armstrong. La producción de MS de la parte aérea y el contenido de nutrientes en tejidos vegetales en ambos sitios experimentales, se muestran en la Tabla 4.

Los valores de MS oscilaron entre 2730 y 7792 Kg ha<sup>-1</sup>. El tratamiento A+V produjo significativamente más MS que V en los dos ambientes. Con un estadio fenológico más avanzado, la producción de MS en el sitio Correa, fue significativamente superior a la de Armstrong en ambos tratamientos de cobertura.

Los contenidos de C aportados por la mezcla A+V (1708 y 3118 Kg ha<sup>-1</sup>) fueron mayores que los incorporados por V (1024 y 1454 Kg ha<sup>-1</sup>) en ambos sitios. Los porcentajes de N fueron superiores en los tejidos de V (3,29 y 2,33%) con respecto a A+V (1,6 y 1,14%) al momento de secado. Consecuentemente, la relación C/N de los tejidos de V fue más baja que la de A+V, en los dos ambientes. Por último, los porcentajes de P y S manifestaron diferencias entre los distintos CC. Siempre fueron más elevados en V que en A+V.

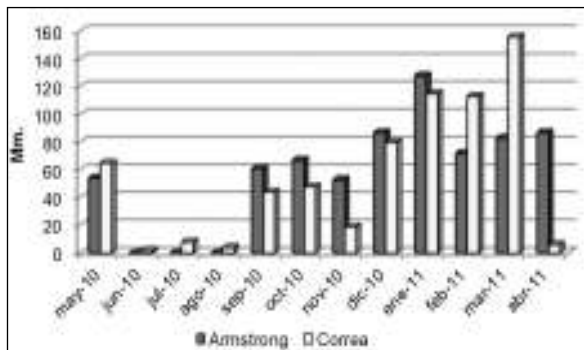
Durante el desarrollo de la experiencia, los ambientes presentaron registros pluviométricos contrastantes (Figura 10).

Las precipitaciones registradas desde la última etapa de crecimiento de los CC hasta la floración del cultivo de soja fueron superiores en el ambiente Armstrong. Esto permitió un óptimo crecimiento de la soja desde sus primeros estadí-

**Tabla 4:** Producción de materia seca (MS) y aporte de nutrientes en kg.ha<sup>-1</sup> de CC en Armstrong y Correa. 2010. C: Carbono, N: Nitrógeno, P: Fósforo, S: Azufre y C/N: Relación Carbono/Nitrógeno

Producción de MS y aporte de nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )	Armstrong				Correa			
	Vicia villosa		Avena sativa + Vicia villosa		Vicia villosa		Avena sativa + Vicia villosa	
MS (kg ha <sup>-1</sup> )	2730 b		4367 a		3956 b		7792 a	
	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%
C	1024	37,6	1708	39,1	1454	36,9	3118	40,0
N	89,8	3,29	71,2	1,6	96,2	2,33	88,8	1,14
S	4,6	0,17	5,7	0,13	6,7	0,17	9,35	0,12
P	10,37	0,38	11,8	0,27	13,5	0,34	16,36	0,21
C/N	11,4		23,9		15,1		35,1	

En cada ambiente, letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05%)



**Figura 10:** Precipitaciones en mm. Armstrong y Correa, 2010/11.

os. Es de destacar que en el sitio Correa, las lluvias caídas durante noviembre representaron el 17% de la media histórica de la región, con sólo 19 mm registrados. Los rendimientos de soja, en Kg ha<sup>-1</sup>, se muestran en las Tablas 5 y 6.

En la localidad de Armstrong, los tratamientos con Vicia y fertilizantes tuvieron rendimientos superiores al resto de los tratamientos. El tratamiento con Vicia + S20 tuvo un rendimiento superior en 301 Kg ha<sup>-1</sup> al tratamiento sin CC+ S20. Las medias de rendimiento para los tratamientos de cobertura fueron: 4451, 4261 y 4222 Kg ha<sup>-1</sup> para antecesor Vicia, Avena+Vicia y sin CC, respectivamente. Estos promedios no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05\%$ ). Los promedios de rendimiento para los sub-tratamientos de fertilización fueron: 4394, 4373 y 4167 Kg ha<sup>-1</sup> para fertilización con P20+S20, S20 y sin fertilización, respectivamente. Estos valores no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05\%$ ).

**Tabla 5:** Rendimiento de soja en kg ha<sup>-1</sup>. Armstrong 2010/11.

Tratamientos	Armstrong Rendimiento de soja (kg ha <sup>-1</sup> )
Vicia + S20	4558
Vida + P20 + S20	4517
Sin CC + P20 + S20	4361
Avena + Vicia + S20	4306
Avena + Vicia + P20 + S20	4305
Vicia sin fertilizante	4280
Sin CC + S20	4257
Avena + Vicia sin fertilizante	4172
Sin CC sin fertilizante	4048
Media	4312
CV (%)	7,5

En la localidad de Correa, los tratamientos sin CC presentaron rendimientos superiores a los tratamientos con CC. Las medias de rendimiento para los tratamientos de cobertura fueron: 1791, 1634 y 1632 Kg ha<sup>-1</sup> para antecesor Sin CC, Vicia y Avena+Vicia, respectivamente. El tratamiento sin CC presentó diferencias estadísticamente significativas con respecto a los otros tratamientos, según Duncan ( $p < 0,05\%$ ).

Los promedios de rendimiento para los sub-tratamientos de fertilización fueron: 1745, 1656 y 1655 Kg ha<sup>-1</sup> para fertilización con P20+S20, sin fertilización y S20 respectivamente. Estos valores no presentaron diferencias estadísticamente significativas, según Duncan al 5%.

Del análisis conjunto de localidades, tratamientos y subtratamientos surgieron diferencias estadísticamente significativas en rendimiento sólo entre localidades. No se registraron interacciones entre localidades, tratamientos y subtratamientos.

## Conclusiones

El efecto de la inclusión de los CC sobre la productividad del cultivo de soja varió según el ambiente estudiado. En el ambiente de mayor ocurrencia de lluvias primaverales, si bien sin diferencias estadísticamente significativas, la soja tuvo mayor rendimiento sobre vicia. En el ambiente de elevado déficit hídrico primaveral, la soja tuvo mayor rendimiento sobre el tratamiento sin CC. No se registraron respuestas significativas en rendimiento a la aplicación de P y S en ninguno de los ambientes evaluados.

**Tabla 6:** Rendimiento de soja en kg ha<sup>-1</sup>. Correa 2010/11.

Tratamientos	Correa Rendimiento de soja (kg ha <sup>-1</sup> )
Sin CC + P20 + S20	1839
Sin CC sin fertilizante	1809
Sin CC + S20	1724
Vicia + P20 + S20	1701
Avena + Vicia + P20 + S20	1695
Avena + Vicia + S20	1623
Vicia + S20	1617
Vicia sin fertilizante	1582
Avena + Vicia sin fertilizante	1577
Media	1685
CV (%)	5,92

## II. SECUENCIAS QUE INCLUYEN MAÍZ

En los sistemas de agricultura continua que incluyen maíz, este cultivo adquiere gran importancia por su capacidad de producción de rastros de calidad, proveedores de MO y cobertura. Si bien el productor destina al maíz los mejores lotes de su establecimiento, la mayoría de estos tienen niveles de nutrientes por debajo de los requeridos para una producción normal. Así, el cultivo se implanta frecuentemente en suelos de baja fertilidad. Dado que el maíz es más sensible que la soja a la disponibilidad de agua y nutrientes, la degradación del suelo genera un círculo vicioso en el que la soja es cada vez más rentable en relación al maíz (Montico, 2007).

La disponibilidad de nutrientes durante el ciclo de cultivo, principalmente de N, P, S y K (potasio), afecta los procesos que regulan el crecimiento, la generación del rendimiento y la calidad de los cultivos de granos (Dreccer et al., 2003). Los requerimientos nutricionales del cultivo de Maíz incluyen 22 kg de N; 4 kg de P; 19 kg de K; 5 kg de S; 3 kg de magnesio y 3 kg de calcio absorbidos, por tonelada de grano producido (INPOFOS, 1999).

Para los suelos de la región pampeana, el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimiento de los cultivos, es el N. El N debe estar bien provisto en cantidad y oportunidad como para poder asegurar el óptimo rendimiento de los cultivos (Echeverría, 2009).

Los aportes de N por parte del suelo dependen, entre otros factores, de las características climáticas y edáficas, tipo y oportunidad de labranza y cantidad y naturaleza de los residuos incorporados. Estos factores inciden tanto en el contenido del N mineral en el momento de la siembra, como en la magnitud del liberado por el proceso de mineralización durante el ciclo del cultivo (Andrade et al., 2000).

El uso de CC contribuye a mejorar la calidad del agua y la eficiencia en el uso de N, a través de la captura de N en su biomasa, reduciendo así las pérdidas de N desde los sistemas agrícolas (Miguez et al., 2009). La inclusión de una leguminosa (Vicia villosa, Vicia sativa o Trébol encarnado) aporta C, genera cobertura, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del maíz (Ruffo, 2004).

La fertilización del cultivo de maíz y la utilización

de CC como antecesores otoño-invernales del mismo, son dos prácticas tecnológicas que podrían complementarse para contribuir a la estabilidad y aumento de los rendimientos del cultivo en áreas agrícolas; en consecuencia podrían favorecer un incremento de la superficie sembrada con este cereal (Capurro et al., 2011).

En los sitios experimentales que se describen a continuación, se evaluó la respuesta de maíz a vicia como CC antecesor, con el aporte de niveles variables de N mineral y el comportamiento del cultivo de maíz ante la inclusión de la técnica de CC en ambientes productivos contrastantes.

### II.A. Vicia y fertilización nitrogenada en maíz

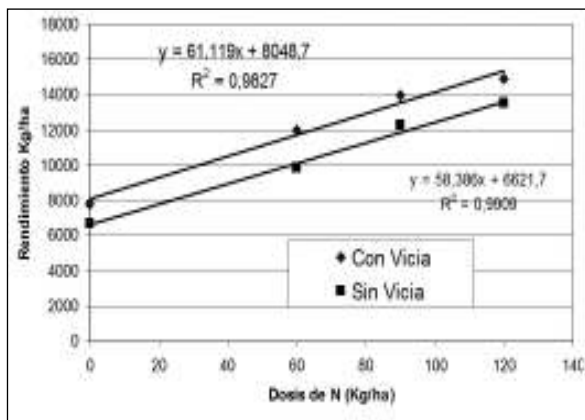
El objetivo general de la experiencia fue evaluar el efecto de la inclusión de vicia como antecesor del cultivo de maíz en sistemas de producción agrícola continua. Los objetivos específicos fueron evaluar la producción y calidad de MS del CC y su efecto en el rendimiento del maíz, con diferentes aportes de N a la siembra del cultivo.

El ensayo se implantó en un suelo Argiudol típico serie Correa con más de 30 años en agricultura continua (MO = 2.85 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 22,7 mg kg<sup>-1</sup>, pH 6,2). La experiencia incluyó dos tratamientos de cobertura invernal: con y sin Vicia villosa y cuatro tratamientos de fertilización a la siembra de maíz: No+P19+S10; N60+P19+S10; N90+ P19+S10 y N120+ P19+S10. El CC se sembró a fines del mes de mayo y a los 143 días se suprimió su crecimiento. Los resultados obtenidos se detallan en las Tablas 7 y 8.

Para todos los niveles de Nitrógeno evaluados, el cultivo de maíz rindió significativamente más en los tratamientos que incluyeron vicia como CC. La media general de los tratamientos que incluyeron vicia como CC antecesor fue de 12174 kg/ha<sup>-1</sup> y en los que no incluyeron vicia como CC fue de 10562 kg ha<sup>-1</sup>. Esto marca una diferencia promedio de 1612 kg ha<sup>-1</sup> de grano de maíz, a favor del CC.

A medida que se incrementaron los niveles de aporte de N por fertilización, disminuyeron las diferencias de rendimiento entre tratamientos con y sin vicia. Así, para N60, N90 y N120, las diferencias a favor del tratamiento con CC fueron de 2152, 1723 y 1437 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Los promedios de rendimiento de grano de



**Figura 11:** Respuesta del maíz a la fertilización con N, con y sin vicia como CC.

maíz para los distintos niveles de fertilización nitrogenada: N0, N60, N90 y N120, fueron de: 7240, 10911, 13113 y 14211 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estas diferencias marcan una respuesta significativa positiva en rendimiento de grano de maíz, para todos los niveles de N probados.

En la Figura 11 se muestra la respuesta del maíz a la fertilización con N en los distintos tratamientos de cobertura. La curva de respuesta obtenida marca un efecto adicional del CC sobre el agregado del fertilizante mineral.

### Conclusiones

La inclusión de vicia como cultivo de cobertura antecesor, produjo incrementos significativos de rendimiento en el cultivo de maíz, a todos los niveles de N evaluados. Las diferencias de rendimiento entre tratamientos con y sin vicia disminuyeron, al incrementarse el nivel de N aportado. Se registraron diferencias significativas de rendimiento de maíz, ante cada incremento en el nivel de N aportado como fertilizante.

### II.B. Vicia y avena como cultivos de cobertura en maíz

El objetivo de los ensayos fue evaluar el efecto de la inclusión de distintos CC y de la fertilización con N en la productividad de maíz, en Argiudoles típicos y acuicos del sur de la provincia de Santa Fe.

Los ensayos se establecieron durante la campaña 2010/11 en dos ambientes, un suelo Argiudol típico serie Correa, con 16 años en agricultura continua (MO = 26,1 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 15,1

**Tabla 7:** Aporte de MS y nutrientes de Vicia villosa. Cañada de Gómez, 2009.

MS	N		P		S	
kg.ha <sup>-1</sup>	%	kg.ha <sup>-1</sup>	%	kg.ha <sup>-1</sup>	%	kg.ha <sup>-1</sup>
5274	4,01	213	0,34	17,9	0,24	12,7

**Tabla 8:** Rendimiento de grano de maíz en kg ha<sup>-1</sup> Cañada de Gómez, 2009/10.

Tratamiento	Rendimiento kg./ha <sup>1</sup>
Con Vicia + N120+P19+S10	14929 a
Con Vicia + N90+P19+S10	13974 ab
Sin Vicia + N120+P19+S10	13492 b
Sin Vicia + N90+P19+S10	12251 c
Con Vicia + N60+P19+S10	11987 c
Sin Vicia + N60+P19+S10	9835 d
Con Vicia + N0+P19+S10	7807 e
Sin Vicia + N0+P19+S10	6673 e
Media	11369
CV (%)	6.17

mg kg<sup>-1</sup>, pH 5.6) y un suelo Argiudol acuico serie Armstrong con 22 años en agricultura continua (MO = 25,9 g kg<sup>-1</sup>, P Bray = 9,8 mg kg<sup>-1</sup>, pH 5.8).

Cada sitio experimental incluyó tres tratamientos de cobertura invierno primavera: CC en base a Avena sativa + Vicia villosa, CC en base a Vicia villosa y Testigo sin CC y tres sub-tratamientos de fertilización a la siembra del cultivo de maíz : 0 Kg ha<sup>-1</sup> N + 20 Kg ha<sup>-1</sup> P + 20 Kg ha<sup>-1</sup> S (N0+P20+S20); 50 Kg ha<sup>-1</sup> N + 20 Kg ha<sup>-1</sup> P + 20 Kg ha<sup>-1</sup> S (N50+P20+S20) y 100 Kg ha<sup>-1</sup> N + 20 Kg ha<sup>-1</sup> P + 20 Kg ha<sup>-1</sup> S (N100+P20+S20).

La producción de MS de la parte aérea en los dos ambientes y el contenido de nutrientes en tejidos vegetales, se muestran en la Tabla 9.

Los valores de MS oscilaron entre 2903 y 8199 Kg ha<sup>-1</sup>. El tratamiento de CC en base a vicia tuvo una producción menor de MS y menor contenido de C, con respecto al tratamiento avena + vicia, en los dos ambientes productivos. El contenido de N en los tejidos vegetales de la leguminosa fue superior (3,03 y 2,28%) al de la mezcla de gramínea y leguminosa (1,94 y 1,13%). Por consiguiente, la relación C/N fue más baja en vicia que en avena + vicia, en los dos sitios experimentales.

**Tabla 9:** Producción de materia seca (MS) y aporte de nutrientes en kg.ha<sup>-1</sup> de CC en Armstrong y Correa. 2010. C: Carbono, N: Nitrógeno, P: Fósforo, S: Azufre y C/N: Relación Carbono/Nitrógeno

Producción de MS y aporte de nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )	Armstrong				Correa			
	Vicia villosa		Avena sativa + Vicia villosa		Vicia villosa		Avena sativa + Vicia villosa	
MS (kg ha <sup>-1</sup> )	2903 b		4647 a		3290 b		8199 a	
	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	%
C	1093	37,64	1820	39,1	1201	36,5	3261	39,8
N	87,96	3,03	90,16	1,94	75,0	2,28	92,7	1,13
S	4,93	0,17	5,6	0,12	5,3	0,16	9,83	0,12
P	11,61	0,40	13,5	0,29	12,2	0,37	15,6	0,19
C/N	12,42		20,18		16,01		35,18	

En cada ambiente, letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05\%$ )

Por último, la vicia presentó un contenido de P y S superior a la mezcla en las dos localidades.

Las lluvias primaverales fueron favorables al ambiente Armstrong, si bien en los dos sitios las precipitaciones estuvieron por debajo de la media histórica de la región. El sitio Correa fue el más afectado por el déficit hídrico, con sólo el 49% de las lluvias históricas de septiembre a diciembre. En este ambiente, las plantas tuvieron un crecimiento menor. El valor medio de MS/planta, registrado a los 38 días de la siembra, fue de 41 g pl<sup>-1</sup> en Correa y 63 g pl<sup>-1</sup> en Armstrong.

Los rendimientos de maíz, en Kg ha<sup>-1</sup>, se muestran en las Tablas 10 y 11.

En el ambiente Armstrong, los tratamientos de maíz sobre vicia con N100 y N50 rindieron 2597 Kg ha<sup>-1</sup> y 1290 Kg ha<sup>-1</sup> más que el tratamiento de maíz sin CC con N100. Estas diferencias probablemente se debieron al aporte del N liberado por los rastrojos de la leguminosa. Por el contrario, el tratamiento de maíz sobre avena + vicia con N100 rindió 1007 Kg ha<sup>-1</sup> menos que el tratamiento de maíz sin CC con N100, mostrando un efecto diferente como antecesor del cereal.

Las medias de rendimiento para los tratamientos de cobertura fueron: 11731, 9253 y 9138 Kg ha<sup>-1</sup> para los antecesores vicia, sin CC y avena + vicia, respectivamente. El antecesor vicia rindió significativamente más que los otros antecesores ( $p < 0,05\%$ ). Los promedios de rendimiento para los sub-tratamientos de fertilización fueron: 11753, 10782 y 7587 Kg ha<sup>-1</sup> para N100, N50 y No, respectivamente. Los dos primeros valores fueron

significativamente superiores al tratamiento sin N ( $p < 0,05\%$ ). En el ambiente Correa las medias de rendimiento de maíz sobre los tratamientos de cobertura fueron: 6905, 6712 y 5906 Kg ha<sup>-1</sup> para vicia, sin CC y avena + vicia, respectivamente. Los tratamientos vicia y sin CC no presentaron diferencias significativas en rendimiento de maíz entre sí y rindieron significativamente más que el maíz sobre avena + vicia.

Los promedios de rendimiento para los sub-tratamientos de fertilización fueron: 7642, 6500 y 5381 Kg ha<sup>-1</sup> para N100, N50 y No, respectivamente. Todos los niveles de N evaluados presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05\%$ ). Del análisis conjunto de localidades, tratamientos y subtratamientos surgieron diferencias estadísticamente significativas en rendimiento entre localidades, tratamientos y subtratamientos. No se registraron interacciones entre localidades, tratamientos y subtratamientos.

### Conclusión

El efecto del CC en la productividad del maíz fue variable según el ambiente evaluado, el CC considerado y el nivel de N aplicado. En el ambiente más húmedo, el maíz rindió significativamente más sobre vicia que sobre el resto de los tratamientos de cobertura. Sobre avena + vicia, el maíz rindió significativamente menos en los dos ambientes, con respecto al resto de los tratamientos de cobertura. Las aplicaciones de N produjeron siempre incrementos significativos a todas las dosis probadas.



**Tabla 10:** Rendimiento de maíz en kg ha<sup>-1</sup>.  
Armstrong 2010/11.

Tratamientos	Armstrong Rendimiento de maíz (kg ha <sup>-1</sup> )
Vicia + N100+P20+S20	13820
Vicia + N50+P20+S20	12513
Sin CC + N100+P20+S20	11223
Avena + Vicia + N100+P20+S20	10216
Avena + Vicia + N50+P20+S20	10176
Sin CC + N50+P20+S20	9657
Vicia + N0+P20+S20	8860
Avena + Vicia + N0+P20+S20	7023
Sin CC + N0+P20+S20	6880
<b>Media</b>	<b>10041</b>
<b>CV (%)</b>	<b>10,48</b>

**Tabla 11:** Rendimiento de maíz en kg ha<sup>-1</sup>.  
Correa. 2010/11

Tratamientos	Correa Rendimiento de maíz (kg ha <sup>-1</sup> )
Vicia + N100+P20+S20	7893
Sin CC + N100+P20+S20	7750
Avena + Vicia + N100+P20+S20	7285
Vicia + N50+P20+S20	6816
Sin CC + N50+P20+S20	6417
Avena + Vicia + N50+P20+S20	6266
Vicia + N0+P20+S20	6006
Sin CC + N0+P20+S20	5970
Avena + Vicia + N0+P20+S20	4168
<b>Media</b>	<b>6508</b>
<b>CV (%)</b>	<b>7,32</b>

## COMENTARIOS FINALES

En base a las experiencias descriptas, los cultivos de cobertura constituyen una alternativa tecnológica viable y con respuestas positivas en la productividad de los principales cultivos estivales, en el área sur de la provincia de Santa Fe.

Resta evaluar su efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, y así lograr cuantificar su valor como herramienta para frenar los procesos de degradación, en los sistemas de producción agrícola difundidos en la región.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez C y C Scianca. 2006. Cultivos de Cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de Carbono e Influencia sobre Propiedades Edáficas. Día de Campo EEA INTA Villegas. Jornada Profesional Agrícola 2006.
- Capurro J, Fiorito C, Gonzalez MC, Casasola E, Zazzarini A, Andriani J y A Vernizzi. 2007. Respuesta del Cultivo de Maíz a la Fertilización con Nitrógeno, Fósforo y Azufre en el Sur de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°36, Diciembre 2007.
- Capurro J, J Surjack, J Andriani, MJ Dickie y MC Gonzalez. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31/5 al 4/6/2010. Resúmenes Trabajos Pg224.
- Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3360-13 y14. Cañada de Gómez (1988) y Rosario y Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3363-18. Armstrong
- Casas R, 2007. Dtor CIRN INTA Castelar. Comunicación pública
- Dreccer M; Ruiz R y G Madonni. 2003. Bases ecofisiológi-

cas de la nutrición en los cultivos de grano. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Pgs.481-497.

- Echeverría H, 2009. "Eficiencia de uso de Nitrógeno en cultivos extensivos". Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACs. Bahía Blanca, Bs.As. Agosto 2009.
- Galantini J, Suñer L, Landriscini MR y O Iglesias. 2008. Estudio de las Fracciones Orgánicas en Suelos de la Argentina. Edit. De la Univ.Nac. del Sur. 308 p.
- INPOFOS. 1999. Inf. agronómicas del Cono Sur. N°3
- Miguez F, Villamil M, Crandall S, Ruffo M y G Bollero. 2009. Los efectos de los cultivos de cobertura sobre los rendimientos de maíz. Simposio Fertilidad 2009. IPNI, Rosario. Mayo 2009.
- Monti J. 2010. Dpto Técnico ACA Cañada de Gómez. Datos no publicados
- Montico S. 2007. Manejo de la cobertura. Abonos Verdes y Cultivos de Cobertura. Apuntes de Cátedra, Cátedra Manejo de Tierras, FCA, UNR.
- Quiroga A, Fernández R, Frasier I y C Scianca. 2009. Cultivos de Cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Comisión Química de Suelos. AACs. Bahía Blanca, Bs.As. Agosto 2009.
- Restovich S, Andriulo A, Sasal C, Irizar A, Rimatori F, Darder M y L Hanuch. 2006. Absorción de Agua y Nitrógeno edáfico de diferentes Cultivos de Cobertura. Acta XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta-Jujuy.
- Ruffo M, 2004. Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°21, Marzo 2004 .
- SAGPyA, Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Septiembre 2009.

Carlos Scianca, María Florencia Varela, Mirian Barraco, Cristian Álvarez y Alberto Quiroga

## Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas

### INTRODUCCIÓN

Los suelos Hapludoles Thapto Argicos se localizan en sectores planos o bajos de la pampa arenosa (34-36°S; 61-63°W) y generalmente no siguen un patrón regular de distribución, limitando el manejo por ambientes homogéneos dentro de un mismo lote de producción. Se caracterizan por la presencia de un horizonte Bt, a profundidades y con espesor variables, con diferencias en su granulometría. En algunas situaciones presentan exceso de iones sodio y/o calcio, que pueden provocar dispersión en el primer caso y concreciones granuladas o planchas de CaCO<sub>3</sub> en el segundo. Son suelos de textura franca, pH débilmente ácido y con bajos contenidos de materia orgánica (MO), apoyados en forma abrupta sobre depósitos de materiales finos franco arcillo limosos moderadamente alcalinos (SAGYP-INTA, 1989). Estos suelos están clasificados en capacidad de uso III, IV ó V. En general la presencia de esta capa subsuperficial enriquecida con partículas finas (horizonte thapto) altera el movimiento de agua en el perfil y el consumo de nutrientes, limita el crecimiento de las raíces y además, en determinadas circunstancias, puede favorecer el desarrollo de procesos de salinización y de alcalinización. Estos factores se conjugaron para determinar el potencial productivo de las tierras, muy heterogéneo en el paisaje y a nivel de potrero.

Los sistemas de producción utilizados históricamente en estos ambientes integraron los cultivos de cosecha con pasturas para la producción de carne y leche en proporciones variables. Hasta comienzos de la década del '90 dominaban las pasturas por sobre los cultivos agrícolas. Luego, esta región no fue ajena al proceso de intensifica-

ción agrícola que tuvo lugar en la Región Pampeana, disminuyendo el área dedicada a pastoreo a expensas de un incremento en la ocupación de cultivos de cosecha, principalmente estivales como soja (*Glycine max* (L) Merrill), maíz (*Zea mays* L) y girasol (*Helianthus annuus*) (Díaz Zorita et al., 2002). Esta tendencia implica distintos niveles de riesgo y en algunos casos, conlleva a la degradación de la calidad del ambiente por el mal manejo. Debe considerarse en este punto el creciente predominio del cultivo de soja (60 % de la superficie). El reemplazo de cultivos de gramíneas como trigo (*Triticum aestivum* L.) o maíz por secuencias con alta intensidad de soja implica una disminución de los aportes de carbono al suelo, debido a la escasa cantidad de rastrojos del cultivo que cubren el suelo (Bathke y Blake, 1984; Zhu et al., 1989), sumado a largos períodos de barbecho invernal.

El éxito y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas de la pampa arenosa dependen en gran medida de la incorporación de carbono orgánico de los suelos (Díaz Zorita et al., 1999; 2002). Considerando que la proporción del área dedicada al cultivo de soja está en continuo incremento, surge la necesidad de planificar nuevas estrategias de manejo del sistema agrícola que permitan conservar la calidad del suelo, aún manteniendo el predominio de soja en la rotación (Meriles, 2009). Una alternativa es la adopción de cultivos de cobertura (CC) como una opción viable para el empleo sustentable de soja como principal cultivo de la rotación en la pampa arenosa.

Si bien la utilización de CC está asociada a múltiples beneficios, un manejo inadecuado de los mismos puede implicar reducciones en la productividad de los suelos. El conocimiento del

impacto de los CC en cada ambiente en particular permite, por lo tanto, maximizar los efectos positivos de los mismos. Debe considerarse que la incorporación de CC en sistemas semiáridos-subhúmedos puede representar un riesgo debido al uso consuntivo de agua por parte de los mismos. Es por ello que es necesario conocer el consumo hídrico de los CC y las probabilidades de afectar el rendimiento del cultivo principal. Además, los CC modifican el ciclado de nutrientes en los sistemas agrícolas. Para el caso particular de nutrientes no móviles como el P, los CC lo absorben del suelo bajo la forma de iones inorgánicos (en solución) y los devuelven al mismo formando parte de los tejidos vegetales, pudiendo afectar la nutrición mineral del cultivo siguiente en la rotación. Es por ello que toma relevancia el conocimiento de la dinámica de nutrientes en los sistemas agrícolas que incorporan CC en las rotaciones. Por último, considerando que los CC se incorporan con objetivos conservacionistas, es necesario conocer sus efectos sobre la cobertura y las propiedades físico-químicas del suelo en el mediano plazo.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en este sitio respecto a la incorporación de distintas especies de gramíneas utilizadas como CC en sistemas agrícolas dedicados al monocultivo de soja en la pampa arenosa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas 2005-6, 2006-7, 2007-8, 2008-9 y 2009-10 se llevó a cabo un estudio en el campo experimental de la EEA INTA General Villegas (Drabble, Buenos Aires, Argentina), sobre un suelo Hapludol Thapto-Árgico (MO=28,0 g kg<sup>-1</sup>, P Bray=14 mg kg<sup>-1</sup>, pH 6,0). Los objetivos del estudio fueron: (i) evaluar la producción de materia

seca de distintas especies de gramíneas utilizadas como CC (ii) determinar su incidencia sobre los contenidos de agua útil y rendimiento del cultivo de soja posterior, (iii) evaluar el impacto de los CC sobre propiedades físicas y químicas del suelo y (iv) cuantificar las tasas de descomposición y de mineralización de fósforo de los residuos de los CC. Los objetivos (i) y (ii) se evaluaron durante un período acumulado de cinco campañas mientras que las mediciones correspondientes al objetivo (iii) se llevaron a cabo en el otoño de 2009 y las tasas de descomposición se evaluaron durante un año sobre los residuos de CC desarrollados en el invierno del año 2009.

En zonas semiáridas-subhúmedas, la principal limitante para la incorporación de CC en los sistemas agrícolas la constituye el uso consuntivo de agua por parte de los mismos. Es por ello que la distribución de lluvias es un aspecto crítico a tener en cuenta. La Tabla 1 muestra la precipitación mensual histórica (1898-2009) y la ocurrida durante las campañas evaluadas.

Los tratamientos aplicados fueron tres especies de gramíneas invernales (centeno, *Secale Cereale*, avena *Avena Sativa* y raigrás *Lolium Multiflorum*) utilizados como CC y un testigo sin CC (monocultivo de soja). Los CC se sembraron en el mes de mayo, con una densidad de 320 plantas m<sup>-2</sup> y con una distancia entre surcos de 17,5 cm y fueron secados entre el 20 de septiembre y el 4 de noviembre dependiendo de las condiciones de cada campaña, mediante la aplicación de 2,5 lts ha<sup>-1</sup> de glifosato al 48%. Luego, en todas las parcelas se sembró soja. El diseño fue en bloques completos aleatorizados con 4 repeticiones y parcelas de 227 m<sup>2</sup>.

En capas de 20 cm de espesor y hasta los 140 cm de profundidad se determinaron los conteni-

**Tabla 1:** Precipitación mensual histórica (1898-2009) y del periodo evaluado en mm.

Campaña	Meses											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Histórico	38,8	24,9	22,5	21,9	45,0	88,9	94,8	102,2	97,7	89,2	115,5	70,2
2005-6	2,5	12,0	50,8	25,0	37,5	38,4	164,6	37,8	210,2	66,0	148,0	91,8
2006-7	11,2	8,6	10,6	0,6	10,4	189,2	87,6	156,2	113,2	151,4	228,0	31,8
2007-8	14,2	17,4	1,8	1,8	85,8	48,8	29,2	99,3	92,8	68,2	54,2	9,0
2008-9	1,6	16,0	30,0	0,0	30,0	96,2	131,0	43,8	25,0	103,0	42,0	55,0
2009-10	20,0	0,2	29,0	1,4	79,6	9,6	121,0	310,6	216,6	147,2	26,6	38,2

Fuente: EEA INTA Gral Villegas e INTA Castelar.

dos de agua correspondientes a capacidad de campo (método de Richards) y punto de marchitez permanente (membrana de presión) y la densidad aparente (con cilindros de 240 cm<sup>3</sup>). Al momento de secar los CC se determinaron los contenidos de agua útil en el perfil (0-140 cm) por el método gravimétrico. La producción de materia seca (MS) de las distintas especies de CC se determinó al momento de secado de los mismos sobre una superficie de 0,25 m<sup>2</sup>. El rendimiento de grano del cultivo de soja se evaluó previa cosecha y trilla manual sobre una superficie de 5 m<sup>2</sup>.

Las propiedades físico-químicas de suelo evaluadas fueron: en forma superficial infiltración acumulada a campo e infiltración básica (método de Kostiaikov, Fernández et al., 1971 y Reynolds et al., 2002) y estabilidad estructural (método de Le Bissonnais, 1996, utilizando los tres mecanismos de ruptura de agregados: estallido por inmersión en agua, desagregación mecánica y microfisuración). Para las capas 0-10 cm; 10-20 cm y 20-30 cm se determinaron la densidad aparente (método del cilindro de 100 cm<sup>3</sup>), resistencia a la penetración (penetrómetro Fieldscout SC-900 ángulo de punta 30°), humedad gravimétrica, distribución de tamaño de poros, porosidad total (método de desorción de agua), carbono orgánico (Walkley y Black), pH (relación suelo agua 1:2,5) y fósforo (P) extractable (Bray y Kurtz 1).

Las tasas de descomposición y mineralización de P de los residuos de los CC se determinaron mediante la técnica de bolsas de malla de red. En las mismas se colocó el residuo de cada CC, se ubicaron en las parcelas experimentales sobre la superficie del suelo y luego fueron recogidas a intervalos irregulares de tiempo, a fin de determinar la biomasa y el P remanente. Se determinó también la calidad bioquímica inicial de los residuos (lignina y celulosa) mediante la técnica de Goering y Van Soest, (1970) y la concentración de carbono (C) y nitrógeno (N) total mediante analizador LECO. La descomposición de los residuos y la liberación de P de los mismos se analizaron ajustando un modelo de decaimiento exponencial de primer orden:

$$Y_t = a + b e^{-kt}$$

donde  $Y_t$  (kg ha<sup>-1</sup>) es la biomasa o el contenido de P en el tiempo  $t$  (días),  $a$  (kg ha<sup>-1</sup>) es la biomasa o el contenido de P que no se descompuso y

permaneció constante en el período de tiempo estudiado (recalcitrante),  $b$  (kg ha<sup>-1</sup>) es la biomasa que se descompuso o el contenido de P que se liberó,  $k$  (día<sup>-1</sup>) es una constante denominada tasa relativa de descomposición y  $t$  es el tiempo (días). De acuerdo a este modelo, la suma de los parámetros  $a$  y  $b$  es la biomasa o el contenido de P inicial (kg ha<sup>-1</sup>).

Los resultados se analizaron mediante ANOVA y las diferencias entre medias mediante el test LSD ( $\alpha=0,05$ ) (Analytical Software, 2000). Para el análisis de resistencia a la penetración se realizó ANCOVA, utilizando la humedad como covariable. El análisis de la descomposición de biomasa y P se realizó comparando los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $k$  de los modelos ajustados para cada una de las especies de gramíneas mediante ANOVA y comparación de medias mediante test LSD ( $\alpha=0,05$ ).

## RESULTADOS

### Producción de materia seca de los CC

La producción de MS de los CC difirió entre especies y años de evaluación. En todas las campañas evaluadas a excepción de la 2006-07 la avena y el centeno difirieron significativamente del raigrás pero no entre si (Figura 1). En el análisis conjunto la producción de MS promedio fue de 5215, 5680 y 2607 kg ha<sup>-1</sup> para avena, centeno y raigrás, respectivamente. La producción de MS acumulada en los 5 años fue de 26000, 28500 y 13000 kg ha<sup>-1</sup> para avena, centeno y raigrás, respectivamente. Tomando como referencia contenidos de carbono de estas especies de alrededor del 42 % (Barraco et al., 2009) estas especies aportarían 10900, 12000 y 5500 kg C ha<sup>-1</sup>.

### Consumo hídrico de los CC

El contenido de agua útil en el suelo al momento del secado de los CC varió entre 3 y 173 mm, detectándose diferencias significativas entre tratamientos según la campaña considerada. En las campañas 2005-06, 2008-09 y 2009-10 los contenidos de agua útil de los tratamientos con CC fueron similares entre si y menores al tratamiento control. En la campaña 2006-07 solo centeno presento menores contenidos de agua que el tratamiento control, mientras que en la campaña 2007-8 la información disponible no fue suficiente para encontrar diferencias estadísticas signifi-

cativas entre tratamientos (Figura 2). En promedio para las 5 campañas los contenidos de agua útil fueron 49, 47 y 39 % menores que el tratamiento control para avena, centeno y raigrás, respectivamente.

### Rendimiento del cultivo de soja

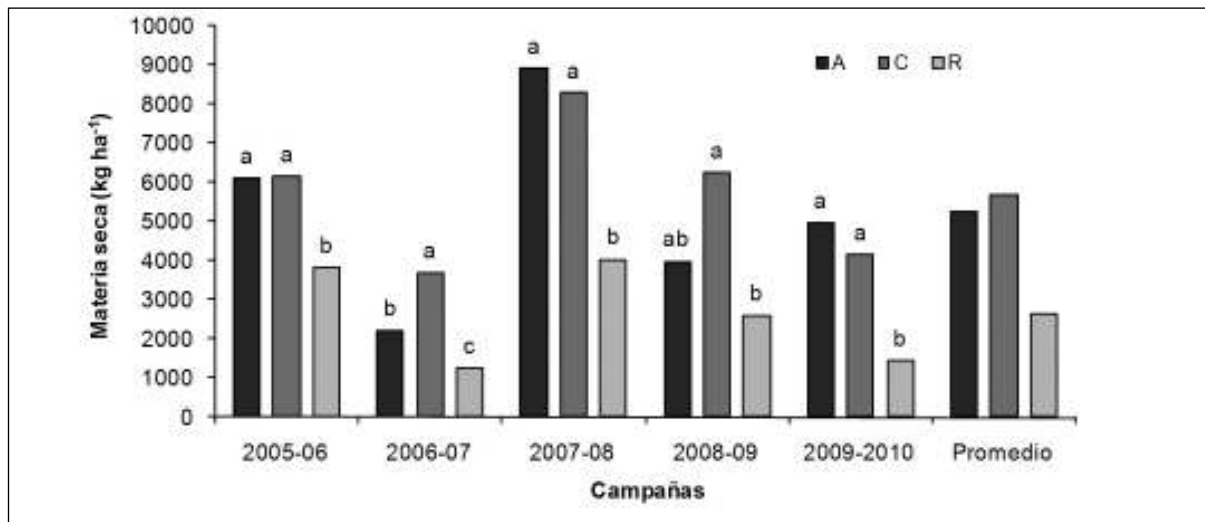
Los rendimientos de los cultivos de soja variaron entre 1670 y 4730 kg ha<sup>-1</sup>. La información disponible no permitió establecer diferencias significativas en la producción de grano entre el tratamiento control y los tratamientos con CC a excepción de la campaña 2007-8 donde avena y cente-

no tuvieron un rendimiento menor que el tratamiento testigo. (Figura 3).

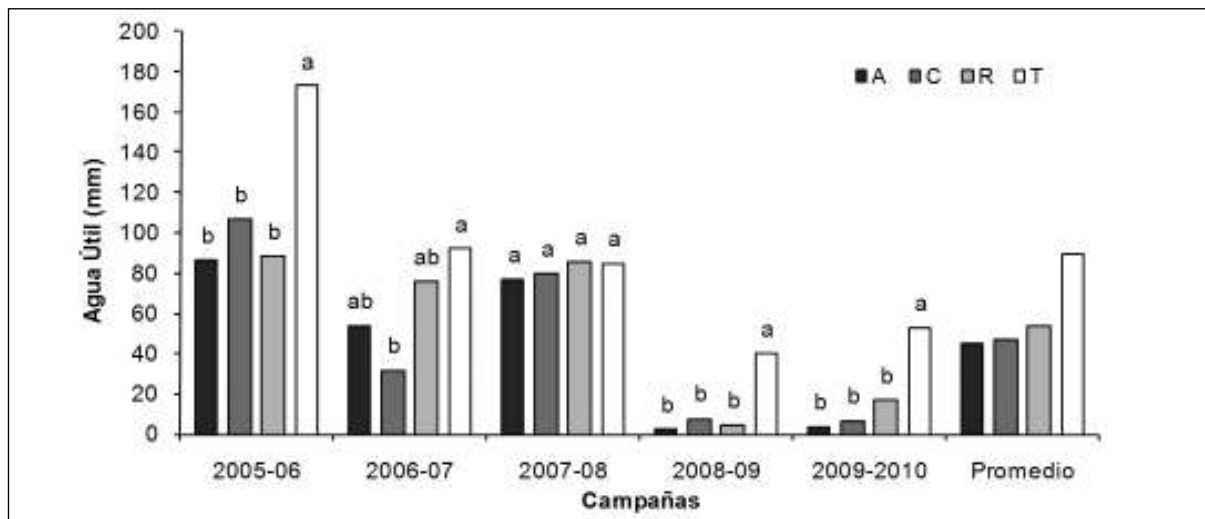
### Efecto de los CC sobre las propiedades físico-químicas de los suelos

Los resultados que se presentan en esta sección corresponden a las propiedades de suelo medidas en los distintos tratamientos en el otoño de 2009. En ese momento, el ensayo llevaba cuatro años con CC, por lo cual puede analizarse como el efecto acumulado de los tratamientos sobre las propiedades del suelo.

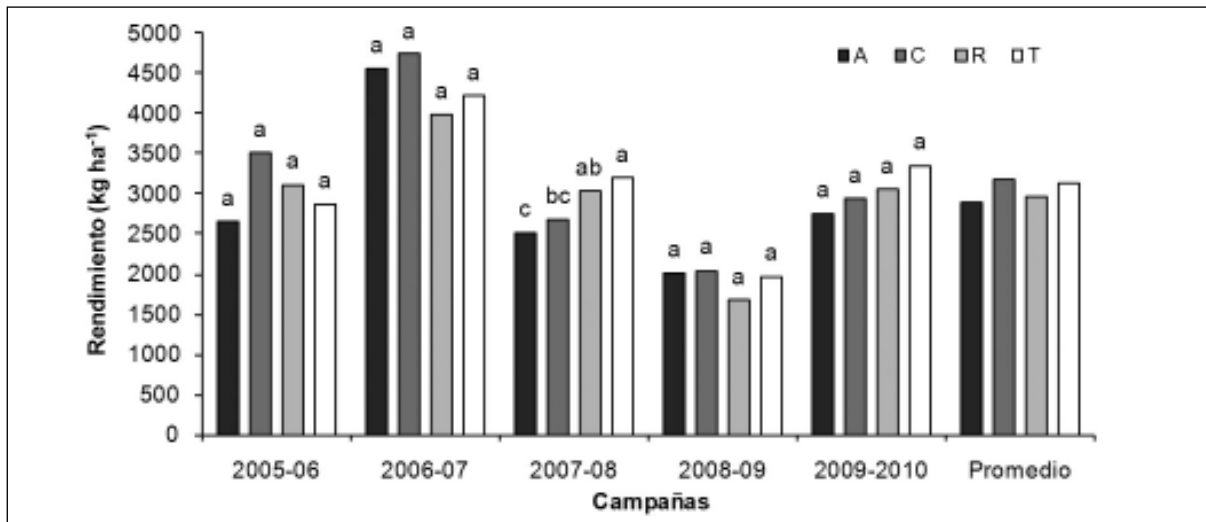
La infiltración acumulada varió entre 27,83 y



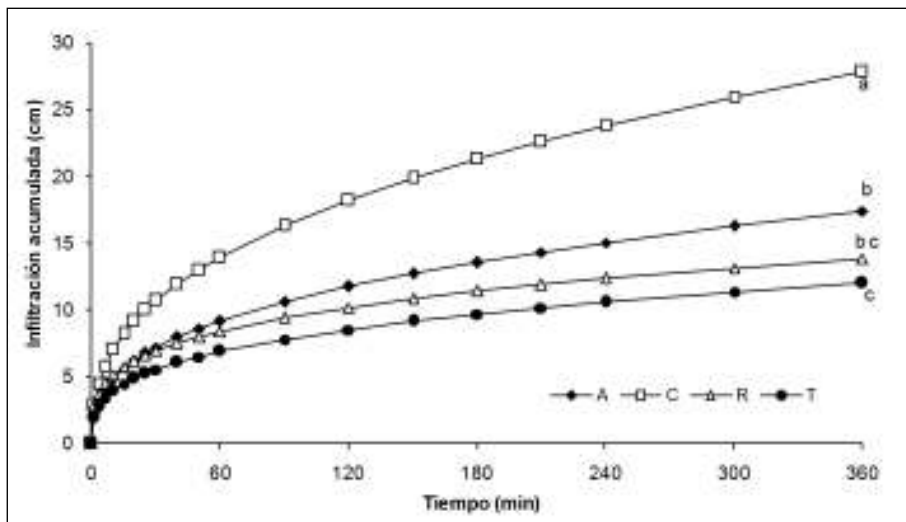
**Figura 1:** Materia seca producida al momento del secado según las especies utilizadas como cobertura. Avena (A), centeno (C) y raigrás (R). Letras diferentes muestran diferencias significativas entre especies (LSD  $p < 0,05$ ).



**Figura 2:** Contenido de agua útil en mm (0-140 cm) para los tratamientos testigo (T), avena (A), centeno (C) y raigrás (R) al momento de secado de los cultivos de cobertura. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p < 0,05$ ).



**Figura 3:** Rendimiento de grano del cultivo de soja que sucedió a los tratamientos Avena (A), centeno (C), raigrás (R) y testigo (T) en la rotación. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p < 0,05$ ).



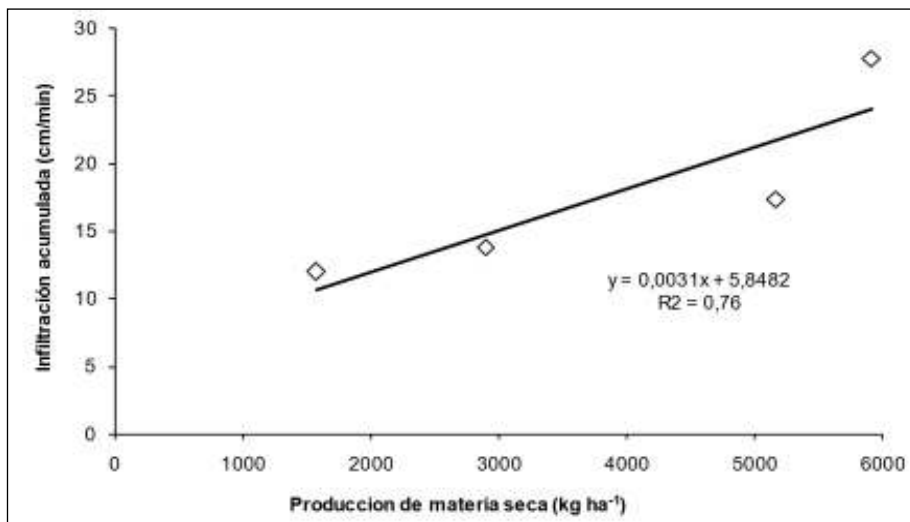
**Figura 4:** Efecto de la inclusión de especies utilizadas como cultivo de cobertura (CC) en la rotación soja-soja sobre la infiltración acumulada. Avena (A), centeno (C), raigrás (R) y testigo (T).

12,04 cm, comprobándose diferencias significativas entre tratamientos después de 6 hs de evaluación, con menor valor para el tratamiento testigo (Figura 4). 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 placas laminares. Esta variación en la cantidad de agua infiltrada muestra la contribución de especies invernales a las condiciones físicas generadas por manejo.

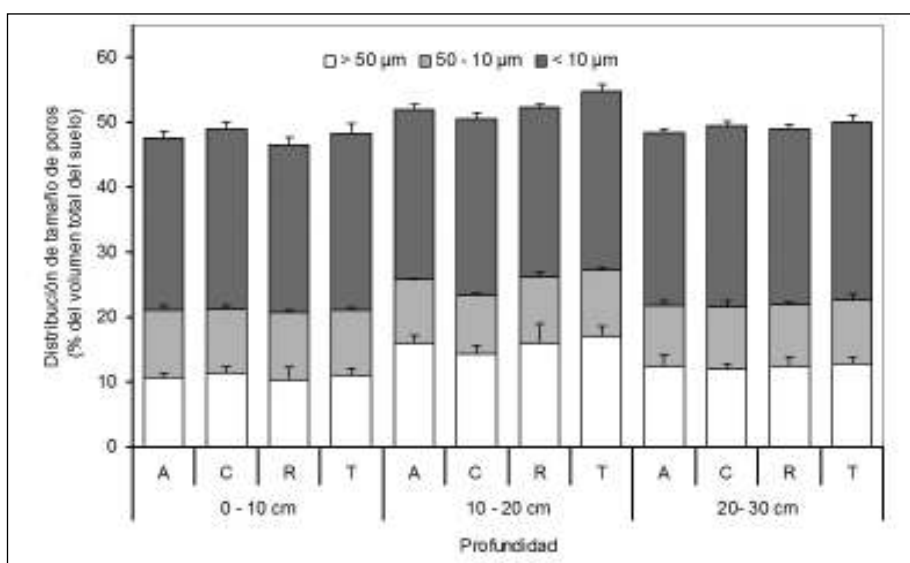
Inicialmente la velocidad de infiltración varió entre 2,89 y 1,96 cm, comprobándose diferencias significativas entre tratamientos. En los primeros minutos la velocidad de infiltración fue mayor en los tratamientos con centeno y raigrás, sin observarse diferencias entre ellos, en tanto que des-

pues de los diez minutos raigrás tuvo un comportamiento similar al testigo. Estas diferencias entre especies pueden estar asociadas primero a la distribución y volumen de raíces en los primeros cm del perfil y segundo a una asociación entre biomasa aérea y radicular. Esta segunda afirmación se puede observar en la Figura 5 donde la infiltración acumulada se relaciona con la biomasa aérea producida ( $r^2=0,76$ ;  $p<0,01$ ), siendo la mayor producción de biomasa aérea para centeno, intermedia para avena y menor para raigrás.

La introducción de los CC no causó cambios significativos en porosidad total (PT) ni en la distribución de tamaño de poros (Figura 6). Se hallaron valores promedio (en volumen total del suelo) de macroporos  $>10\mu\text{m}$  de 21,03, 25,63 y 22,02%



**Figura 5:** Relación entre materia seca aérea producida durante el ciclo de los cultivos de cobertura (promedio de 4 años de evaluación) e infiltración acumulada ( $p < 0,01$ ).



**Figura 6:** Distribución de tamaño de poros (>50 μm; 50 - 10 μm; <10 μm) para las profundidades 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, para los tratamientos Avena (A), Centeno (C), Rye grass (R) y Testigo (T). La sumatoria de las DTP para cada caso constituye la porosidad total del tratamiento. Ausencia de letras indica ausencia de diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las profundidades evaluadas.

para las tres profundidades evaluadas, 0-10, 10-20 y 20-30 cm, respectivamente. Se observa una tendencia hacia mayor preponderancia de macroporos en la capa intermedia, y en consecuencia, mayor PT. Estas tendencias están marcadas por las diferencias en poros estructurales (>50 μm), puesto que los macroporos más chicos (50-10 μm) tienden a permanecer estables en las distintas profundidades. Los poros más pequeños (<10 μm) presentaron valores similares en todas las profundidades evaluadas.

El resto de las propiedades físico-químicas evaluadas se muestran en la Tabla 2. La estabilidad estructural se expresa como diámetro medio ponderado (DMP en mm) donde mayores valores de DMP indican mayor estabilidad de agregados. La disgregación por inmersión rápida, que es el

tratamiento más agresivo, permitió distinguir entre tratamientos testigo y avena, que fueron significativamente mayores ( $p = 0,022$ ) que el de centeno. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para desagregación mecánica y microfisuración. La incorporación de CC alivió la densificación del suelo evaluada mediante densidad aparente ( $p = 0,025$ ) solo en el estrato de 10-20 cm, registrándose mayor densidad aparente en el tratamiento testigo ( $p = 0,025$ ). Estos resultados que indican disminuciones en densidad aparente en respuesta a la incorporación de CC podrían estar relacionados con el mayor aporte de residuos en la rotación. El perfil de humedad mostró diferencias significativas entre tratamientos para los tres estratos evaluados, presentando los tratamientos Avena y

**Tabla 2:** Estabilidad Estructural (DMP, mm), Densidad aparente ( $Mg\ m^{-3}$ ); Resistencia a la Penetración (KPa), Humedad gravimétrica (%), carbono orgánico (%), pH y Fósforo disponible (P Bray, ppm) para los tratamientos Avena, Centeno, raigrás y Testigo. Se muestra el Error estándar de la media (EE) para cada variable.

Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada profundidad ( $P < 0,05$ ).

Propiedad	Avena	Centeno	Rye grass	Testigo	EE
<b>Estabilidad Estructural (DMP, mm)</b>					
Inmersión rápida	1,26 (a)	0,94 (b)	1,06 (ab)	1,29 (a)	0,07
Disgregación mecánica	2,39 (a)	2,41 (a)	2,36 (a)	2,51 (a)	0,07
Microfisuración	2,81 (a)	2,60 (a)	2,58 (a)	2,65 (a)	0,08
<b>Densidad Aparente (<math>Mg\ m^{-3}</math>)</b>					
0 – 10 cm	1,44 (a)	1,43 (a)	1,46 (a)	1,42 (a)	0,02
10 – 20 cm	1,46 (b)	1,48 (ab)	1,45 (b)	1,50 (a)	0,01
20 – 30 cm	1,42 (a)	1,49 (a)	1,41 (a)	1,40 (a)	0,03
<b>Resistencia a la penetración (KPa)</b>					
0 – 10 cm	1879 (b)	1864 (b)	2252 (a)	2361 (a)	51
10 – 20 cm	2627(a)	2377 (a)	2850 (a)	3043 (a)	117
20 – 30 cm	2298 (ab)	1816 (b)	2632 (a)	2874 (a)	168
<b>Humedad gravimétrica (%)</b>					
0 – 10 cm	14,43 (a)	13,70(a)	11,53(b)	10,76(b)	0,50
10 – 20 cm	15,22(a)	14,73(a)	13,36(b)	13,13(b)	0,29
20 – 30 cm	14,47(a)	14,94(a)	13,01(b)	12,70(b)	0,29
<b>Carbono orgánico (%)</b>					
0 – 10 cm	1,88 (a)	1,72 (b)	1,66 (bc)	1,54 (c)	0,05
10 – 20 cm	1,10 (a)	1,20 (a)	1,05 (a)	1,10 (a)	0,05
20 – 30 cm	0,77 (a)	0,85 (a)	0,77 (a)	0,96 (a)	0,07
<b>pH</b>					
0 – 10 cm	5,77 (a)	5,77 (a)	5,72 (a)	5,85 (a)	0,05
10 – 20 cm	5,80 (a)	5,80 (a)	5,77 (a)	5,87 (a)	0,04
20 – 30 cm	6,11 (a)	5,95 (a)	5,99 (a)	6,04 (a)	0,11
<b>P extractable (ppm)</b>					
0 – 10 cm	44,57 (a)	30,42 (a)	52,03 (a)	37,65 (a)	4,78
10 – 20 cm	9,38 (a)	7,62 (a)	9,31 (a)	10,70 (a)	1,08
20 – 30 cm	9,38 (a)	7,65 (a)	9,13 (a)	10,71 (a)	0,89

Centeno mayores contenidos hídricos que raigrás y testigo. Dado que la resistencia a la penetración depende fuertemente del contenido de humedad del suelo, en el análisis de resistencia a la penetración se utilizó el contenido hídrico como covariable. Como resultado, se observa que la resistencia a la penetración fue menor en los tratamientos Centeno y Avena en el estrato más superficial ( $p=0,022$ ), no presentando diferencias significativas en la capa subsuperficial inmediata. En la capa más profunda, nuevamente Centeno presentó menor resistencia que raigrás y testigo, aunque no

se diferenció de Avena. Este comportamiento podría estar relacionado con el patrón de desarrollo de los CC, dado que el Centeno desarrolla más biomasa que Avena, y ésta más que raigrás. Puede suponerse que el patrón de desarrollo radical sigue este ordenamiento, haciendo que los tratamientos con mayor cantidad de raíces presenten menor resistencia a la penetración. En muchos casos se superó el límite crítico de 2000 KPa, por encima del cual se afecta el crecimiento de raíces de muchos cultivos.

En cuanto a las propiedades químicas evalua-



das en el perfil de suelo, el carbono orgánico presentó diferencias significativas ( $p=0,008$ ), pero sólo en la capa más superficial, mostrando el tratamiento testigo menor concentración que los tratamientos con CC (excepto raigrás, que no logra diferenciarse, probablemente debido al menor aporte de residuos de este cultivo al suelo). Los parámetros pH y P extractable no presentaron diferencias entre tratamientos. Para el caso del pH, se observó una tendencia hacia una acidificación en los estratos más superficiales en los tratamientos con CC, probablemente debido al incremento de la actividad biológica por la descomposición de los residuos de los CC.

### Características de los residuos de CC

La caracterización de los residuos de los CC y su cinética de descomposición permite determinar su aptitud para ser incluidos en las rotaciones con soja, considerando que uno de los objetivos más importantes que se persigue al momento de implantar un CC es el mantenimiento de la cobertura del suelo. Las tasas de descomposición de los residuos de los cultivos están determinadas por las condiciones edáfico-ambientales (temperatura, humedad) y por la calidad química de los residuos. En este sentido, la concentración de polímeros estructurales, tales como lignina y celulosa, es una de las propiedades más importantes. En la tabla 3 se muestran las propiedades iniciales de los residuos de las distintas especies utilizadas como CC.

Los distintos estados de desarrollo alcanzados por los CC se manifestaron en sus características químicas. Avena y Centeno alcanzaron un estado de madurez mayor al momento del secado y tuvieron mayor proporción de C que raigrás. Inversamente, raigrás presentó la mayor concentración de N, seguido por Avena y luego Centeno. La relación C:N se ha utilizado frecuentemente

como una herramienta para predecir la tasa de descomposición de los residuos de los cultivos (Heal et al., 1997). En las especies utilizadas en este experimento, la relación C:N se ordenó de la siguiente manera: Centeno>Avena>raigrás. Éste último presentó valores de esta relación menores que 30:1, indicando que probablemente ocurra mineralización neta (Allison, 1966). Considerando la calidad química de los residuos de CC, Centeno tuvo mayor proporción de polímeros estructurales que Avena. Raigrás presentó la misma proporción de celulosa que Avena, y una concentración de lignina intermedia que no se diferenció significativamente de las otras dos especies. En especies no leguminosas como las utilizadas en este experimento, los enlaces de lignina resultan en una mayor proporción de materia seca resistente a la descomposición (Van Soest, 1964). Con respecto al porcentaje de P, Centeno y raigrás presentaron mayor concentración que Avena. Con estos datos (y los de producción de materia seca) puede calcularse la cantidad de P que absorbieron los CC durante su crecimiento, y que no estará inmediatamente disponible para su absorción por parte del cultivo de soja posterior. En este caso, Centeno y Avena absorbieron mayor cantidad de P que raigrás ( $7,62 \pm 1,83 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $7,97 \pm 0,46 \text{ kg ha}^{-1}$ , y  $2,84 \pm 1,08 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente). La relación C:P de Avena fue significativamente mayor que las de los residuos de Centeno y raigrás. En ninguno de los casos se superó el umbral de 300 para la relación C:P, por encima del cual puede ocurrir inmovilización neta (Brady y Weil, 1996; Iyamuremye et al., 1996).

### Descomposición de los residuos de CC y liberación de P

Las curvas de descomposición de biomasa de los residuos de CC (expresadas en  $\text{kg ha}^{-1}$ ) se muestran en la Figura 7. Los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $k$

**Tabla 3:** Propiedades iniciales de los residuos de las distintas especies de cultivos de cobertura. En la última fila se muestra el error estándar (EE) de la media para cada variable.

Letras distintas verticalmente muestran diferencias significativas entre especies ( $P < 0,05$ ).

Especie	C (%)	N (%)	P (%)	C : N	C : P	Lignina (%)	Celulosa (%)
Avena	43,47(a)	1,43 (b)	0,17 (b)	30,43 (b)	265 (a)	3,17 (b)	24,23 (b)
Centeno	43,37 (a)	1,24 (c)	0,21 (a)	34,93 (a)	210 (b)	4,40 (a)	27,90 (a)
Rye grass	42,50 (b)	2,99 (a)	0,22 (a)	14,23 (c)	197 (b)	3,57 (ab)	23,03 (b)
EE	0,13	0,03	0,01	0,55	10	0,27	0,69

**Tabla 4:** Parámetros (*a*, *b* y *k*) del modelo de decaimiento exponencial de primer orden y *r*<sup>2</sup> del ajuste para la descomposición de biomasa y liberación de P de residuos de CC.

Letras distintas horizontalmente indican diferencias significativas entre tratamientos (*P* < 0,05).

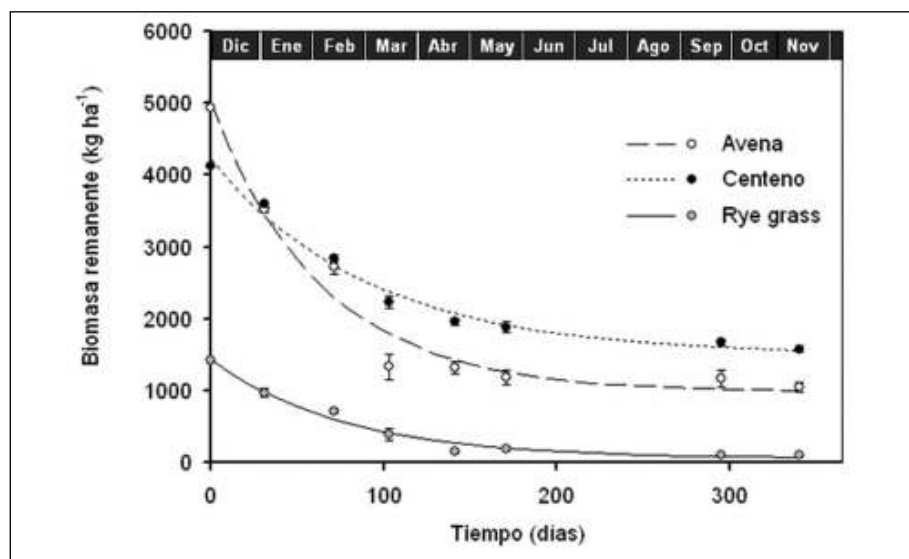
Parámetro	Biomasa			Fósforo		
	Avena	Centeno	Rye grass	Avena	Centeno	Rye grass
<i>a</i>	978 (b)	1494 (a)	53 (c)	1,78 (b)	2,04 (a)	-0,03 (c)
<i>b</i>	4037 (a)	2728 (b)	1382 (c)	5,79 (a)	5,57 (a)	2,86 (b)
<i>k</i>	0,016 (a)	0,011 (b)	0,013 (ab)	0,012 (b)	0,016 (a)	0,010 (b)
<i>r</i> <sup>2</sup>	0,97	0,99	0,98	0,93	0,99	0,94

del modelo de decaimiento exponencial de primer orden ajustado a los datos experimentales para cada una de las especies estudiadas se muestran en la Tabla 5 (izquierda). Es necesario notar que el modelo seleccionado ajustó adecuadamente los datos experimentales, presentando valores de *r*<sup>2</sup> en el rango 0,97-0,99 (Tabla 4).

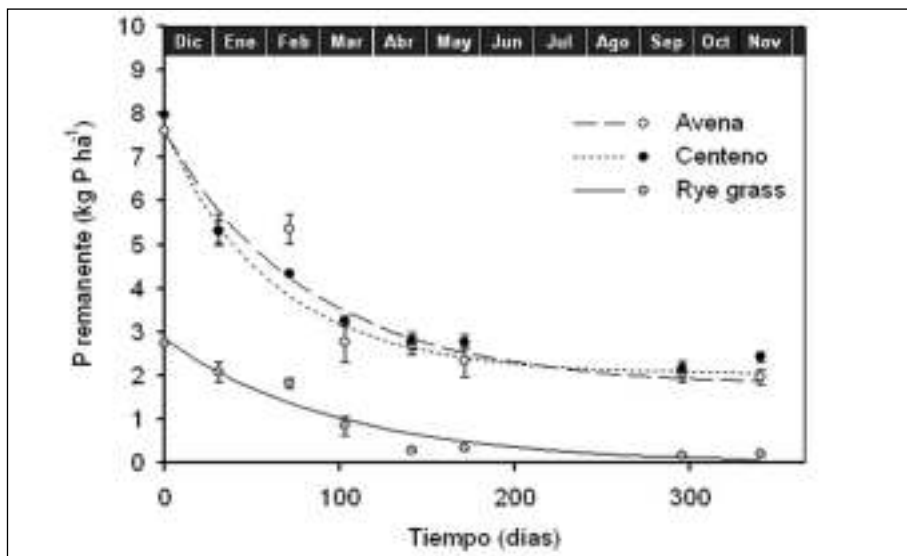
La tasa de descomposición (*k*) de residuos de Avena resultó mayor que la de Centeno, no diferenciándose de raigrás. Estos resultados son los esperados en función de composición química de los residuos (Ha et al., 2007; Johnson et al., 2007). Centeno fue la especie que mantuvo mayores niveles de cobertura durante el año estudiado, considerando el parámetro *a*, que muestra la biomasa que permanece constante. Esto estaría relacionado con los mayores aportes y la menor tasa de descomposición, así como también con factores de tipo físico-químicos del ambiente en el cual se lleva a cabo la descomposición. El parámetro *b* muestra la cantidad de residuos (en kg ha<sup>-1</sup>) que se descomponen durante el año. Es inte-

resante notar que si bien los aportes de materia seca de Avena y Centeno son similares, los residuos de la primera se descomponen con una tasa significativamente mayor, permaneciendo como consecuencia, el suelo con menor cobertura en el tratamiento que utiliza Avena como CC.

Las curvas de liberación del P de los residuos para cada una de las especies se muestran en la Figura 8. Los parámetros *a*, *b* y *k* del modelo de decaimiento exponencial ajustado a los datos experimentales se muestran en la Tabla 4 (derecha). Al igual que para los datos de biomasa, en este caso se lograron ajustes adecuados, con valores de *r*<sup>2</sup> en el rango 0,93-0,99 (Tabla 4). Esto muestra que tiene lugar una liberación rápida de P en las primeras etapas de la descomposición, probablemente debido a la mineralización de formas lábiles de P, así como también de iones solubles (Paul y Clark, 1989). Luego tiene lugar la liberación lenta del P de compuestos orgánicos más resistentes (Lupwayi et al., 2007). La tasa de liberación de P de los residuos de Centeno fue mayor que las de Avena



**Figura 7:** Evolución de la biomasa remanente de residuos de CC durante su descomposición a lo largo de un año. Los puntos muestran los datos experimentales, las barras verticales el error estándar, y las líneas el modelo de decaimiento exponencial ajustado para cada especie. La barra superior indica los meses del año.



**Figura 8:** Evolución del P remanente de residuos de CC durante su descomposición anual. Los puntos muestran los datos experimentales, las barras verticales el error estándar, y las líneas el modelo de decaimiento exponencial ajustado para cada especie. La barra superior muestra los meses del año.

y raigrás. En este caso el ordenamiento es distinto que el obtenido para las tasas de descomposición de biomasa de los CC. Esto implica que los procesos de descomposición y de mineralización de P son diferentes, aunque están estrechamente asociados (Baggie et al., 2004).

En este caso toma relevancia el parámetro b del modelo ajustado, puesto que representa la cantidad de P que es liberado durante el año posterior al secado de los CC. Centeno y Avena liberan mayor cantidad de P ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) que raigrás. Sin embargo, considerando la cantidad absorbida por cada uno de los cultivos, Centeno y Avena liberan al cabo de un año, aproximadamente el 70 % del P absorbido durante su desarrollo, mientras que raigrás libera el 100 %. Es importante notar que la mineralización del P de los residuos se lleva a cabo casi totalmente en el período de crecimiento del cultivo de soja (Diciembre-Marzo), por lo cual los CC reciclarían rápidamente el P del suelo, dejándolo disponible en el corto plazo, disminuyendo las probabilidades de afectar negativamente la nutrición fosforada del cultivo principal en la rotación.

## DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

Bajo las condiciones hídricas de este estudio los datos obtenidos nos permiten concluir que si bien el contenido hídrico del suelo al momento del secado de los CC fue menor que el tratamiento control, no provocó un impacto negativo sobre el rendimiento de soja en todas las campañas

evaluadas.

En promedio de las cinco campañas, Centeno fue la especie de mayor producción de MS y por consiguiente aquella que más carbono aportó al sistema.

Luego de 4 años de efectos acumulados se encontraron diferencias en las propiedades físicas de los suelos (infiltración, velocidad de infiltración, resistencia a la penetración, densidad aparente) en los tratamientos con CC respecto al monocultivo de soja, principalmente en aquellos que aportan altos volúmenes de residuos (centeno y avena). Estos efectos podrían estar relacionados al aporte de raíces y al incremento en la concentración de carbono orgánico de la capa más superficial de suelo de los tratamientos con CC. La falta de efecto de los CC sobre algunas propiedades físicas del suelo, que son comúnmente sensibles a cambios en el manejo, como por ejemplo, estabilidad estructural o distribución de tamaño de poros podría atribuirse al momento de la rotación en el cual se realizó el muestreo (siembra de CC). Probablemente el cultivo de soja, que antecedió al muestreo, pudo conducir a resultados homogéneos de las variables evaluadas, opacando el efecto de los CC sobre las mismas. Es importante resaltar que el período analizado se caracterizó por una marcada sequía, lo cual pudo haber condicionado los resultados.

Las especies utilizadas como CC presentaron distintos aportes de biomasa aérea al suelo, así como también diferentes tasas de descomposición. La especie mejor adaptada en función de

estos parámetros fue Centeno, puesto que permitió mantener el suelo con mayores niveles de cobertura a lo largo del año estudiado. La mineralización del P de los residuos siguió patrones similares a los de la descomposición. Sin embargo, las tasas de mineralización tuvieron un ordenamiento diferente al de las tasas de descomposición, sugiriendo que los procesos de descomposición y mineralización de P son diferentes, aunque están estrechamente asociados. Los CC liberaron el 64 % del P que absorbieron durante su crecimiento en el período Diciembre-Marzo (valor promedio para las tres especies estudiadas).

En conclusión, este estudio muestra la factibilidad de incorporar CC en sistemas agrícolas de la pampa arenosa. La tendencia general muestra que el rendimiento de soja no disminuye significativamente como consecuencia del uso consuntivo de agua por parte de los CC. Por otra parte, los CC incrementan los tenores de carbono orgánico y mejoran la condición física de los suelos en el corto plazo (4 años). Dentro de las especies estudiadas, el centeno fue la que mostró mejor adaptación a las condiciones del sitio, en términos de producción de biomasa y mantenimiento de la cobertura del suelo. Este aspecto es de suma importancia, tanto desde un punto de vista ambiental como productivo: el aporte de residuos es la fuente de materia orgánica de los suelos que permite conservar su capacidad productiva y simultáneamente, mantener el suelo cubierto, reduciendo las pérdidas de agua por evaporación e incrementando la eficiencia de uso de las precipitaciones.

Estudios futuros deberían contemplar diferentes momentos de secado de estas especies de CC para ajustar una estrategia de manejo de acuerdo a las condiciones ambientales de cada año en particular y de esta manera no comprometer la sustentabilidad del sistema.

## BIBLIOGRAFIA

- Analytical Software, 2000. Statistix7. User's manual. Analytical Software, Tallahassee, FL. USA. 359 pp.
- Allison FE. 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agr.* 18: 219- 258.
- Baggie L, DL Rowell, JS Robinson y GP Warren. 2004. Decomposition and phosphorus release from organic residues as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. *Agroforest Syst* 63: 125-131.
- Barraco M, Álvarez C, Scianca C. 2009. Aporte de nutrientes y rastrojo de diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura. En Jornadas Nacionales "Sistemas Productivos Sustentables: Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura" Organizado por el Comité de Química de Suelos de la AACS, Bahía Blanca los días 10 y 11 de Agosto de 2009. En Cd.
- Bathke GR y GR Blake. 1984. Effects of soybean on soil properties related to soil erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1398-1401.
- Brady NC y RR Weil. 1996. The nature and properties of soils. New Jersey; Prentice Hall.
- Díaz-Zorita M, DE Buschiazzi y N Peinemann. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semiarid Argentine Pampa. *Agron. J.* 91: 276-279.
- Díaz Zorita M, G Duarte y J Groove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65:1-18.
- Fernández P, J Luque y J Paoloni. 1971. Análisis de la infiltración y su aplicación para los diseños de riego en el valle inferior de Río Colorado. *RIA, Serie 3*, 8: 1-29.
- Goering HK y PJ Van Soest. 1970. Forage fibre analysis; *ARS Agric. Handb*; 379; 1-12. (USDA).
- Ha KV, P Marschner, EK Bünemann y RJ Smernik. 2007. Chemical changes and phosphorus release during decomposition of pea residues in soil. *Soil Biol. Biochem.* 39: 2696-2699.
- Heal OW, JM Anderson y MJ Swift. 1997. Plant Litter Quality and Decomposition: An Historical Overview. Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition (G. Cadish and K.E. Killer; eds.): 3-30.
- Iyamuremye F, RP Dick y J Baham. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics.1. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Sci.* 167:426-435.
- Johnson JMF, NW Barbour y SL Weyers. 2007. Chemical Composition of Crop Biomass impacts Its Decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:155-162.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci* 47: 425-437.
- Lupwayi NZ, GW Clayton, JT O'Donovan, KN Harker, TK Turkington y YK Soon. 2007. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Soil Till. Res.* 95: 231-239.
- Meriles JM, S Vargas Gil, C Conforto, G Figoni, E Lovera, GJ March y CA Guzmán. 2009. Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. *Soil Till. Res.* 103:

271-281

- Paul EA y FE Clark. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press Inc.; San Diego; CA.
- Quiroga A, D Funaro y R Fernández. 2005. Propiedades edáficas en Molisoles bajo siembra directa. Boletín de divulgación técnica N° 87. Pág 3-17.
- SAGYP- INTA. 1989. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1: 500000. Proyecto PNUD ARG 85/019, editado por Secretaría de agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras. 472 pp.
- Reynolds W, D Elrick y E Youngs. 2002. Single-ring and double – or concentric – ring infiltrometers. p. 821-826. En: J.

H. Done y G. Clarke Topp (ed). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical methods. N° 5 in the Soil Science Society of America Book Series. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.

- Van Soest P.J. 1964. Symposium on nutrition and forages and pastures: New chemical procedures for evaluating forages. J, Anim.Sci. 23: 838-845.
  - Zhu C, CJ Gantzer, SH Anderson, EE Alberts y PR Beuselinck. 1989 Runoff, Soil, and Dissolved Nutrient Losses from No-Till Soybean with Winter Cover Crops. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1210-1214.
-

## Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la Región Semiárida Pampeana

### INTRODUCCIÓN

En la región pampeana se ha intensificado el uso agrícola de los suelos, se pasó de esquemas mixtos con 4-5 años de pasturas perennes seguido de 4-8 años de cultivos anuales a secuencias continuas de cereales y oleaginosas anuales (De Battista et al., 1992). No solo se han registrado cambios en cuanto a la expansión de la superficie intensificada sino en la productividad de los cultivos debido al mayor uso de tecnologías (Satorre 2003), lo cual ha provocado escasa reposición del carbono y nutrientes al suelo (PNCER 022411, 2009).

Los cultivos de cobertura (CC) pueden ser una buena alternativa para mantener o atenuar la pérdida de carbono de los suelos, prevenir la erosión, aumentar la infiltración, capturar nutrientes reduciendo las pérdidas por lixiviación y contribuir al control de malezas (Daliparthy et al., 1994; Unger y Vigil, 1998). Esta práctica, consiste en sembrar un cultivo con el fin de generar cobertura entre dos cultivos de cosecha, favoreciendo positivamente los balances de carbono en los sistemas de agricultura continua. Sin embargo, los resultados de incluir CC en la rotación frecuentemente resultan muy variables entre sitios (Unger y Vigil, 1998), dada la cantidad de factores involucrados (clima, suelo, manejo) y la fuerte interacción entre ellos durante el ciclo del CC y el barbecho posterior (Galantini, 2008).

Fernández et al., (2005) y Duarte, (2002), en estudios desarrollados sobre Haplustoles de la región semiárida y subhúmeda pampeana comprobaron que en años con precipitaciones normales, durante barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua, los CC aumentaron la eficiencia en el uso del agua (EUA) respecto del testigo (sin CC). Sin embargo, también se

admite que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002; Scianca et al., 2008, Munawar et al., 1990).

Otro aspecto potencialmente beneficioso de los CC sería la absorción de nitratos con la consecuente retención del nitrógeno (N) en su biomasa lo que disminuiría las pérdidas por lixiviación que ocurrirían sin presencia del CC, principalmente durante barbechos largos. Reicosky y Archer, (2005) mencionan que el N incorporado al suelo proveniente de biomasa será más eficientemente utilizado por las plantas que el N derivado de fertilizantes.

Dependiendo de las necesidades de manejo del cultivo, los CC suelen secarse con cierta antelación a la siembra del próximo cultivo. En general se comprobó que no existe relación estrecha entre los contenidos de humedad de suelo y nitratos al momento de secar los CC y su influencia sobre el cultivo siguiente (Scianca, 2010). Álvarez et al., (2006), Fernández et al., (2007), y Scianca, (2010) han encontrado rendimientos de cultivos de maíz y soja, iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesores, mientras que Álvarez et al., (2006) en Hapludoles típicos del noroeste bonaerense no encontraron diferencias en el rendimiento de soja establecida sobre CC secados en distintos momentos.

En base a lo expuesto se estableció como objetivo de trabajo:

- Evaluar la productividad del cultivo de maíz sobre el CC fertilizado y sin fertilizar.
- Evaluar el efecto de la fertilización en el CC y en el maíz sobre su productividad con respecto a la fertilización solamente en el CC.
- Evaluar la incidencia de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia del uso del agua en el CC y en el maíz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el campo anexo de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil (latitud: 36° 31' 00" S y longitud 64° 01' 00" W). El cultivo a utilizar como CC fue centeno (*Secale cereale* variedad Quehué) y se sembró a una densidad de 200 plantas m<sup>-2</sup> el día 10 de abril de 2010.

Se utilizó un diseño en bloques al azar con cinco repeticiones. Dentro de cada bloque se establecieron 3 tratamientos en parcelas de 10 x 5 m. Los tratamientos consistieron en 3 niveles de nitrógeno aplicados al CC: 0 (CT), 40 (C 40) y 80 kg N ha<sup>-1</sup> (C 80) aplicados en Z 21 (Zadoks et al., 1974) como solución de urea y nitrato de amonio líquido (UAN). Luego del secado del CC (12 de octubre) en todos los tratamientos se sembró maíz como cultivo de verano (20 de octubre) y sobre los tratamientos de C 40 y C 80 en parcelas divididas se aplicó 60 (C 40+M60) y 120 (C 80+M120) kg N ha<sup>-1</sup> en el estadio de V4-V6 respectivamente (Ritchie y Hanway, 1982).

La humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico cada 20 cm hasta 140 cm de profundidad en el CC y en el cultivo de maíz. Se calculó el contenido de agua útil (AU) considerando la densidad aparente y el punto de marchitez permanente (PMP) para cada estrato. En muestras de suelo (0-20 cm de profundidad) se determinó el contenido de materia orgánica total (Walkley y Black, 1934), fósforo extractable (Bray y Kurtz, 1945) y textura por el método de sedimentación. El nitrógeno de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en suelo (0-20, 20-60 y 60-100 cm de profundidad) se determinó por extracción y colorimetría con ácido cromotrópico. Luego se estimó el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo (kg ha<sup>-1</sup>) con la densidad aparente correspondiente a cada profundidad. Los muestreos para determinar contenido de humedad de suelo y nitratos del CC se realizaron en los tratamientos testigo y fertilizados (80 kg N ha<sup>-1</sup>) de cada parcela en tres repeticiones por tratamiento y por bloque. Las variables, AU y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, se determinaron en los siguientes momentos: 1) a la siembra del CC; 2) en el momento de determinar biomasa del CC; 3) en la fecha de secado de CC; 4) a la siembra del cultivo de maíz; 5) R21 y 6) R61 (Ritchie y Hanway, 1982).

Se realizaron muestreos para evaluar la mate-

ria seca (MS) del CC mediante cortes de la parte aérea en 0,25 m<sup>2</sup> en cada parcela. Las muestras fueron llevadas a peso seco en estufa a 60°C. Por otra parte se evaluó el residuo de la superficie del suelo mediante recolección del material en 0,25 m<sup>2</sup> a la siembra, en V6 y en cosecha del maíz. Tanto las muestras de MS de los CC como también los residuos fueron analizados por sus contenidos de carbono por combustión seca (LECO, modelo CR-12), nitrógeno (semi-micro Kjeldahl) y fósforo (espectrómetro de emisión atómica por plasma de acoplamiento inductivo).

En estadios de madurez fisiológica (20 de abril de 2011) se determinó por cosecha manual (2 m<sup>2</sup>) y trilladora estacionaria la producción de granos, peso de 1000 semillas, número de granos por hilera y número de hileras por espiga.

Se calculó el uso consuntivo de agua en mm (UC) del CC y de maíz, a partir de las precipitaciones y el cambio en el contenido de agua almacenada en el suelo desde la siembra hasta el secado del CC y desde siembra hasta la cosecha de maíz (López y Arrue, 1997).

Se determinó la eficiencia en la utilización del agua (EUA kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) de CC y de maíz, mediante el cociente entre la materia seca (kg ha<sup>-1</sup>) producida en CC y grano producido en maíz (kg ha<sup>-1</sup>). La eficiencia agronómica de uso del nitrógeno se calculó como la relación entre la variación en el incremento de la productividad (kg de MS, Kg de grano ha<sup>-1</sup>) y la dosis de N aplicado como fertilizante.

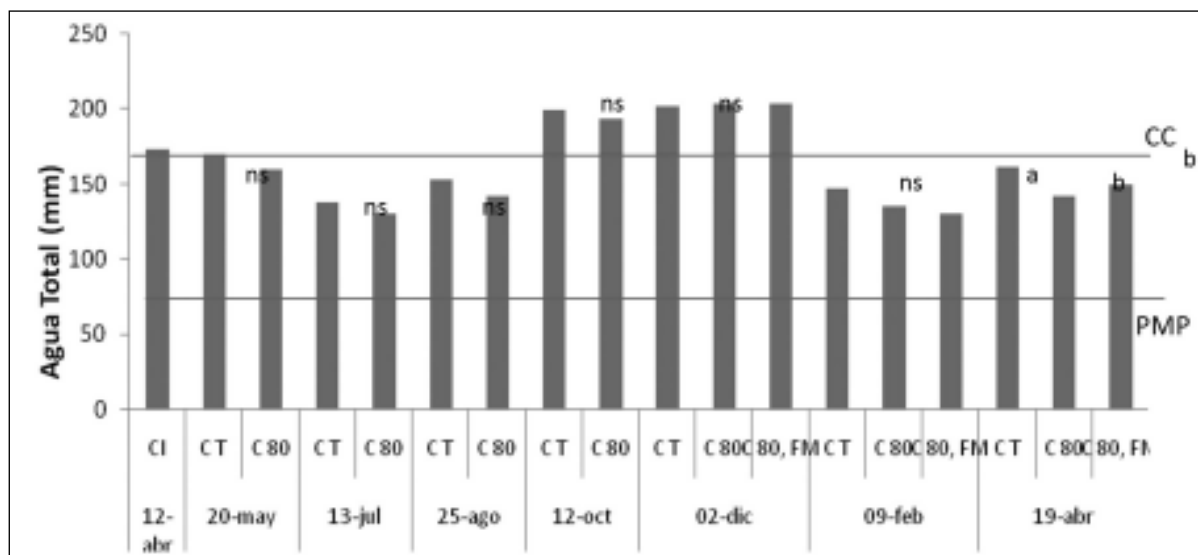
Los resultados se analizaron por ANOVA utilizando el programa Infostat (Infostat, 2008) y las diferencias entre medias mediante el test de LSD ( $p < 0,1$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Agua total

En la Figura 1 se presentan los contenidos de agua total desde la siembra del CC hasta la cosecha del CV. A la siembra del cultivo de cobertura el contenido inicial (CI) de agua fue de 173 mm la cual correspondió al 90 % de la capacidad de retener agua útil.

Durante el macollaje, y en el muestreo del 20-mayo, el contenido de agua total fue similar entre los dos tratamientos no presentando diferencias significativas, pero resulta importante destacar



**Figura 1:** Contenidos de agua total durante el ciclo de cultivo de cobertura (contenido inicial, 12-abr, macollaje: 20-may, 13-7 y encañazón: 25-ago) y durante el ciclo de cultivo de maíz (siembra: 12-oct, fertilización: 02-dic, floración: 09-feb y cosecha: 19-abr). CI: contenido inicial, CT: cultivo de cobertura testigo, C 80: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg de N/ha, C 80,FM: cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg de N ha<sup>-1</sup> mas 120 kg de N ha<sup>-1</sup> en el cultivo de maíz. CC: capacidad de campo, PMP: punto de marchitez permanente.

Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas. ns: no significativo.

12-abr al 20-may	20-may al 13-jul	13-jul al 25-ago	25-ago al 12-oct	12-oct al 02-dic	02-dic al 09-feb	09-feb al 19-abr
1 mm	23 mm	1 mm	154 mm	87 mm	269 mm	113 mm

**Tabla 1:** Precipitaciones registradas entre fechas de muestreos de humedad.

que en CT los contenidos de agua total en los primeros 60 cm fueron escasos, mientras que en C 80 se registró la misma tendencia hasta los 100 cm de profundidad, aunque a 120 y a 140 cm en CT y C 80 respectivamente se registró agua gravitacional aportada por la presencia de la napa freática.

También en macollaje pero en el muestreo del 13-jul el contenido de agua total del suelo fue disminuyendo en ambos tratamientos, donde se registraron valores cercanos al punto de marchitez permanente y la presencia de agua gravitacional a mayor profundidad que en el muestreo anterior (140 cm).

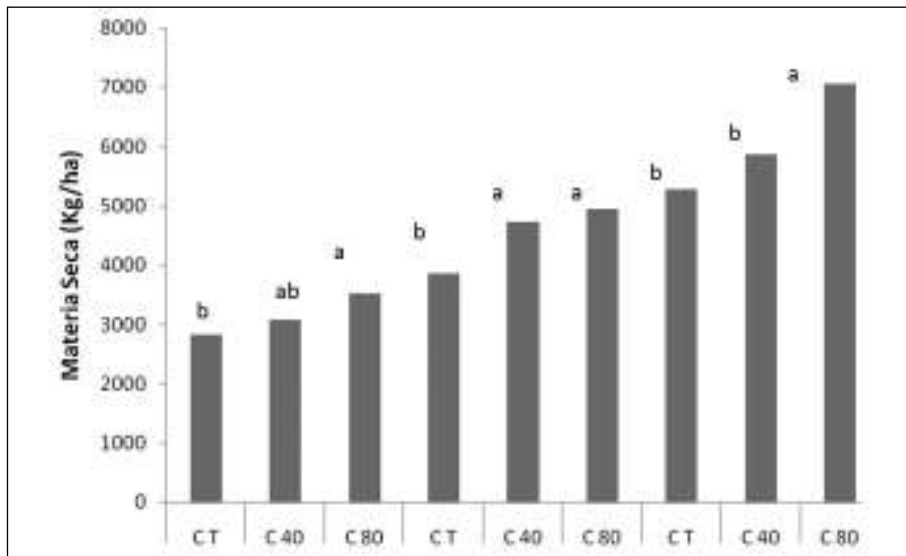
Para la fecha del 25-ago los contenidos de agua total aumentaron con respecto a la fecha del 13-jul, cabe aclarar que en ese periodo solo llovió 1 mm (Tabla 1), pero se corroboró que la influencia de la napa se encontraba a los 100 cm para CT y a los 120 cm para C 80. Entre el 25-ago y la siembra del maíz las precipitaciones registradas fueron de 154 mm, mayor a la capacidad de retener agua del suelo (de 105 mm hasta los 140 cm de

profundidad), y sumado a la influencia de la napa freática resultó que en ambos tratamientos la cantidad de agua total fue superior al contenido en capacidad de campo. Desde la siembra del maíz a la fertilización en V6 (02-dic) las precipitaciones fueron de 87 mm (Tabla 1) y también los contenidos de agua fueron superiores a la capacidad de campo. Desde esta fecha a floración (09-feb) y a cosecha del maíz (19-abr), las precipitaciones fueron superiores al promedio (Tabla 1), como así también el consumo de agua por parte del cultivo de maíz. El tratamiento CT presentó mayor cantidad de agua que los tratamientos fertilizados (C 80 y C 80+FM).

### Producción de biomasa y nutrientes del CC

En la Figura 2 se presentan los contenidos de MS de los diferentes tratamientos del CC. Se puede observar que los tratamientos fertilizados (C 40 y C 80) produjeron mayor cantidad de MS respecto al CT, presentando el tratamiento C 80 diferencias significativas respecto al T en los tres





**Figura 2:** Materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) del cultivo de cobertura en tres cortes, 13 de julio: 13-jul; 25 de agosto: 25-ago y 12 de octubre: 12-oct. En cultivo de cobertura testigo: C T; cultivo de cobertura fertilizado con 40  $\text{kg de N ha}^{-1}$ : C 40 y cultivo de cobertura fertilizado con 80  $\text{kg de N ha}^{-1}$ . Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas.

**Tabla 2:** Contenido ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de magnesio: Mg; azufre: S; potasio: K; y calcio: Ca, en dos fechas de corte del cultivo de cobertura y en los tres tratamientos: cultivo de cobertura testigo: C T; cultivo de cobertura fertilizado con 40  $\text{kg de N ha}^{-1}$ : C 40 y cultivo de cobertura fertilizado con 80  $\text{kg de N ha}^{-1}$ .

Letras diferentes en cada nutriente indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Fecha	13/07/2010				12/10/2010			
	Mg	S	K	Ca	Mg	S	K	Ca
CT	3,7 b	5,2 b	60,5 b	8,8 b	4,6 c	5,1 c	49,9 a	12,0 c
C 40	4,2 ab	6,6 ab	70,6 ab	10,2 ab	5,5 b	6,5 b	61,5 a	15,2 b
C 80	5,0 a	7,2 a	91,7 a	11,6 a	7,0 a	7,5 a	56,1 a	18,3 a

momentos de corte. Estos datos coinciden con los encontrados por Arguello et al., (2011) quienes concluyeron que la producción de materia seca dependió del momento de secado del cultivo y de la fertilización nitrogenada.

Al momento del primer corte (13-jul) el tratamiento C 80 produjo 696  $\text{kgMS ha}^{-1}$  más que el T y 445  $\text{Kg MS ha}^{-1}$  más que el C 40.

En el segundo corte (25-ago) los tratamientos C 80 y C 40 produjeron 1.090 y 870  $\text{kgMS ha}^{-1}$  respectivamente más que el tratamiento C T presentando además diferencias significativas ( $p < 0,10$ ).

Para el 12-oct, momento de secado del CC, el tratamiento C 80 (con diferencias significativas) produjo un total de 7.056  $\text{kg MS ha}^{-1}$ , superando por 1.592 y por 1.188  $\text{kg MS ha}^{-1}$  a los tratamiento C T y C 40 respectivamente. La eficiencia agronómica del uso del N (EUN) calculada como el cociente entre el incremento de la producción de MS ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) y la cantidad de fertilizante agregado (dosis de N) varió entre tratamientos de fertiliza-

ción y momentos de corte. Las mayores EUN se observaron en el tratamiento C 80 alcanzando un valor promedio de 14,1  $\text{kg de MS kg}^{-1}$  de N agregado, variando entre 8,7 para el primer corte y 20  $\text{kg MS Kg}^{-1}$  de N al momento del secado. En el tratamiento C 40 la EUN promedio alcanzada fue de 12,7  $\text{kgMS kg}^{-1}$  de N, variando entre 6.3 para el primer corte y 21.8  $\text{kgMS kg}^{-1}$  de N en el segundo corte, obteniéndose un valor de EUN al momento del secado de 10,1  $\text{kgMS kg}^{-1}$  de N.

En la Tabla 2 se presentan los contenidos de Mg, S, K y Ca en biomasa del CC. Resulta importante destacar que el efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de cobertura incrementó la captura de Mg, S, K y Ca. Al respecto para la fecha del 13-jul, el tratamiento C 80, presentó incrementos en el contenido de su biomasa de 1,3  $\text{kg ha}^{-1}$  (35 %), 2  $\text{kg ha}^{-1}$  (38 %), 31  $\text{kg/ha}$  (51 %) y 2.8  $\text{Kg ha}^{-1}$  (32 %) de Mg, S, K y Ca respectivamente, respecto al tratamiento C T.

Para la fecha de secado del CC correspondien-

te al 12-oct, el tratamiento C 80, también presentó mayor cantidad de los nutrientes antes mencionados respecto al C T, en 2,4 kg ha<sup>-1</sup> (52 %), 2,4 kg ha<sup>-1</sup> (47%), 6,2 kg ha<sup>-1</sup> (12%) y 6,3 kg ha<sup>-1</sup> (52%) de Mg, S, K, Ca respectivamente.

Si bien el efecto de la fertilización nitrogenada incrementa la captura de las bases del complejo de intercambio, asociado a una mayor producción de biomasa, estas bases volverían a formar parte del sistema suelo debido a la descomposición del CC.

### Materia seca y contenido de nitrógeno, carbono y fósforo en los residuos de cultivo de cobertura

La fertilización nitrogenada del CC, afectaría no solo a la producción de biomasa sino también al comportamiento de los residuos del CC durante el barbecho y seguramente el desarrollo del cultivo posterior (Arguello et al., 2011).

Al momento del secado del CC, los tratamientos fertilizados (C 40 y C 80) tuvieron una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada. El tratamiento C 80 aportó 1188 y 1.592 Kg MS ha<sup>-1</sup> más que el tratamiento C 40 y CT respectivamente presentando además diferencias significativas.

Al momento de la fertilización en V6 se observa que en los tres tratamientos se produjeron pérdidas por parte del residuo del CC. Para el caso de C T, la disminución fue de 2446 kg ha<sup>-1</sup> con una tasa de 48 kgMS ha<sup>-1</sup> día, para C 40 la disminución en MS fue de 2335 kg ha<sup>-1</sup> a una tasa de 46 kg ha<sup>-1</sup> día y para C 80 la pérdida en MS fue de 2407 kg ha<sup>-1</sup> a una tasa similar a las anteriores de 47 kg MS ha<sup>-1</sup> día.

Desde V6 hasta el momento de CM las pérdidas de residuos por parte del CC se produjeron a

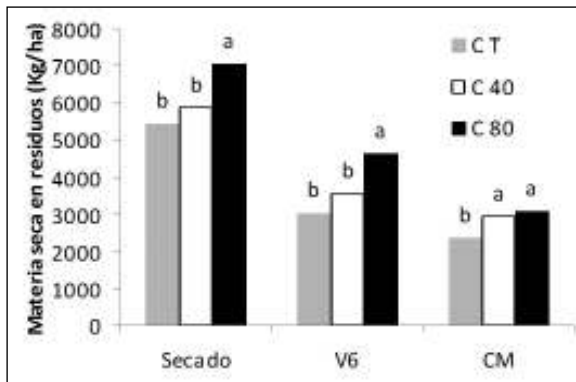


Figura 3: Materia seca en residuos del cultivo de cobertura (CC) al momento de secado, en estadio de 6 hojas del maíz (V6) y a cosecha del maíz (CM), en cultivo de cobertura testigo: C T; cultivo de cobertura fertilizado con 40 kg de N ha<sup>-1</sup>: C 40 y cultivo de cobertura fertilizado con 80 kg de N ha<sup>-1</sup>. Letras diferentes dentro de cada momento de muestreo indican diferencias significativas (p<0,05).

menores tasas siendo de 5, 4 y 11 kgMS ha<sup>-1</sup> día para C T, C 40 y C 80 kg/ha respectivamente.

En los 6 meses comprendidos desde el momento de secado del CC hasta la cosecha del maíz se evidenció importantes pérdidas de C por parte de los residuos del CC.

Al respecto dicha pérdida (Figura 4) entre el secado del CC y la CM fue para C T, C 40 y C 80 de 1386, 1168 y 1536 kg C ha<sup>-1</sup> respectivamente. La mayor pérdida sucedió entre el secado y V6 donde se registraron valores para C T, C 40 y C 80 de 1087, 702, 1244 kg de C ha<sup>-1</sup>, a una tasa diaria de 21, 14 y 24 kg C día<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> respectivamente. Entre el período de V6 y la CM la pérdida de C fue menor registrándose valores de 298, 465 y 291 kg

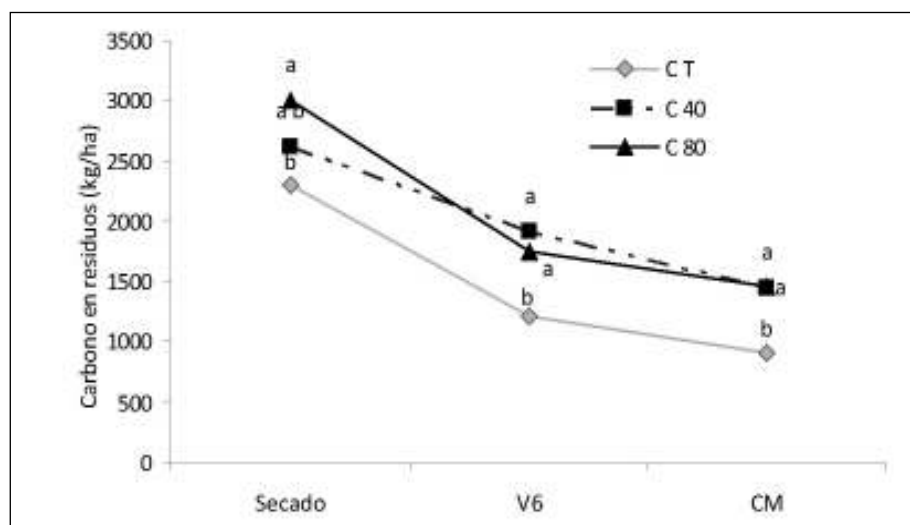


Figura 4: Carbono en residuos de cultivo de cobertura, testigo: CT y fertilizado con 40 kg de N ha<sup>-1</sup>: C 40 y con 80 kg de N ha<sup>-1</sup>: C 80, al momento del secado del cultivo de cobertura, en estadio de 6 hojas del maíz: V6 y a cosecha del cultivo de maíz: CM. Letras diferentes dentro de cada momento de muestreo indican diferencias significativas (p<0,05).

de  $P \text{ ha}^{-1}$  a una tasa de 2, 3 y 2  $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para C T, C 40 y C 80 respectivamente.

En general se comprobó que el contenido de C que produjo el CC desde la siembra hasta el secado disminuyó en un 60 % para C T, el 45 % para C 40 y 51 % para C 80 hasta el momento de la CM. Fernández et al., (2012) obtuvieron valores de 70 y 80 % de pérdida para tratamientos de CC fertilizados y testigos respectivamente. Estos autores concluyen que la mayor proporción de los residuos de los CC se mineralizarían en un plazo corto durante el ciclo de un cultivo estival.

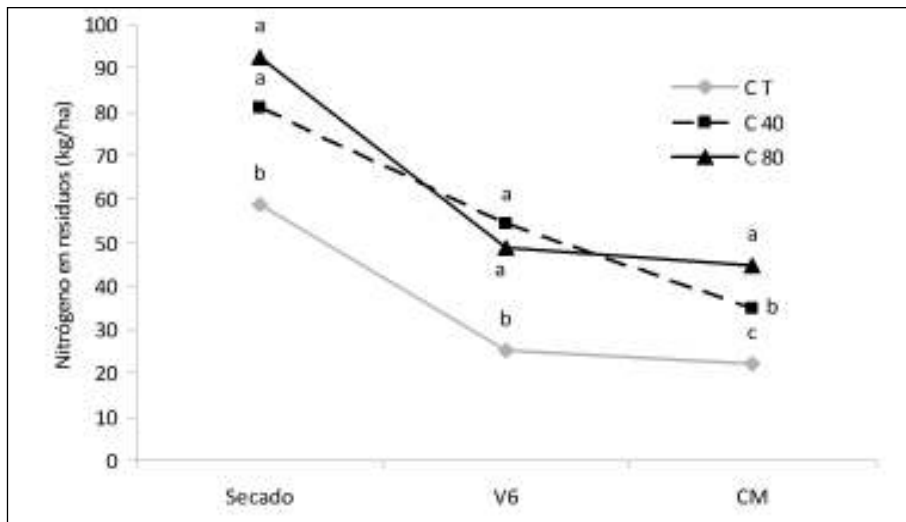
Los contenidos de N en la biomasa en el momento de secado fueron para CT, C 40 y C 80 de 59, 81 y 92  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente respondiendo a la fertilización nitrogenada. Kramberger et al., (2009), encontraron similares valores de entre 51,3 a 111,4  $\text{kg ha}^{-1}$  de N en la biomasa de CC de gramíneas.

En la Figura 5 se observa que desde el secado del CC hasta la cosecha del cultivo de verano hubo importantes pérdidas por parte del N de los residuos.

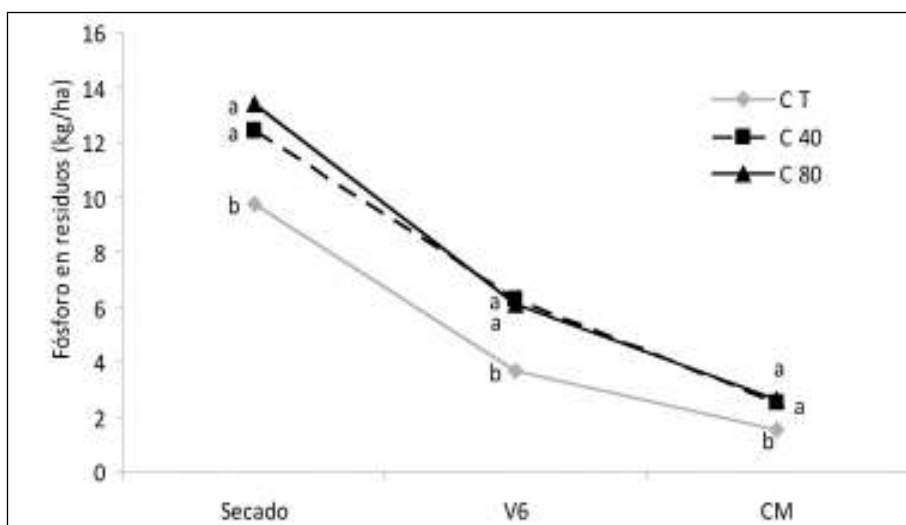
Al momento de secado de los CC los tratamientos fertilizados (C 40 y 80) presentaron mayor contenido de nitrógeno respecto al T con diferencias altamente significativas ( $p < 0.10$ ).

Desde el secado hasta V6 se registraron importantes pérdidas de N por parte de los residuos, siendo para C T, C 40 y C 80 de 34, 27 y 44  $\text{kg N ha}^{-1}$ , a una tasa de 0,66, 0,52 y 0,86  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Desde V6 hasta la CM la tasa de pérdida de N por parte del CC fue considerablemente menor, registrándose valores de 0,02; 0,14 y 0,03  $\text{kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para C T, C 40 y C 80 respectivamente.

En general la pérdida de N por parte del CC desde su secado hasta la CM fue de 36, 46 y 48  $\text{kg N ha}^{-1}$  lo que representa una pérdida de 60, 58 y



**Figura 5:** Nitrógeno en residuos de cultivo de cobertura, testigo: CT y fertilizado con 40  $\text{kg N ha}^{-1}$ : C 40 y con 80  $\text{kg N ha}^{-1}$ : C 80, al momento del secado del cultivo de cobertura, en estadio de 6 hojas del maíz: V6 y a cosecha del cultivo de maíz: CM. Letras diferentes dentro de cada momento de muestreo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).



**Figura 6:** Fósforo en residuos de cultivo de cobertura, testigo: CT y fertilizado con 40  $\text{kg N ha}^{-1}$ : C 40 y con 80  $\text{kg N ha}^{-1}$ : C 80, al momento del secado del cultivo de cobertura, en estadio de 6 hojas del maíz: V6 y a cosecha del cultivo de maíz: CM. Letras diferentes dentro de cada momento de muestreo indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

52 % del N que contenía el CC al momento del secado. Pero esta pérdida no es constante sino que gran parte de la misma (70, 57, 91% para C T, C 40 y C 80) sucede desde el secado del CC al estadio de V6 del maíz, momento en el cual no existe importante demanda por parte del cultivo de verano.

Estos resultados concuerdan con Wagger, (1989) quien encontró que después de 8 semanas del secado de los CC, el 50 % del N proveniente del residuo de un cultivo de centeno fue liberado para el cultivo subsiguiente. Al respecto Fernández et al., (2012) en la región semiárida pampeana, hallaron valores superiores, encontraron que el 80 % del N del CC fue liberado desde el secado en julio a la cosecha del maíz.

En la Figura 6 se presenta la cantidad de fósforo en residuos desde el secado hasta la cosecha del cultivo de verano.

Al igual que para C y N, para el P también se evidenció pérdida por parte de los residuos del CC. Al respecto dicha pérdida entre el secado del CC y la CM fue de 8, 10 y 11 kg P ha<sup>-1</sup>, siendo que la mayor pérdida ocurrió entre el secado y V6 donde se registraron valores de 6, 6 y 7 kg P ha<sup>-1</sup>, a una tasa diaria de 0,12; 0,12 y 0,14 kg de P día<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> para C T, C 40 y C 80 respectivamente. Entre el período de V6 y la CM la pérdida de P fue menor registrándose valores de 4; 2,3 y 3,8 kg P ha<sup>-1</sup> a una tasa de 0.02 y 0.03 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

En general del total de P que contenía el CC al momento del secado el 80 % para C T y 85 % para C 40 y C 80 se perdió hasta la CM. Arguello et al., 2011 concluyen que la pérdida del P por parte de los CC fue del 84 y 86 % para CC testigo y fertilizado respectivamente siendo que el contenido de P

al secado del CC fue de 7 y 8,8 kg ha<sup>-1</sup>.

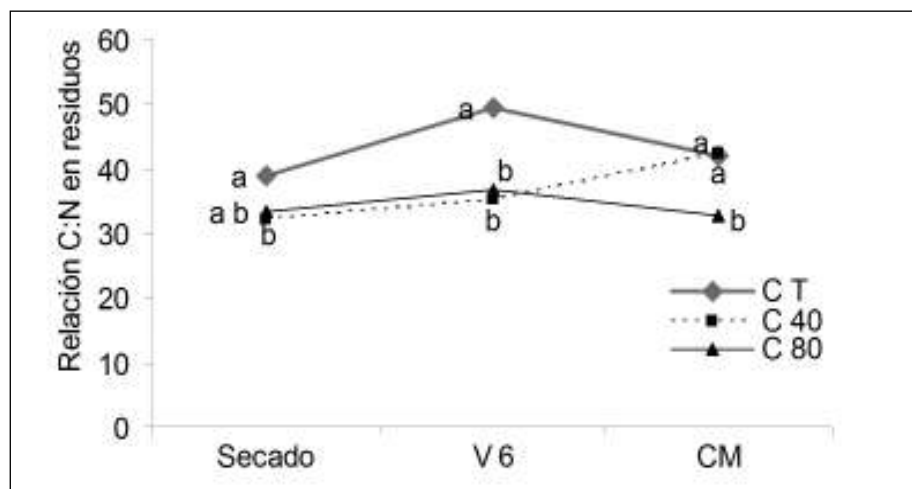
La fertilización nitrogenada y el momento de secado influyeron sobre la producción de biomasa (Fernández et al., 2010) y sobre la descomposición de los residuos del CC durante el barbecho y durante el desarrollo del cultivo posterior.

En nuestro estudio la fertilización aumentó la cantidad de residuos y disminuyó su relación carbono-nitrógeno (C/N). Al respecto se puede observar en la Figura 7 que la relación C/N fue mayor en el tratamiento CT con respecto a los tratamientos con fertilización nitrogenada (C 40 y C 80) presentando diferencias significativas entre CT y C 40. En el estadio de V6 de maíz, la relación C/N de los residuos de CC aumentó en los tres tratamientos, aunque dicho aumento fue más importante en el tratamiento C T el cual presentó diferencias significativas con los tratamientos C 40 y C 80.

Entre V 6 y CM la relación C/N de C T y de C 80 disminuyó, mientras que la de C 40 aumentó. Para el caso de CT y C 40 dicha relación fue de 41, mientras que en C 80 fue de 33, presentando diferencias estadísticas significativas.

Aumentos en la relación C/N indicarían que la mineralización del CC habría liberado mayor proporción de N que de C (Fernández et al., 2012), esta afirmación no concuerda con nuestros datos. El tratamiento CT con el mayor aumento en la relación C/N desde el secado hasta V6 perdió en ese período el 48 % de C y el 70 % de N. Pero el tratamiento C 80 con menor aumento en la relación C/N desde el secado a V6 perdió el 36 % de C y el 91 % de N.

Los datos de la evolución de los residuos de los CC muestran que tanto para el C como para el N y el P la tasa de liberación desde el CC es mayor



**Figura 7:** Relación carbono/nitrógeno (C/N) en residuos de cultivo de cobertura, testigo: CT y fertilizado con 40 kg N ha<sup>-1</sup>: C 40 y con 80kg N ha<sup>-1</sup>: C 80, al momento del secado del cultivo de cobertura, en estadio de 6 hojas del maíz: V6 y a cosecha del cultivo de maíz: CM.

Letras diferentes dentro de cada momento de muestreo indican diferencias significativas (p<0,05).

**Tabla 3:** Rendimiento de maíz de los diferentes tratamientos y eficiencia en el uso de nitrógeno de fertilizante aplicado en el cultivo de cobertura y maíz expresado como kg ha<sup>-1</sup> de grano de maíz por kg de nitrógeno aplicado.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Respuesta en rendimiento respecto a CT (kg/ha)	N Total aplicado (kg/ ha)	EUN total (kg grain /kg N applied)	Respuesta en rendimiento para N aplicado en maíz (kg/ha)	EUN para N aplicado en maíz (kg grain /kg N applied )
C T	4275 d	1152 c	0	-	-	-
C 40	5723 c	1448 c	40	36 b	-	-
C 80	10340 b	6065 b	80	76 a	-	-
C 40+FM	10761 b	6486 ab	100	64 a	5038 a	84 a
C 80+FM	12247 a	7972 a	200	40 b	1907 b	16 b

en la primera etapa entre el secado a V6. También Fernández et al., (2010) obtuvieron el mismo resultado desde el periodo de siembra a cosecha del cultivo de verano.

La liberación de nutrientes por parte del CC al cultivo sucesor podría reducir los requerimientos de fertilización nitrogenada y fosforada, Arguello et al., (2011). Este fenómeno refleja la dificultad de sincronizar la oferta de N por la mineralización de los residuos de los CC con los requerimientos del cultivo sucesor, tal lo señalado Ranells y Wagger, (1996). La liberación de N durante el periodo de crecimiento del cultivo de verano por parte de los residuos del CC además de incrementar la biodisponibilidad de N para el cultivo de maíz, permitiría reducir el riesgo de lixiviación de N que podría producirse en suelos de textura arenosas.

Algunos de los factores que inciden sobre la tasa de mineralización de los residuos se pueden manejar, tales como la relación C/N a través de la fertilización o la fecha de secado del CC, mientras que otros factores, sobre todo las condiciones de temperatura y de humedad, son condicionantes y muchas veces imprevisibles.

### Rendimiento, balance y eficiencia en el uso del nitrógeno del cultivo de maíz

El tratamiento C 80+FM presento el mayor rendimiento con 12300 kg ha<sup>-1</sup> ( $p < 0,01$ ), mientras que el tratamiento C T produjo 4275 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 3). La fertilización nitrogenada en el CC produjo importantes aumentos en el rendimiento de maíz, al respecto el incremento en el rinde del tratamiento C 40 fue de 1448 kg/ha y para el tratamiento C

80 dicho incremento fue considerablemente mayor (6065 kg ha<sup>-1</sup>). También se observo una respuesta significativa en el tratamiento C 40+FM con respecto al C40 de 5038 kg ha<sup>-1</sup>. Mientras que la respuesta en el tratamiento C 80+FM con respecto a C 80 fue menor (1907 kg ha<sup>-1</sup>).

Estudios previos en la región semiárida pampeana de Fernández et al., (2007) han arrojado resultados similares donde los mayores rendimientos del cultivo de maíz se obtuvieron cuando el mismo fue establecido sobre CC fertilizado que sin fertilizar.

El tratamiento C 80 (Tabla 3) presento la mayor EUN aplicado (76 kg grano kg N<sup>-1</sup>), el cual no fue estadísticamente significativo de C 40+FM (64 kg grano kg N<sup>-1</sup>). La aplicación de 60 kg de N ha<sup>-1</sup> en el cultivo de maíz (tratamiento C 40+FM) presento una muy alta eficiencia (84 kg grano kg N<sup>-1</sup>), mientras que la dosis de 120 kg de N ha<sup>-1</sup> aplicada en maíz en el N80+120 fue muy ineficiente.

El nitrógeno aportado por la mineralización del residuo del CC estuvo aparentemente disponible para el cultivo de maíz, como se observó en las respuestas en producción. Similar experiencia fueron encontradas en maíz, sorgo y algodón bajo riego en la Planicie de US (Sainju et al., 2006), donde el efecto del CC fue relacionado principalmente con la retención de nitratos contra la pérdida por lixiviación, pero la investigación anterior no ha demostrado que el fertilizante aplicado al CC fue tomado con alta eficiencia por parte de los cultivos comerciales subsecuentes. Para comparar el balance de nitrógeno de los diferentes tratamientos fue calculado el total de N absorbido por

	CT	C 40	C 80	C 40+FM	C 80+FM
kg N/ha					
Total N absorbido	94	126	228	237	269
Contribución del CC MS	36	46	48	46	48
Fertilización	0	0	0	60	120
Total N disponible	36	46	48	106	168
Diferencia entre absorbido y disponible	58	80	180	131	101

**Tabla 4:** Nitrógeno aparente para los distintos tratamientos.

el cultivo asumiendo un requerimiento de 22 kg N Tn<sup>-1</sup> (Ciampitti et al., 2010) de rendimiento de maíz. El nitrógeno aparente disponible fue calculado por la cantidad de nitrógeno en la materia seca del CC y el N aplicado como fertilizante en el cultivo de maíz (Tabla 4). En el tratamiento CT la contribución de N derivado de la materia seca fue mayor, con 39 % del total absorbido, mientras que la proporción disminuyó en los tratamientos fertilizados a 37 y 22% para C40 y C80, respectivamente. Nuestros resultados indican que el N derivado del residuo fue una fuente importante para el cultivo de maíz en los tratamientos de CC, pero el N derivado del suelo fue la principal fuente en todos los tratamientos excepto para C80+FM. Al respecto del total de N absorbido por parte del cultivo el 61, 63, 78, 55 y 37% para C T, C 40, C 80, C40+FM y C 80+FM respectivamente correspondió al N proveniente del suelo. Estos resultados muestran que el N proveniente de los residuos del CC permitiría incrementar de manera eficiente la disponibilidad de N para el cultivo de maíz.

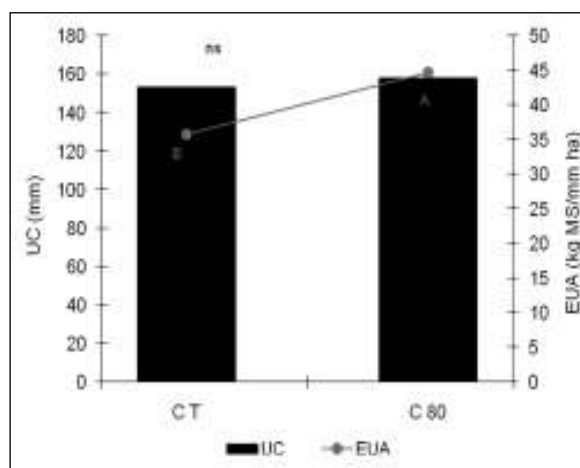
#### Uso consuntivo y eficiencia en el uso del agua para el cultivo de cobertura y el cultivo de maíz

El UC (Figura 8) fue similar para ambos tratamientos contrastantes de CC, para C T el mismo fue de 153 mm y para C 80 de 158 mm. La EUA del CC presentaron diferencias significativas ( $p < 0,10$ ); entre el tratamiento testigo y con aplicación de fertilizante. El tratamiento C 80 fue más eficiente en el uso del agua (45 Kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) que C T (36 Kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) respectivamente. Scianca (2010), en cultivo de centeno utilizado como CC en un suelo Argiudol típico, halló valores de EUA entre 37 y 54 kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, mientras que en un Hapludol thapto árgico las EUA oscilaron entre 9 y 30 kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Frasier et al.

(2009) evaluaron la producción de centeno Quehué como CC hasta encañazón sobre un Haplustol éntico y obtuvieron valores de EUA de 35 kg MS mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

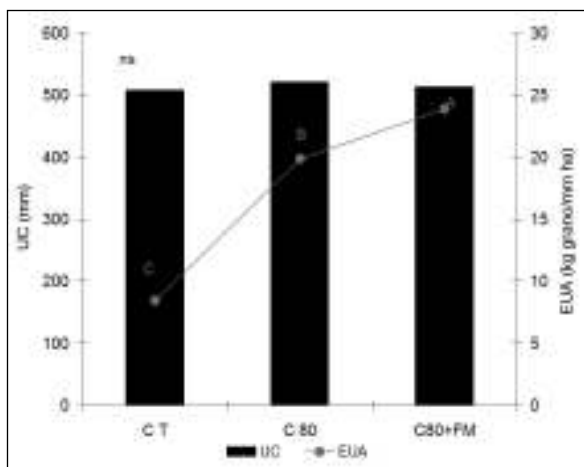
Fernández et al., (2010) obtuvieron altas EUA de los CC y también se reflejó en que su UC promedio fue tan solo de 84 mm. Scianca (2010) trabajando en centeno como CC en la región semiárida pampeana, encontró un valor similar (88 mm), mientras que en la misma zona y el mismo cultivo, Fernández et al., (2007) cuantificaron 150 mm de UC.

El UC del cultivo de maíz fue muy similar entre los distintos tratamientos, no presentando diferencias significativas. Estos resultados coinciden con los encontrados por Saks et al., (2012) en la Región Semiárida Pampeana y por Barbieri et al., (2012) en el Sudeste de Buenos Aires, destacando que la evapotranspiración del cultivo de maíz no fue afectada por la fertilización nitrogenada. No



**Figura 8:** Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para el CC testigo (C T) y fertilizado con 80 kg N ha<sup>-1</sup>; C 80.

Letras diferentes indican diferencias significativas, minúsculas se refieren a UC y mayúsculas a EUA.



**Figura 9:** Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) para el cultivo de maíz, sobre los tratamientos de CC testigo (C T), CC fertilizado con 80 kg N ha<sup>-1</sup>: C 80 y CC fertilizado con 80 kg N ha<sup>-1</sup> en el CC y 120 kg N ha<sup>-1</sup> en el cultivo de maíz: C 80+FM.

Letras diferentes indican diferencias significativas, minúsculas se refieren a UC y mayúsculas a EUA.

obstante tal cual lo ocurrido con el cultivo de cobertura, se encontraron valores de EUA que variaron entre 8 kg mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> para CT y 24 kg mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> en el caso del tratamiento C 80. La fertilización nitrogenada en el CC y en ambos cultivos (CC+CM) permitiría incrementar la EUA del cultivo de maíz, afectando en menor medida al consumo de agua (UC).

## CONCLUSIONES

Considerando la fertilización en el CC nuestros resultados muestran que la productividad del cultivo de maíz fue mayor sobre el CC fertilizado comparado con el CC sin fertilizar, donde el tratamiento C 80 alcanzó la mayor productividad respecto a C 40 y CT.

Se comprobó que el rendimiento de maíz fue mayor cuando se realizó la fertilización combinada con nitrógeno en el CC y en estadio de V6, obteniéndose la mayor productividad de granos en el tratamiento CC 80 +FM.

La EUA tanto para el CC como para el maíz se relacionó positivamente con la fertilización nitrogenada.

En general se puede concluir que los CC son viables en la región semiárida pampeana como una alternativa a tener en cuenta para el secues-

tro de carbono, nitrógeno y fósforo a un bajo costo hídrico, permitiendo incrementar la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de maíz

Futuros estudios serían necesarios establecer, para tratar de sincronizar la oferta de nutrientes por parte de los residuos del CC con el momento de mayor demanda de los cultivos de verano.

## BIBLIOGRAFIA

- Arguello J, J Saks, R Fernández y E Noellemeyer. 2011. Evaluación de la viabilidad de los cultivos de cobertura en la región semiárida pampeana. Tesis de grado, Fac de Agronomía UNLPam.
- Alvarez C, C Scianca, M Barraco y M Díaz-Zorita. 2006. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. I Reunión de suelos de la región Andina. Salta -Jujuy. Pág 424.
- Barbieri P, A Della Maggiora, H Echeverría, M Pietrobón y F Álvarez. 2012. Evapotranspiración y eficiencia en el uso del agua del cultivo de maíz en respuesta a la fertilización con nitrógeno. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16-20 de abril de 2012.
- Bray R, L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. Soil Sci., 59: 360-361.
- Ciampitti IA, M Boxler y FO García. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS). International Plant Nutrition Institute (IPNI). Número 48, Diciembre 2010.
- Daliparthi J, S Herbert y P Veneman. 1994. Dairy manure application to alfalfa: crop response, soil nitrate, and nitrate in soil water. Agron. J. 86: 927- 933.
- De Battista J, A Andriulo y C Pecorari. 1992. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. Ciencia del Suelo 10-11, 89-93.
- Duarte G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda de la Argentina. In Manual práctico para el cultivo de girasol.
- Fernández R, D Funaro y A Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación Técnica N° 87. EEA INTA Anguil.
- Fernández R, A Quiroga, F Arenas, C Antonini y M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil. Cap V.
- Fernández R, R Quiroga y E Noellemeyer. 2012. Descomposición del cultivo de cobertura en el ciclo del cultivo de verano. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del

Suelo. Mar del Plata 16-20 de abril de 2012.

- Fernández R, J Saks, J Arguello, A Quiroga y E Noellemeyer. 2010. Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la Región Semiárida Pampeana?
- Frasier I, Fernández R y A Quiroga. 2009. Valoración de especies invernales como cultivos de cobertura. *Sistemas Productivos Sustentables, Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura*. Bahía Blanca. 10 y 11 de agosto.
- Galantini J. 2008. Cereales de invierno como cultivo de cobertura: su contribución al balance de carbono. En VII Congreso Nacional de Trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal, I Encuentro del MERCOSUR. Santa Rosa (La Pampa), 2 al 4 de julio de 2008. INTA-Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa.
- Infostat .2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 106.
- Kramberger B, Gselman A, Janzekovic M, Kaligalic M y B Bracko. 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *Europ J. Agronomy* 31: 103-109.
- Lopez M y J Arrue. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. *Soil yTill. Res.* 44, 35-54.
- Munawar A, R Blevins, W Frye y M Saul. 1990. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron. J.* 82: 773-777.
- PNCER 022411. 2009. Proyecto Específico INTA: Rotaciones, labranzas y otras estrategias de manejo de suelos y de cultivos para aumentar los rendimientos agrícolas en un marco de bajo impacto ambiental. Programa Nacional Cereales.
- Ranells N y M Wagger. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88, 777-782.
- Reicosky D y D Archer. 2005. Cuantificación agronómica del aumento de material orgánica del suelo en siembra directa. En XIII Congreso AAPRESID. Rosario Santa Fé.
- Ritchie S y J Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames Iowa. Special report N° 48.
- Sainju U, Whitehead W, Singh B y S Wang. 2006. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 372-382. doi:10.1016/j.eja.2006.07.005
- Saks M, Fernández R, Gili A y A Quiroga. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada en distintos genotipos de maíz en la región semiárida pampeana. XIX Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16-20 de abril de 2012.
- Satorre E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (ED). *Las Ciento y Una “Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne”*. Pp. 37-38.
- Scianca C. 2010. Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 Pág.
- Scianca C, C Álvarez, M Barraco, A Quiroga y M Pérez. 2008. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja. VII Congreso Nacional de Trigo.
- Unger P y M Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Soil and Water Cons.* 53: 200-207.
- Walkley A y A Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-37.
- Wagger M. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till Corn. *Agron. J.* 81:533-538
- Zadoks J, T Chang y C Konzak. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.



Esteban Alessandria, Miryam Arborno, Héctor Leguía, Liliana Pietrarelli,  
Juan Vicente Sanchez y José Luis Zamar (ex Aequo)

## Introducción de cultivos de cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba

### INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas, los sistemas agropecuarios extensivos de la región central de Córdoba, Argentina, han sufrido transformaciones en su estructura y función, produciendo un proceso de simplificación productiva, que generó una intensa degradación del medio biofísico y una disminución general de los mecanismos de autorregulación. Varios procesos contribuyeron a esta simplificación: la agriculturización en general, la difusión de la siembra directa (SD), la incorporación de materiales transgénicos, el uso de insumos químicos y biotecnológicos y una orientación casi excluyente, a la producción de granos, que favorecieron la sojización. (Pietrarelli, 2009), determinando una importante reducción de la agrobiodiversidad tecnológica y biológica que llevan a la pérdida de servicios ambientales asociados a la biodiversidad (Alessandria, 2001).

El cultivo de soja aporta pocos residuos, su sistema radicular no contribuye mayormente a la generación de poros, ni favorece a la fertilidad química; si bien es una leguminosa no llega a generar un excedente de N y se lo considera un cultivo extractivo (Darwich, 2003). La especialización de genotipos y sus altas exigencias para maximizar la productividad determina, en zonas con limitaciones pluviométricas, fuertes fluctuaciones de la productividad (Motha, 2005). La uniformidad del monocultivo se refleja también en una menor diversidad biológica del suelo, disminuyendo los controles poblacionales de patógenos y plagas edáficas (Primavesi, 1984).

Estas condiciones se manifiestan en el componente suelo, particularmente en las regiones subhúmedas a semiáridas, a través de una compactación de los horizontes superficiales y subsuperfi-

ciales, una importante erosión hídrica y eólica, la disminución de la fertilidad química, la reducción de la materia orgánica del suelo y el empobrecimiento de la micro y macro fauna edáfica (Stewart y Robinson, 1997). Para la zona en estudio, Leguía et al 2004, muestran una evidente deterioro en los valores de diversos indicadores de la calidad de suelos. Dichas características hacen crítico el aprovechamiento del agua de lluvia. Para mejorar las condiciones edáficas que permitan un mejor balance hídrico que beneficie al cultivo principal, sin incorporación de grandes insumos y manteniendo un rendimiento aceptable, se deben reestablecer, en la medida de lo posible, los atributos edáficos que se perdieron.

Existen diversas prácticas agroecológicas basadas en tecnologías de procesos (Altieri y Nicholls, 2000), que permiten atacar los problemas mencionados, entre ellas pueden citarse:

1. La rotación de cultivos, que proporciona un mayor aporte de materia orgánica al sistema a través de la incorporación de cultivos con elevada biomasa como maíces de polinización abierta que tienen mayor adaptación a las condiciones limitantes de la zona semiárida. (Sanchez et al., 2010).

2. La incorporación de cultivos de cobertura invernal (CC), que proporcionan una fuente adicional de cobertura viva y una cantidad importante de mulch, como también el “laboreo biológico” de sus raíces, que mejora la estructura, porosidad y estabilidad estructural de los agregados (Walker y Reuter, 1996). Asimismo los CC consociados de gramíneas y leguminosas contribuyen de diferente manera al aporte, reciclado y disponibilidad de nutrientes y por otro lado, inhiben la presencia de malezas (Zamar et al., 2000), estimulan la diversidad y actividad de los microorganismos edáficos (Primavesi, 1984) y proveen ali-

mento y refugio a insectos depredadores, parásitos y parasitoides.

3. La aplicación de biofertilizantes, que aporta diversidad biológica y permite reponer nutrientes extraídos por los cultivos (Chaoui et al., 2003). El uso del lombricompost en cultivos extensivos es todavía incipiente, habiendo sido probado en nuestro país, con resultados satisfactorios, en trigo, maíz y girasol (Fantino, 2003).

Por otra parte, y considerando la variabilidad climática, los resultados se manifiestan a mediano y largo plazo, por lo que se requieren experiencias de larga duración.

En este esquema, los CC deben formar parte de un grupo de prácticas basadas en tecnologías de procesos, que reviertan la evidente degradación de los suelos.

La innovación en el diseño y manejo de los agroecosistemas en la zona central de Córdoba, pasa por un cambio en la forma de entender tanto la estructura como la dinámica de estos sistemas productivos. Por esta razón, el camino más razonable para lograr una transición a sistemas más sostenibles, es el de introducir cambios paulatinos en los sistemas tradicionales de la región que permitan restaurar gradualmente características ecosistémicas funcionales, relacionadas con la respuesta y estabilidad productivas y su impacto ambiental. Estos serán viables y admitidos si son satisfactorios y se armonizan con los criterios, racionalidad y posibilidades técnicas de los productores (Herrera, 1981).

Este proceso gradual de transformaciones debe realizarse en estrecha interacción con el productor agropecuario, asumiendo como elemento básico la generación y disponibilidad de información local acompañada de un manejo adecuado y compatible con las posibilidades de los productores.

El objetivo general del trabajo es evaluar, en agroecosistemas extensivos agrícolas de la zona semiárida, la introducción de los CC como práctica agroecológica a fin de mejorar las condiciones edáficas, aumentar la agrodiversidad y reducir la incorporación de insumos.

### Descripción de la zona

La región donde se realizaron los ensayos es una llanura con escasa vegetación natural debido al intenso uso agrícola-ganadero. El área forma

parte de la Cuenca Rafael García-Lozada, localizada a unos 35 Km al Sur de la ciudad de Córdoba, Argentina, entre los 31° 30' y los 32° 00' de Latitud Sur, y los 63° 30' y 64° 30' de Longitud Oeste. El relieve va de llano a ligeramente ondulado, con una pendiente general de oeste a este no superior al 3%.

El clima es templado continental, con una temperatura promedio anual de 17 grados. Durante el período bajo estudio se registró un promedio de 642 mm (+/- 100 mm) con el 80% concentrado en el semestre cálido; los vientos del norte y del sur son muy intensos en invierno. Teniendo en cuenta el índice de aridez y las precipitaciones de los últimos 10 años, se observa que el invierno y la primavera evidencian características de semi-aridez (Ovando et al, 2002) y que las lluvias muestran una tendencia decreciente, particularmente en invierno (de la Casa, comunicación personal).

Los suelos son de mediano a buen desarrollo, de franco-limosos a franco-arenosos; se clasifican como Molisoles Argiustoles típicos (Sanabria et al., 1997). Los problemas detectados en estudios preliminares y evidenciados por los productores de la zona, tienen relación directa con la degradación de los mismos. Numerosas evaluaciones realizadas en esta cuenca hidrográfica mostraron un marcado deterioro de diferentes variables físicas y biológicas del suelo bajo uso agropecuario, comparadas con las del bosque nativo (Aoki, 2002; Leguía et al., 2004); es considerada como una de las zonas más afectadas por la erosión hídrica acelerada dentro de la provincia de Córdoba. Los procesos más importantes que se describen en estos suelos, de elevada susceptibilidad a la erosión hídrica, son erosión areolar (arroyada difusa), lineal (surcos y, en mucho menor proporción, cárcavas) y mallines, que se presentan en forma generalizada (Sanabria et al., 1997).

La vegetación original, que ha sido reducida actualmente a un 6% de la superficie (Zamar et al., 2007), corresponde a lo que se describe como bosques del Espinal, dominados por *Prosopis alba* y *P. nigra*.

Los sistemas productivos dominantes corresponden al tipo "agrícola puro" (Alessandria et al., 2001) bajo una larga historia de agricultura continua, con establecimientos de 150-250 ha y productores familiares capitalizados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia, con un diseño de parcelas divididas en bloques (una por productor), se desarrolla desde el invierno del 2005 en tres establecimientos agropecuarios representativos de la zona bajo estudio. Los productores colaboran estrechamente con la ejecución de los ensayos, facilitan maquinarias, aportan insumos y mano de obra y participan de la evaluación de los resultados de los mismos.

Cada parcela tiene aproximadamente 6.000 m<sup>2</sup> y en ellas se llevan a cabo los siguientes tratamientos:

Cultivo de Cobertura Invernal	Secuencia de Cultivos			Biofertilizante en cultivo estival
		Estival	Invernal	
Con Cultivo de Cobertura	Monocultivo	Soja	Triticale + Vicia	Con biofertilizante Sin biofertilizante
	Rotación	Soja/Maíz	Triticale + Vicia	Con biofertilizante Sin biofertilizante
Sin Cultivo de Cobertura	Monocultivo	Soja	Barbecho químico	Sin biofertilizante
	Rotación	Soja/Maíz	Barbecho químico	Sin biofertilizante

El tratamiento testigo es monocultivo con barbecho químico sin biofertilizante. El tamaño de cada tratamiento principal es de aproximadamente 2.000 m<sup>2</sup>, cuyo ancho (5 ó 10 m) es compatible con los implementos utilizados por los productores de la zona (sembradora y pulverizadora). En un tercio de las mismas se efectúan los tratamientos con biofertilizante a partir del 2008.

El CC se sembró según las condiciones climáticas lo permitan en la segunda quincena de mayo y la primera quincena de junio, a una densidad que promedia los 50 Kg ha<sup>-1</sup> de triticale (variedad de la zona) y 22 Kg ha<sup>-1</sup> de Vicia sativa, sembrados con sembradoras de SD para grano fino o grueso. Este cultivo es secado con herbicida en el momento de la floración del triticale, aproximadamente la segunda quincena de octubre. El maíz se siembra a una densidad de 7 pl m<sup>-2</sup> y la soja a 40 pl m<sup>-2</sup>; en ambos casos, la distancia entre hileras es de 52 cm. Se utilizaron poblaciones de maíces de polinización abierta seleccionadas por técnicos de la región, y cultivares de soja suministrados por los productores, ambos en siembra directa. La rotación maíz/soja se realiza con una alternancia

anual.

Los herbicidas usados para el barbecho químico son los que comúnmente utilizan los productores de la zona tales como glifosato (2 l ha<sup>-1</sup>) en mezcla con 2-4 D (0,5 l ha<sup>-1</sup>) y en algunas oportunidades con el agregado de Dicamba o Sulfosato.

En algunos casos se aplicaron en presiembrado los mismos herbicidas en todos los tratamientos y, ante la presencia de plagas de insectos, de ser necesario y donde se requiera, se aplica Cipermetrina (80 cm<sup>3</sup>Ha<sup>-1</sup>) u otro insecticida específico. Se utiliza como biofertilizante un lombri-compuesto certificado, parcialmente desecado, aplicado en una proporción de 130 dm<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (apro-

ximadamente 100 Kg ha<sup>-1</sup>) localizado en el surco de siembra de los cultivos, mediante el uso del cajón fertilizador de la sembradora. Los ensayos de biofertilización se realizaron en las parcelas con monocultivo (año 2008) y con monocultivo y rotación (años 2009 y 2010).

Las variables biofísicas que se evaluaron para registrar los efectos de los tratamientos son las siguientes:

- **Edáficas:** densidad aparente (DA) a 0-5 y 10-15 cm de profundidad (método del cilindro); resistencia mecánica (con penetrómetro de golpe, cada golpe representa 3,01 MPa); infiltración (infiltrómetro de anillo simple); contenido de materia orgánica (MO) a 0-5 y 5-20 cm de profundidad (por análisis de laboratorio) y estabilidad estructural (EE) (Walker y Reuter, 1998).
- **Biológicas:** Biomasa en pie del CC y del cultivo de cosecha (cosecha, secado y pesado del material); rendimiento de grano del cultivo (cosecha y trilla manual); proporción y tipos de maleza (por censos).

Se analizaron las variables respuesta mediante un ANAVA (Infostat, 2004) y se confeccionan gráficos específicos para comparar las respuestas a los distintos tratamientos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación a las diferentes prácticas agroecológicas aplicadas, se presentan los siguientes resultados.

### Implantación de los cultivos de cobertura

Así como es ventajosa por las razones ya enunciadas, la implementación de los CC en la zona bajo estudio, encuentra diversos inconvenientes vinculados a cuestiones climáticas y tecnológicas, como por ejemplo:

- el retraso en la cosecha de los cultivos estivales (maíz o soja en siembras tardías) hace que se demore la siembra de los CC.
- debido a la especialización de los productos en la siembra de grano grueso, es muy difícil conseguir sembradoras de grano fino y a veces esto provoca que se utilicen sembradoras inapropiadas para su implantación.
- la variabilidad estacional de las precipitaciones pueden dar lugar a otoños o inviernos secos que impiden o retrasan la siembra del CC o dificultan su crecimiento.

En nuestro caso, se hace notar que el CC tuvo una buena implantación y producción en el primer año y en menor medida en el segundo y quinto ciclo; en los años restantes su crecimiento estuvo restringido por las condiciones climáticas y tecnológicas mencionadas.

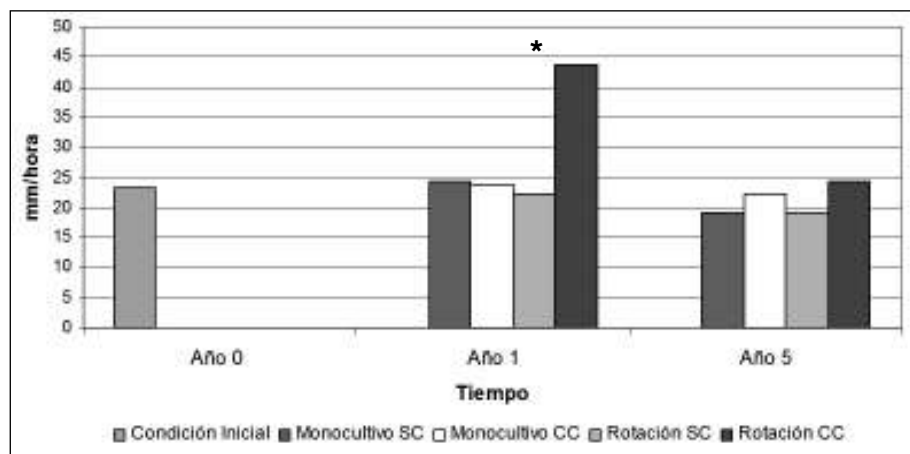
De ahí que el éxito de los CC en esta zona sea relativo y sus efectos beneficiosos se logren en

forma gradual por lo que sería necesario continuar con esta práctica por varios años y complementarla con otras técnicas agroecológicas como rotación continua para obtener una mejoría paulatina de las condiciones edáficas. Ensayos de corta duración realizados en la región, en condiciones experimentales, no en situaciones de producción, muestran que los CC secados oportunamente, dejan mayor contenido hídrico en el suelo y permiten una recarga con las primeras lluvias primaverales. (Basanta et al., 2008)

### Efectos sobre las características edáficas

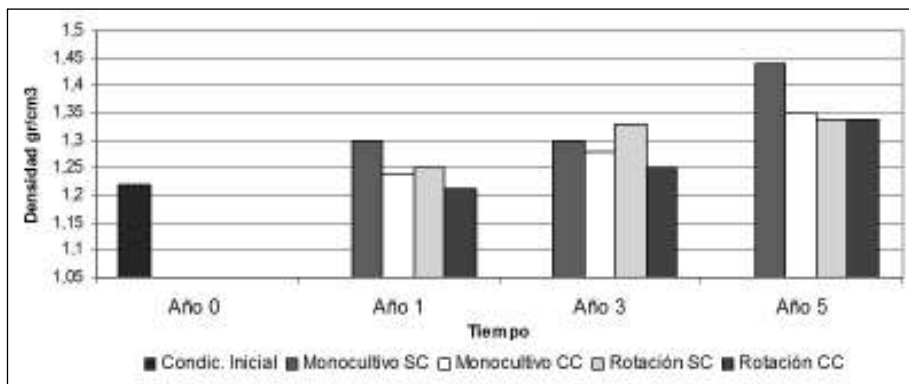
- *Infiltración*: en el primer año hubo un leve aumento en relación al dato inicial, más evidente ( $p < 0,10$ ) cuando se instaló el CC y luego del cultivo de maíz. Probablemente la presencia de mayor número de raíces dio lugar a una más rápida infiltración, que estuvo relacionado con una mejor DA en el horizonte superficial (Figura 1). En el quinto año se aprecia una disminución, aunque no significativa, en todos los tratamientos; sin embargo el tratamiento con mayor agrodiversidad manifiesta la mejor infiltración.

- *Densidad aparente superficial*: se produjo un leve aumento de la densidad aparente en todos los tratamientos en relación al valor inicial, salvo en el caso de la presencia del CC y de la rotación, donde se mantuvo en condiciones similares a la inicial hasta el tercer año (Figura 2), En el caso del monocultivo de soja se produjo un paulatino y significativo aumento de esta variable. Tal “densificación” de la capa superficial del suelo, así como la disminución en la infiltración, serían motivadas por el paso de las máquinas, propio de la SD y



**Figura 1:** Evolución de la infiltración en cuatro tratamientos.

(\*) expresa diferencias significativas ( $p < 0,10$ )



**Figura 2:** Evolución de la densidad aparente superficial (0 a 5 cm) en cuatro tratamientos.

**Tabla 1:** Estabilidad estructural superficial y subsuperficial para los diferentes tratamientos. En porcentajes del máximo de estabilidad: gránulo que no se desagrega a las 2 horas de sumergido.

(\*) indica diferencias significativas con la situación inicial ( $p \leq 0,10$ ).

	Superficial (0-5 cm)			Subsuperficial (5-20 cm)		
	Promedio Condición Inicial	Promedio 1º año (2006)	Promedio 5º Año (2011)	Promedio Condición Inicial	Promedio 1º año (2006)	Promedio 5º Año (2011)
Monocultivo SC	44,5	53,3 (*)	52,00 (*)	27,3	23,3	22,70
Monocultivo CC	44,5	53,8 (*)	64,78 (*)	27,3	30,4	29,11
Rotación SC	44,5	51,8 (*)	67,11 (*)	27,3	21,0	39,30
Rotación CC	44,5	66,5 (*)	70,80 (*)	27,3	29,3	32,22

apenas puede ser contrarrestada por la presencia del CC o de la rotación. El aumento en el contenido de MO no habría sido suficiente como para dar lugar una mayor porosidad.

- *Densidad aparente sub-superficial:* no se produjeron mayores cambios en esta variable en el tiempo que fue evaluada; los valores oscilaron entre 1,40 y 1,60 gr cm<sup>-3</sup>. Los resultados obtenidos en ambos horizontes mostraron una tendencia similar a lo expresado por Varela et al (2010) y Álvarez et al (2010) quienes no encontraron cambios en la DA con la incorporación de CC.

- *Estabilidad estructural superficial y sub-superficial:* fue evaluada en el primer y el quinto año; en ambos casos muestra diferencias notorias respecto al estado inicial ( $p \leq 0,10$ ). En el monocultivo de soja sin CC aumentó en el primer año y luego se mantuvo prácticamente constante, no así en los otros tratamientos que aumentaron su estabilidad estructural hasta un 30 % en la capa superficial (rotación CC) y en menor proporción sub-superficial-

mente. Al comparar los diferentes tratamientos, se observa que todos los valores de EE mejoran en el 5º año (con el efecto de 3 CC y 3 ciclos de maíz en la rotación), comparados con el testigo (Tabla 1). Trabajos realizados por Álvarez et al., (2010) demuestran también una mejora en la estabilidad estructural con los CC. Este aumento en la EE se correlaciona estrechamente ( $R=0,90$ ) con el incremento en el contenido de MO.

- *Contenido de MO superficial:* al cabo de 5 años con siembra directa, el monocultivo de soja SC aumento solo 6,5% respecto a sus valores iniciales, mientras que los incrementos con CC o con rotación fueron 35,4 y 37,0 % respectivamente (Tabla 2). El mayor aporte de raíces y biomasa aérea, generados por la incorporación de maíz y del CC, tuvo su correlato en un aumento importante de la MO del suelo en el estrato superficial (Quiroga et al., 1999, Álvarez et al., 2010). El ANAVA no muestra diferencias significativas entre la condición inicial y el tratamiento testigo ( $p \leq 0,10$ ), si en cambio

	Superficial (0-5 cm)		Subsuperficial (5-20 cm)	
	Promedio Condición Inicial	Promedio 5º Año	Promedio Condición Inicial	Promedio 5º Año
Monocultivo SC	1,85	1,97	1,28	1,24
Monocultivo CC		2,48 (*)		1,45
Rotación SC		2,54 (*)		1,44
Rotación CC		2,53 (*)		1,61

**Tabla 2:** Contenido de materia orgánica (en %) superficial y sub-superficial para los diferentes tratamientos. Con cultivo de cobertura (CC); sin cultivo de cobertura (SC). (\*) indica diferencias significativas con la situación inicial ( $p \leq 0.10$ ).

	Resistencia mecánica (MPa)		
	Condición Inicial	2007/2008	2011
	1,623		
Monocultivo SC		1,630	1,850
Monocultivo CC		1,462	1,312
Rotación SC		1,554	1,583
Rotación CC		1,553	1,598

**Tabla 3:** Resistencia mecánica del suelo (en MPa) hasta los 40 cm de profundidad para los diferentes tratamientos. Con cultivo de cobertura (CC); sin cultivo de cobertura (SC).

entre estas dos situaciones y el resto de los tratamientos (Rotación CC y SC y Monocultivo CC).

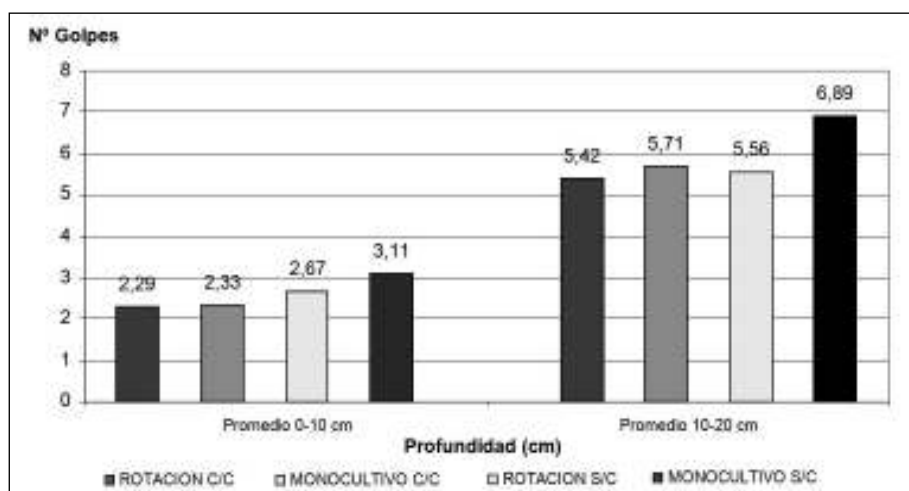
- *Contenido de M O sub-superficial:* Si bien hubo un incremento al cabo de 5 años, no se encontraron diferencias significativas entre la condición inicial y los tratamientos ( $p \leq 0.10$ ). (Tabla 2).

- *Resistencia mecánica del suelo:* Si bien hubo una notoria heterogeneidad espacial, se observa en el testigo que la resistencia del suelo a la penetración evidencia un aumento, mientras que en los demás tratamientos se manifiesta una leve disminución de la misma

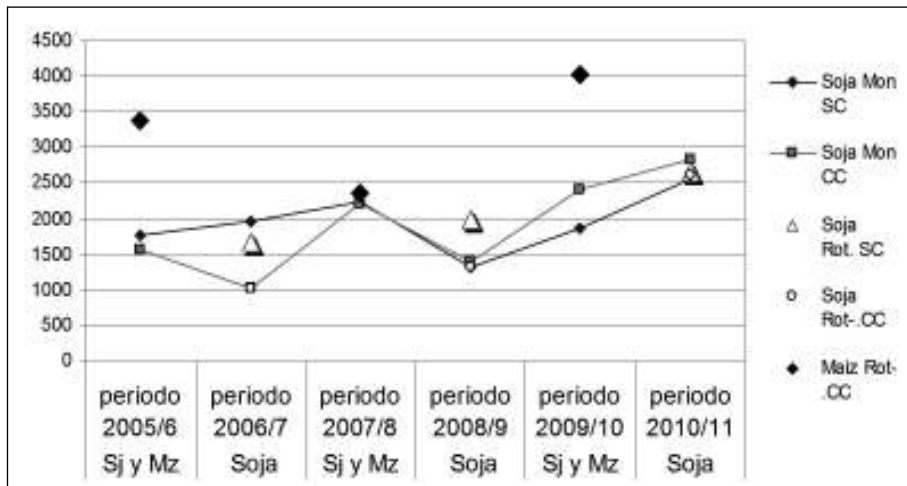
en relación a la condición inicial (Tabla 3).

Para la última evaluación, año 2011, la figura 3 pone evidencia que las prácticas que introducen mayor agrodiversidad, reducen la resistencia del suelo a nivel superficial. A mayor profundidad se observa una mayor compactación, más notoria en el testigo, como consecuencia de un sistema de labranza convencional utilizado por varias décadas y por la naturaleza del suelo más arcillosa. Similares resultados obtuvieron Varela et al., (2009) con suelos de textura franco-arenosa.

No obstante se detecta un patrón de compactación en dos profundidades donde se supe-



**Figura 3:** Resistencia mecánica del suelo en cuatro tratamientos y en dos profundidades, expresado en número de golpes ( $0,301 \text{ MPa golpe}^{-1}$ ). Datos correspondientes al año 2011. Con cultivo de cobertura (CC); sin cultivo de cobertura (SC).

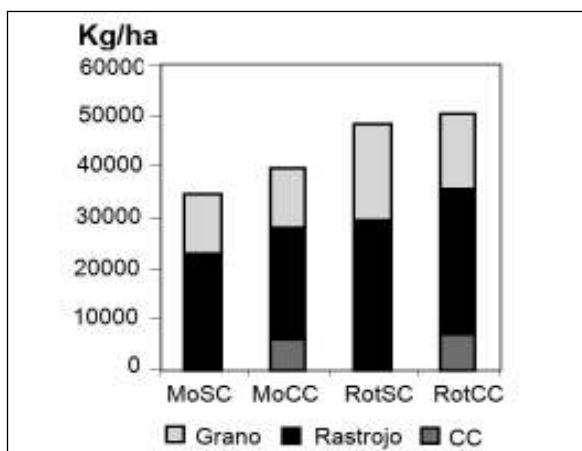


**Figura 4:** Rendimiento de granos de soja y maíz en Kg ha<sup>-1</sup> en las diferentes campañas y tratamientos.

ran los umbrales aceptables y por lo tanto limitan la expansión de raíces y la captación y el almacenamiento del agua. Los valores de resistencia en estos estratos promedian 1,75 Mpa, superando el valor de 1,5 señalado por Díaz (2010) como umbral crítico.

#### Efectos sobre la producción de biomasa

- **Rendimientos de grano:** tanto la inclusión del CC como la rotación tienen efectos favorables en los rendimientos. La Figura 4 muestra la evolución de los rendimientos de soja y maíz. Se observa que los rendimientos en monocultivo de soja con CC acusan una disminución inicial (2006/07) con respecto al testigo; al año siguiente estos rendimientos se equiparan y luego, superan al testigo. Los ren-



**Figura 5:** Producción total de biomasa (granos, rastrojo y CC) en Kg MS ha<sup>-1</sup> en los diferentes tratamientos (Monocultivo sin C, Monocultivo CC, Rotación sin C y Rotación CC).

dimientos de soja bajo rotación, con y sin CC, son más estables y crecientes; mientras que el rendimiento de maíz, muy afectado en 2007/8, muestra también una tendencia ascendente.

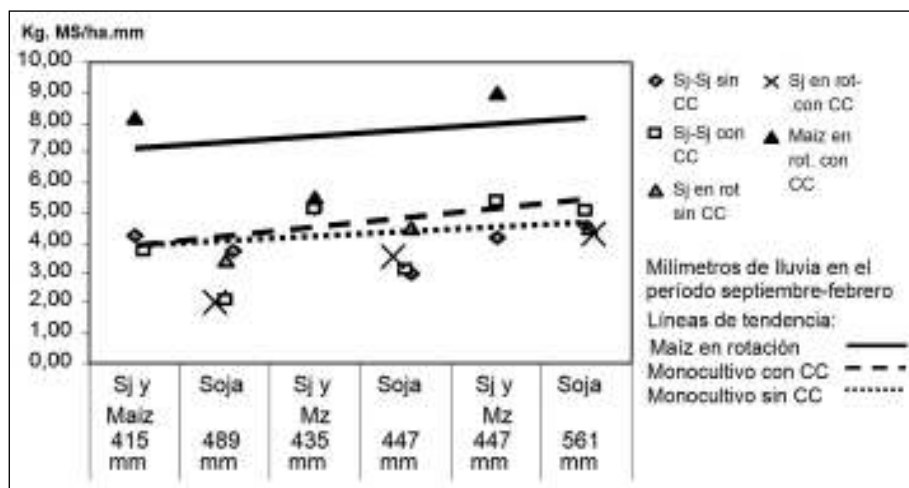
- **Producción total de biomasa (granos y residuos o rastrojos):** el CC aumentó la cantidad total acumulada de biomasa tanto en el planteo de monocultivo como en rotación. Aunque el aporte específico del CC fue escaso (500-2700 Kg MS ha<sup>-1</sup>), generó cambios en la relación residuo/grano del cultivo estival. En el monocultivo de soja esta relación se mantuvo alrededor de 2,05, mientras que en la rotación maíz-soja pasó de 1,56 a 1,99. Ambos efectos se suman para integrar el aporte total de biomasa (Figura 5).

Tanto la rotación como el CC no sólo contribuyen a la cantidad sino también a la diversidad del tipo de residuos. El CC permite, además, la distribución temporal de los aportes, lo que favorecería la actividad biológica del suelo (Abril, 2002). Es posible prever un proceso de retroalimentación positiva entre la productividad de granos y rastrojos de los cultivos estivales y el cultivo de cobertura.

- **Eficiencia del uso del agua:** la inclusión de CC tiende a mejorar la producción de grano en relación a los mm caídos en el ciclo del cultivo (Kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). En la Figura 6 se observa la tendencia creciente de la respuesta de maíz y soja con CC y levemente decreciente en el testigo.

#### Efectos sobre las malezas

En el primer año, con una buena implantación



**Figura 6:** Producción de granos en relación a mm de lluvia en el período septiembre-febrero, en Kg MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> en los diferentes tratamientos. Se presentan las líneas de tendencia para tratamientos CC y el testigo.

**Tabla 4:** Características estructurales de las comunidades de malezas invernales (Setiembre 2005) y estivales (abril 2006) en cultivo de maíz con y sin cultivos de cobertura.

Letras diferentes implican diferencias significativas.

	Comunidad invernall			Comunidad estival		
	Cobertura (%)	Riqueza (Nº de spp)	Diversidad (H)	Cobertura (%)	Riqueza (Nº de spp)	Diversidad (H)
Barbecho químico	22,95 a	8,66 a	1,061 a	21,66	6,67	0,997 a
Cultivo de Cobertura	0,90 b	2,66 b	0,601 b	29,33	5,33	0,552 b

del CC, disminuyó significativamente ( $p < 0,0001$ ) la importancia de malezas invernales, tanto en riqueza como en diversidad, dominando especies dicotiledóneas como *Descurainia argentin*, *Linaria texana* y *Bowlesia incana* en la parcela testigo. En el cultivo de maíz, el CC no incidió mayormente en la instalación de las malezas estivales; en ambos casos sin CC y con CC, las comunidades fueron similares, con alta dominancia de *Digitaria sanguinalis*, diferenciándose entre ellas, particularmente por la diversidad específica (Tabla 4). En el cultivo de soja, las malezas no tuvieron importancia debido al control químico realizado.

En el segundo año, la sequía invernal afectó al CC y a la aparición de malezas; por ello se realizó sólo un censo de presencia/ausencia en la comunidad invierno-primaveral. En este caso, las comunidades de malezas que siguieron al maíz y a la soja con barbecho químico (18 y 17 especies respectivamente), continuaron siendo más diversas que las provenientes del CC invernal (7 especies).

Estos resultados coinciden con los expuestos por Blackshaw et al., (2001) trabajando con *Melilotus officinalis*, por Zamar et al., (2000) que

lo hicieron con trigo y *Vicia sativa* y Pérez y Scianca (2009) con avena, centeno y raigrás, en los cuales, por efectos competitivos y/o alelopáticos, los CC disminuyeron la aparición de malezas.

#### Implantación de maíces de polinización abierta

En todos los años que se sembraron estas variedades, se obtuvieron rendimientos aceptables, algo inferiores a los que se tienen con los híbridos comúnmente utilizados, de alto costo de semilla; en años desfavorables o en suelos muy degradados (franco arenosos) produjeron buenos y aún más altos rendimientos (Sanchez et al., 2010). Los datos de los ensayos realizados muestran, en años con déficits hídricos marcados, que las variedades de maíz de polinización abierta, tienen un buen rendimiento de granos (3,2-4,5 Tn ha<sup>-1</sup>) y biomasa vegetativa (8,2-9,3 Tn ha<sup>-1</sup>), manifestando una buena adaptación a las condiciones ambientales del semiárido y contribuyendo con un aporte significativo de residuos, lo que demuestra una buena plasticidad.

Cabe señalar que estos resultados motivaron el interés de los productores, quienes cosecharon



y trillaron manualmente el maíz y extendieron su siembra a otros sectores de su campo.

### **Efectos de la fertilización con lombricompuesto**

Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos bajo rotación, tanto en el cultivo de soja como el de maíz. En estas situaciones se midió, en relación al testigo sin fertilizar, un incremento de 32% ( $p \leq 0,059$ ) y 34% ( $p \leq 0,069$ ) en la biomasa total y de 22% y 31% en rendimiento de granos ( $p \leq 0,079$ ) de soja y maíz respectivamente.

En los tratamientos de monocultivo de soja, en los dos primeros años (2008 y 2009) se observó una tendencia a elevar los rendimientos de grano y biomasa en las parcelas tratadas con biofertilizante.

La mejor respuesta a la aplicación del lombricompuesto, cuando varía la secuencia de cultivos, estaría relacionado con el sinergismo entre los microorganismos benéficos capaces de estimular el crecimiento vegetal que aporta el abono (McClintock, 2004) y la presencia en el suelo de mejores niveles de MO debidos a la rotación de cultivos y al CC.

Durante toda la experiencia, la biomasa vegetativa se vio más favorecida con el biofertilizante que el rendimiento de granos, lo que permite mayores aportes de rastrojos al suelo.

### **CONCLUSIONES**

En la zona de estudio, la variabilidad climática (región semiárida) y las limitaciones edáficas condicionan el éxito de la introducción de CC como alternativa única para el mejoramiento de las condiciones físico-químicas del suelo.

Los CC invernales deberían formar parte de un conjunto de prácticas agrodiversas, como la rotación soja/variedades de maíz y la fertilización orgánica, que sinergizan los efectos del CC, favoreciendo diversos atributos edáficos y contribuyendo a una mayor productividad y estabilidad del sistema.

Cuando los CC se logran implantar satisfactoriamente, permiten un buen control de malezas, una mejora leve del rendimiento en grano de soja, un aumento de la biomasa aérea, mejor estabilidad estructural, menor resistencia mecánica y un incremento del nivel de MO superficial que contribuyen a mitigar, progresivamente en el mediano a

largo plazo, los procesos de degradación del suelo debidos al monocultivo de soja en SD. Además, el mayor aporte de rastrojos y la cobertura invierno-primaveral, disminuyen los riesgos de erosión eólica e hídrica.

Dada las actuales condiciones ambientales y tecnológicas, los objetivos perseguidos, mediante el desarrollo de estos diseños de producción agrodiversos, se logran con la participación de los productores en situaciones reales de producción, lo que implica adecuar el paquete tecnológico dominante a un planteo alternativo de mediano a largo plazo, con un intercambio permanente de conocimientos entre investigadores y productores.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la SECYT de la Universidad Nacional de Córdoba que financió el proyecto y a los productores de Lozada que colaboraron con el mismo.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Abril A. 2002. La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable. En Sarandón, S. (Ed). Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable. Pp 153-173
- Alessandria E, H Leguía L, Pietrarelli J, Sánchez S, Luque M, Arborno J, Zamar y D Rubin. 2001. La agrodiversidad en sistemas extensivos. LEISA, Revista de Agroecología. 16:10-11
- Altieri M y C Nicholls. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable (Texto contextualizado en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)
- Alvarez C, C Scianca, M Barraco M y M Díaz-Zorita. 2010. Cambios en suelos bajo siembra directa con cereales de invierno de cobertura. Memoria Técnica 2009/2010 INTA Gral Villegas
- Aoki AM. 2002. Caracterización de las propiedades hidráulicas como indicadores de calidad de un suelo Haplustol típico de la región central de la provincia de Córdoba. Tesis Magister. Universidad Nacional de Córdoba y Universidad Nacional de Río IV, Córdoba, Argentina, 117 pp.
- Basanta M, J Giubergia, E Lovera, C Alvarez, E Martellotto, E Curto y A Vaglianco. 2008. Manejo del barbecho invernal y su influencia en la disponibilidad hídrica para el cultivo estival en un haplustol de la región central de Córdoba. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Potrero de Funes, San Luis 13 a 16 de marzo de 2008

- Blackshaw J, J Moyer, R Doram y A Boswell. 2001. Yellow sweetclover, green manure and its residues effectively suppress weeds during fallow. *Weed Science*. 49(3):406-413
- Brookfield H y M Sotcking 1999. Agrodiversity: definition, description an design. *Global Environment Change* 9:77-80
- Chaoui IH, Zibilske LM y S Ohno. (2003). Effect of earthworm casts and compost on microbial activity and plant nutrient uptake. *Soil Biol. And Biochem.*, 35, 295-302.
- Cordone G y F Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de Nitrógeno. *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 24
- Darwich N. 2003. El balance físico económico en las rotaciones agrícolas. *Proyecto Fertilizar*. INTA.
- Díaz CG, R Osinaga y J Arzeno.- 2010. Resistencia a la penetración, humedad de suelo y densidad aparente como indicadores de calidad de suelos en parcelas de largo plazo. *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario- Argentina.
- Fantino V, D Damen, S Leguizamón, M Silva Rossi, J García. 2003. Utilización de fertilizantes orgánicos en el cultivo de maíz. Para mejorar la producción, Maíz, campaña 2002/2003. *Rev. n. 23*. INTA Venado Tuerto. Argentina
- Herrera A. 1981. The generation of technologies in rural areas. *World Development*, 9:21-35
- InfoStat. 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Leguía H, L Pietrarelli, S Luque, J Sánchez, E Alessandria, M Arborno, J Zamar. 2004. "El bosque nativo como referentes de las condiciones hídricas de los suelos agrícolas" *LEISA*. *Revista de Agroecología* 19 (4): 28-31
- McClintock NC. 2004. Production and use of compost and vermicompost in sustainable farming systems. *Crop Science*
- Motha R y W Baier. 2005 Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: north america *Climatic Change* 70: 137-164
- Ovando G, A de la Casa y A Rodríguez. 2002. Variación espacio temporal de la condición de aridez en la provincia de Córdoba y su relación con la dificultad de alcanzar la sustentabilidad agropecuaria. *IX Reunión Argentina de Agrometeorología*, AAA, 18-20 Set. Vaquerías, Córdoba
- Pérez M y C Scianca .2009. Efecto de los cultivos de cobertura sobre las poblaciones de malezas en un Hapludol thapto árgico del NO bonaerense *Memoria técnica 2009-2010*, INTA General Villegas.
- Pietrarelli L. 2009. Transformación tecnológica-productiva de sistemas agropecuarios de la región central de la provincia de Córdoba entre 1997 y 2004. Tesis de maestría FCA.UNC.
- Primavesi A. 1984. Manejo ecológico del suelo. Ed. Ateneo
- Quiroga A, D Fenández, O Ormeño y J Ventura. 1999. Efectos del manejo (rotación-agricultura) sobre los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en suelos de la región semiárida pampeana. *Boletín de Divulgación Técnica INTA Anguil* N° 62.
- Ruffo M y A Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 21
- Sanabria JA, GL Argüello, A Balbis, C Dasso y O Barbeito. 1997. Evaluación de los aspectos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos de la Cuenca Rafael García-Lozada, para el control de la erosión hídrica. *Informe Final Secr. Ciencia y Tecnología de la U. N. de Córdoba*, 123 pp
- Sanchez J, Pietrarelli L, Luque SM, Vaccarello H, Allende N y J Molina. 2010. Prácticas Agroecológicas en sistemas extensivos de baja biodiversidad de la Región Central de Córdoba: Introducción de variedades de maíz de polinización abierta. *Informe de avance Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT)*, Universidad Nacional de Córdoba
- Scianca C, C Álvarez, M Barraco, A Quiroga, MB Pérez. 2008. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre propiedades edáficas, población de malezas y productividad de soja.
- Stewart, B. y and C. Robinson 1997. Are agroecosystems sustainable in semiarid regions? *Advances in Agronomy* 60:191-228
- Varela MF, Fernández P, Álvarez C, Scianca C, Rubio, G y M Taboada. 2010. Propiedades físicas que varían por la incorporación de cultivos de cobertura en hapludoles franco arenosos. M. *Memoria Técnica 2009/2010 INTA Gral Villegas*
- Walker J y J Reuter (Eds). 1996. Indicators of catchments health: a technical perspective CSIRO. Melbourne
- Zamar J, E Alessandria y E Abril. 2007. "Reducción y fragmentación de bosques de la región del espinal en la cuenca Rafael García-Lozada, Córdoba". *Revista Científica Agropecuaria* 11(1): 23-31. Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER
- Zamar J, E Alessandria, A Barchuk y S Luque. 2000. "Emergencia de plántulas de malezas bajo cubierta de diferentes rastrojos de cultivo". *Agriscientia*. Vol. XVII:59-64.

Ariel Bertolla, Tomás Baigorria, Dionisio Gómez, Cristian Cazorla, Marcos Cagliero, Andrea Lardone, Marcos Bojanich y Bethania Aimetta

## Efecto de la fertilización sobre la eficiencia del uso del agua de especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura

### INTRODUCCIÓN

En la Argentina, el cultivo de soja ocupa el primer lugar en importancia debido a que se realiza en una superficie aproximada de 18 millones de has (Minagri, 2011). Los residuos del cultivo remanentes luego de la cosecha son escasos y el aumento de su presencia en las secuencias agrícolas afectaría a la conservación del contenido de materia orgánica del suelo (MOS). Además, la baja relación carbono/nitrógeno (C:N) del residuo, afectaría el mantenimiento de adecuados niveles de cobertura de los suelos, lo cual podría llevar en el largo plazo, al empobrecimiento de los mismos (Ruffo, 2003). Una alternativa para incrementar el aporte de residuos en estos sistemas con alta participación de soja, es la incorporación de cultivos de cobertura (CC) (Hendrix et al., 1998). Los CC son aquellos establecidos entre dos cultivos estivales, y no son pastoreados, incorporados al suelo, ni cosechados, quedando en la superficie, protegiendo al suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos (Álvarez y Scianca, 2006). Algunas de las funciones de los CC son aportar carbono al suelo a través de sus residuos, capturar nutrientes móviles como el nitrógeno (N) y azufre (S), mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y el control de malezas, de la erosión, etc. (Carfagno, 2008).

La descomposición de los residuos de cosecha libera N que puede lixivarse en el perfil antes del aprovechamiento por el próximo cultivo estival (Stute y Posner, 1995). Los CC durante su creci-

miento absorben el N del suelo y lo incorporan dentro de su biomasa aprovechándolo, de esta forma, pueden disminuir los riesgos de lixiviación en el perfil del suelo hacia las napas. En ensayos que incluyen cultivos de CC, Strock et al., (2004) reportaron que las pérdidas de N-NO<sub>3</sub> por lixiviación en un suelo moderadamente drenado se redujeron en un 13% en una rotación maíz-soja cuando un cultivo de centeno se implantó durante el periodo de barbecho. Por otro lado Restovich et al., (2008), encontraron en suelos franco limosos de la zona de Pergamino que la utilización de CC disminuye 95 Kg ha<sup>-1</sup> el contenido de N en el perfil, con respecto a un barbecho (testigo sin CC) al momento de la siembra de los cultivos estivales.

Una desventaja de la utilización de CC es que el consumo hídrico durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002). Por tal motivo es importante elegir especies que tengan alta producción de biomasa con bajo consumo de agua, para mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA). Así, los CC que consiguen producir mayor cantidad de materia seca en forma anticipada, permiten adelantar su secado, lo que beneficia a los cultivos estivales, con un mayor aprovechamiento de las precipitaciones que ocurren al principio de la primavera (barbecho) (Fernández et al., 2005a). La fertilización es una práctica de manejo que mejora la EUA, según trabajos realizados en Hapludoles y Haplustoles de la región semiárida pampeana (Quiroga et al., 2007).

La factibilidad de la inclusión de CC en secuencias agrícolas será mayor mientras menos interferencia tenga por el recurso agua con el cultivo

principal. Por lo tanto es de gran importancia identificar especies de alta EUA. También es importante evaluar el efecto de la fertilización en la EUA. Por tal motivo el objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de la fertilización en la EUA de distintas especies utilizadas como CC.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se ubicó en la Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez, sobre un suelo Argiudol típico, perteneciente a la serie Marcos Juárez, que posee capacidad de uso I. Los CC se implantaron en siembra directa sobre un rastrojo de maíz el 24 de Abril de 2010. El diseño fue en bloques completamente aleatorizados con arreglos en parcelas divididas, donde la parcela principal fueron las especies y la sub-parcela los tratamientos de fertilización, con 3 repeticiones. El tamaño de las sub parcelas fueron de 6 metros de ancho por 50 metros de largo. El factor principal evaluado fue la especie con cuatro niveles: Triticale (TT), Centeno (CT), Vicia sativa (VS) y Vicia Villosa (VV). El sub factor fue la fertilización y fue diferente de acuerdo a la familia de especies. La fertilización en Triticale y Centeno se realizó a la siembra con 46 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato di amónico (FDA) y se realizó una segunda aplicación con 200 kg ha<sup>-1</sup> de urea el día 28/05/2010, en las sub parcelas fertilizadas. Las leguminosas (Vicia villosa y Vicia sativa), se fertilizaron con 46 kg ha<sup>-1</sup> de FDA a la siembra en las sub parcelas fertilizadas. La densidad de siembra para los cultivos gramíneas (Triticale y Centeno) fue de 250 pl m<sup>-2</sup>, mientras que para las leguminosas (Vicia Villosa y Vicia Sativa) fue de 35 pl m<sup>-2</sup>. La interrupción del crecimiento de los CC se realizó en forma mecánica mediante la utilización de rolo a cuchillas el día 02/10/2010.

Se determinó el contenido de humedad del suelo a través del método gravimétrico a diferentes profundidades del suelo (0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 cm), en 5 momentos del ciclo de los CC, desde emergencia hasta el momento de secado. El agua consumida final por el cultivo al momento de secado (ACF) se estimó como la sumatoria de AC en cada intervalo. El agua útil residual (AUR) es el AUT del suelo determinada al momento de secado de los CC.

La producción de biomasa (BIOM) durante el ciclo de los CC se realizó mediante 4 muestreos en

las mismas fechas donde se determinó la humedad del suelo, cortando plantas en una superficie de 0,5m<sup>2</sup> al ras del suelo, en los surcos centrales de las parcelas. Luego se colocaron las muestras en estufa con ventilación forzada a 60°C hasta obtener peso constante y el peso obtenido se expresó finalmente en Kg ha<sup>-1</sup>. La EUA (kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), se calculó como la pendiente de las rectas de regresiones que surgieron de relacionar BIOM de cada CC en función del AC en las diferentes fechas de muestreo (Dardanelli et al., 2008). La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) expresado en kg ha<sup>-1</sup> °Cd<sup>-1</sup>, se calculó como la pendiente de las rectas de regresión que surgieron de relacionar BIOM en función del tiempo expresado en unidades térmicas (°Cd), tomando como temperatura base 0°C (Cárcova et al., 2008).

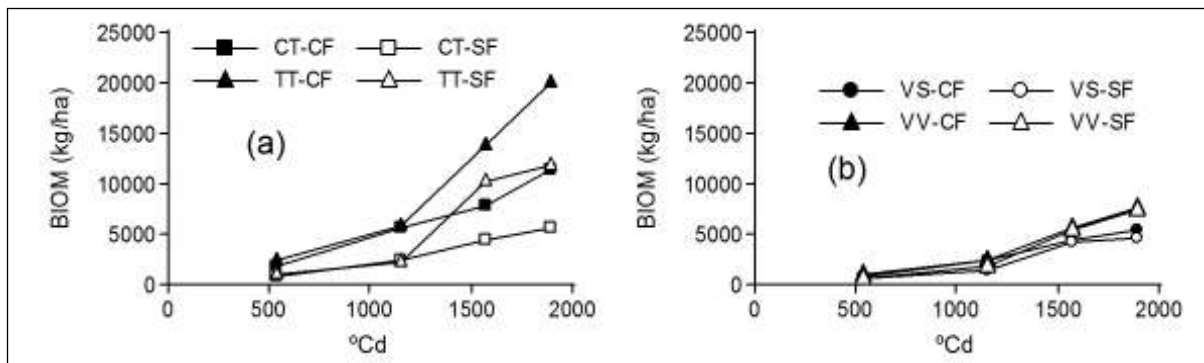
Al momento de secado de los CC se determinó el contenido de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> residual en el suelo (ppm) por el método de fenil disulfónico (Bremner, 1965) y se expresaron los resultados en kg ha<sup>-1</sup> para las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm. El costo hídrico se calculó como la diferencia de agua útil en el suelo en los diferentes tratamientos al momento de secado en relación al tratamiento testigo (Fernández et al., 2008).

Los datos fueron evaluados estadísticamente a través de análisis de varianza (ANOVA), y mediante análisis de regresión lineal, utilizando el programa estadístico (Infostat, 2004). Debido a que los niveles de fertilización fueron diferente entre leguminosas (VV y VS) y gramíneas (TT y CT), el contraste para ANOVA en las sub-parcelas fertilizadas se dividió de acuerdo a la familia, por una lado gramíneas (TT y CT) y por el otro leguminosas (VV y VS). La producción de BIOM se analizó a través de los componentes que la definen, ACF y EUA, en gramíneas y leguminosas de manera separada.

## RESULTADOS

La producción de BIOM en los diferentes momentos de muestreo en función de las unidades térmicas (°Cd), de los CC gramíneas (Figura 1A) y leguminosas (Figura 1B). En las gramíneas, se observó que a partir del segundo momento de muestreo (1200°C), comenzó a observarse diferencias entre cultivos, donde TT produjo mayor BIOM que el CT.

En gramíneas el efecto de la fertilización nitro-



**Figura 1:** Biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>) en función del tiempo térmico (°Cd) en a) gramíneas: Triticale (TT), Centeno (CT) y en b) leguminosas: Vicia Villosa (VV), Vicia Sativa (VS) con los tratamientos de fertilización: con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

genada fue significativo durante casi todo el ciclo, siendo mayores los valores de BIOM para los tratamientos fertilizados (Figura 1A). En leguminosas las producciones de BIOM fueron menores a de las gramíneas durante todo el ciclo (Figura 1A y B). VV presentó mayores producciones de BIOM, siendo estas diferencias más notorias a partir de aproximadamente los 1600 °Cd (Figura 1B). En cuanto a la fertilización fosforada en leguminosas, no se observaron diferencias significativas durante el ciclo.

En relación a la BIOM producida por gramíneas, se observaron diferencias significativas entre

**Tabla 1:** Biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>), Agua consumida (ACF - mm) al momento de secado, eficiencia en el uso del agua (EUA - kg ha<sup>-1</sup>/mm<sup>-1</sup>), para los cultivos gramíneas (CG): Triticale (TT) y Centeno (CT), con sus tratamientos de fertilización (TR): con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

CG	TR	BIOM (Kg/ha)	ACF (mm)	EUA (kg/ha/mm)
TT	CF	20015 a	304 a	81,5 a
	SF	11867 b	258 b	66,4 ab
CT	CF	11334 b	249 b	50,5 bc
	SF	5655 c	240 b	30,9 c
	CL	***	***	***
	TR	***	NS	***
	CL*TR	NS	NS	NS

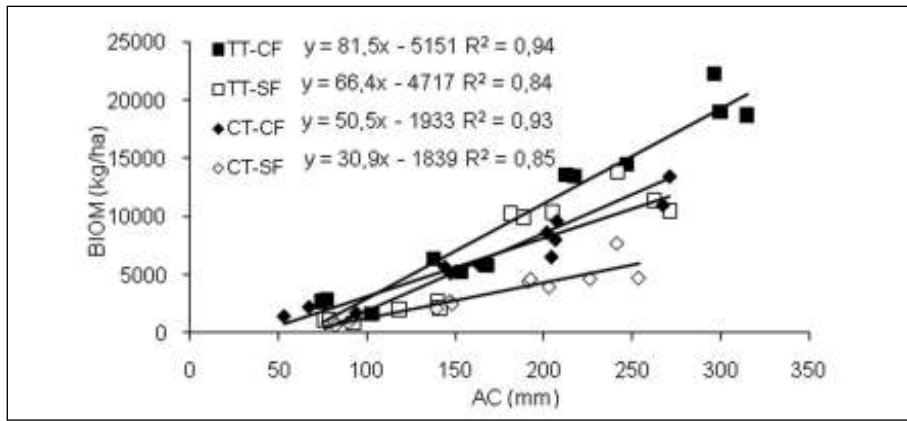
\*\*\*= diferencias estadísticamente significativas, NS= diferencias no significativas ( $p < 0,05$ ). Para los efectos principales de cultivo (CL), tratamiento (TR) y la interacción CL\*TR. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas entre medias (Test LSD Fisher)

especies y fertilización, mientras que no hubo interacción (Tabla 1). La diferencia media de producción de BIOM entre TT y CT fue de 7447 kg ha<sup>-1</sup>. El efecto medio de la fertilización incrementó la BIOM en 6914 kg ha<sup>-1</sup>.

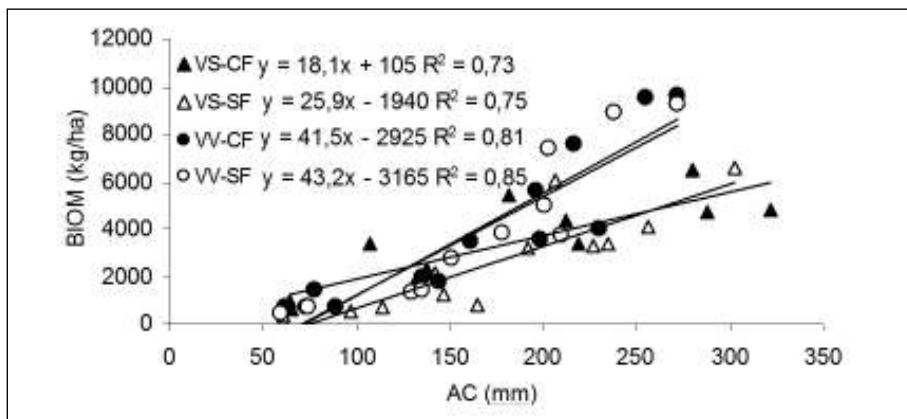
Con respecto al ACF, se encontraron diferencias significativas entre los CL y no hubo diferencias significativas entre FR, ni interacción CL\*FR significativa (Tabla 1). El ACF promedio de los cultivos fue: TT (281 mm) y CT (244 mm), siendo la diferencia de 37 mm. Si bien no se detectó interacción CL\*FR estadísticamente significativa sobre el ACF, se pudo observar que el TT fertilizado presentó 50 mm más de consumo con respecto a los demás casos.

La EUA presentó diferencias significativas entre CL y entre FR y no hubo interacción CL\*FR significativa, al igual que en BIOM (Tabla 1). Se pudo observar que TT (73 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) fue casi dos veces más eficiente en el uso del agua que CT (40 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). El efecto promedio de la fertilización fue incrementar la EUA en 30 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, comparado al tratamiento CF (67 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) respecto del SF (46 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

En la Figura 2 se observa la relación entre BIOM producida en función del AC para cada fecha de muestreo para gramíneas, donde las pendientes de las rectas de regresión expresan la EUA. Se observa que los ajustes fueron altos ( $R^2 > 0,85$ ), lo que demuestra que cada cultivo transformó el agua consumida en biomasa con la misma eficiencia durante todo el ciclo. Las diferencias observadas en las pendientes de las rectas de los distintos tratamientos muestran las variaciones en la EUA.



**Figura 2:** Biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>) en función del agua consumida (AC -mm), en las gramíneas: Triticale (TT) y Centeno (CT), con sus tratamientos de fertilización (TR): con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).



**Figura 3:** Biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>) en función del agua consumida (AC - mm), para los cultivos leguminosos: Vicia Villosa (VV) y Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización (TR): con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

**Tabla 2:** Biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>), Agua consumida (ACF - mm) al momento de secado, eficiencia en el uso del agua (EUA - kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) para los cultivos leguminosos (CL): Vicia Villosa (VV) y Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización (TR): con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

CL	TR	BIOM (Kg/ha)	ACF (mm)	EUA (kg/ha/mm)
VV	CF	7694 a	253 a	41,5 ab
	SF	7307 a	240 a	43,2 a
VS	CF	5306 a	297 a	18,1 c
	SF	4673 a	265 a	25,9 bc
CL		***	NS	***
TR		NS	NS	NS
CL*TR		NS	NS	NS

\*\*\*= diferencias estadísticamente significativas, NS= diferencias no significativas ( $p < 0,05$ ). Para los efectos principales de cultivo (CL), tratamiento (TR) y la interacción CL\*TR. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas entre medias (Test LSD Fisher)

En leguminosas la BIOM producida presentó diferencias significativas entre CL y no hubo dife-

rencias significativas entre FR ni interacción CL\*FR significativa (Tabla 2). La producción de BIOM promedio de los cultivos fue: VV (7500 kg ha<sup>-1</sup>) y VS (4989 kg ha<sup>-1</sup>), siendo la diferencia de 2511 kg ha<sup>-1</sup>. Si bien en FR no se detectaron diferencias estadísticamente significativas sobre la BIOM producida, se pudo observar una leve tendencia a aumentar este parámetro en 511 kg ha<sup>-1</sup> comprando los tratamientos CF (6500 kg ha<sup>-1</sup>) con los SF (5989 kg ha<sup>-1</sup>).

En relación al ACF, no se encontraron diferencias entre los CL, FR ni la interacción CL\*FR significativa (Tabla 2). Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, se pudo observar que VS (280 mm) al momento de secado consumió 34 mm más de agua que VV (246 mm). El efecto de la fertilización fue casi un 50% menor al efecto CL, siendo la diferencia en el ACF de 22 mm comparando CF (274 mm) respecto del SF (252 mm).

En la EUA, se encontraron diferencias significativas entre CL, y no hubo diferencias significativas entre FR ni en la interacción CL\*FR significativa (Tabla 2). La EUA promedio de los cultivos fueron

de 40 y 22  $\text{kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$  para VV y VS respectivamente, siendo VV dos veces más eficiente en el uso del agua que VS.

En la Figura 3 se muestra la EUA de leguminosas, siendo esta menor que la encontrada para gramíneas ( $R^2 > 0,70$ ). Se puede considerar que también las vicias transformaron el agua consumida en biomasa con igual eficiencia en todo el ciclo. Los principales cambios en la EUA fueron debidas a los cultivares y no a los efectos de la fertilización fosforada.

Las diferencias en biomasa encontradas al momento de secado tanto de gramíneas como de leguminosas fueron relacionadas con los componentes fisiológicos que la definen (ACF y EUA)

**Tabla 3:** Tasa de crecimiento (TCC -  $\text{kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ) de los cultivos gramíneas (CL): Triticale (TT), Centeno (CT) y los cultivos leguminosas (CL): Vicia villosa (VV), Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización (TR): con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

TR	GRAM ( $\text{kg/ha}^\circ\text{Cd}$ )		LEG ( $\text{kg/ha}^\circ\text{Cd}$ )	
	TT	CT	VS	VV
CF	13 a	6 b	3 b	5 a
SF	8 b	3 c	3 b	5 a
CL	***		***	
TR	***		NS	
CL*TR	NS		NS	

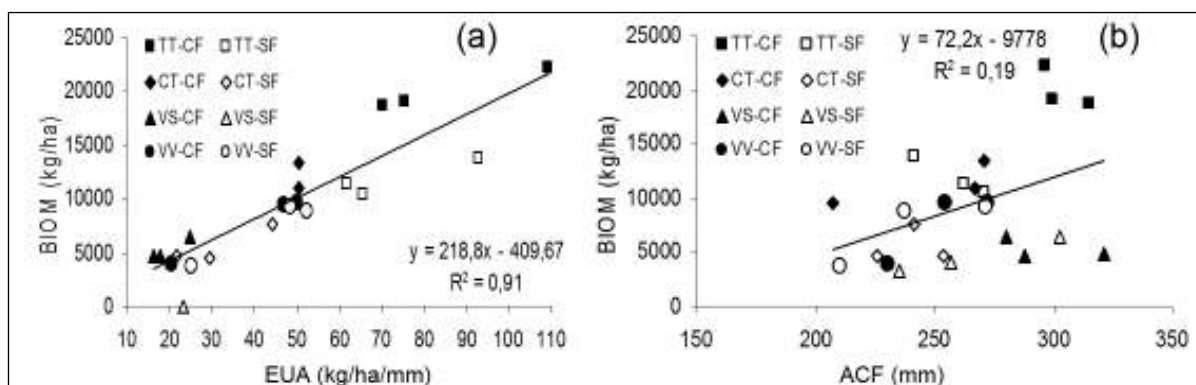
\*\*\*= diferencias estadísticamente significativas, NS= diferencias no significativas ( $p < 0,05$ ). Para los efectos principales de cultivo (CL), tratamiento (TR) y la interacción CL\*TR. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas entre medias (Test LSD Fisher)

(Figura 4A). Se pudo observar que todos los cultivos se alinearon en una única recta de regresión con un ajuste muy alto ( $R^2 = 0,91$ ). Es decir las diferencias en la producción de BIOM encontradas al momento de secado fueron explicadas en un 90% por la EUA, donde por cada punto de aumento de este parámetro, aumentó 218  $\text{kg ha}^{-1}$  la producción de BIOM, siendo este factor muy importante para explicar las producciones de BIOM. En cambio, los ajustes que se obtuvieron de la relación entre BIOM y ACF fueron relativamente bajos ( $R^2 = 0,19$ ), siendo este factor de menor importancia para explicar la producción de BIOM. Es decir, con mayores consumos de agua no se lograron mayores cantidades de BIOM (Figura 4B).

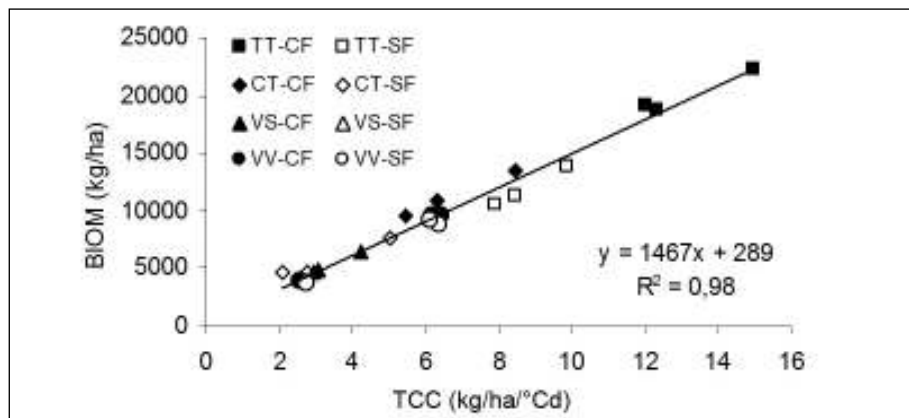
Otro aspecto a considerar en un CC es la tasa de crecimiento (TCC -  $\text{kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ), la cuál es presentadas en la Tabla 3. En las gramíneas se observaron diferencias significativas entre CL y entre FR y no hubo interacción CL\*FR significativa. Los resultados mostraron que la TCC promedio de TT ( $10 \text{ kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ) fue el doble que la de CT ( $5 \text{ kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ). El efecto de la fertilización nitrogenada fue incrementar en 3  $\text{kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$  la TCC comparando el tratamiento CF ( $9 \text{ kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ) respecto del SF ( $6 \text{ kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ) (Tabla 3).

En lo que respecta a la TCC en las leguminosas se encontraron diferencias entre CL y no se detectaron diferencias entre FR ni interacción CL\*FR significativa. Los CL presentaron una TCC promedio de: VV ( $5 \text{ kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ) y VS ( $3 \text{ kg ha}^{-1}\text{Cd}^{-1}$ ).

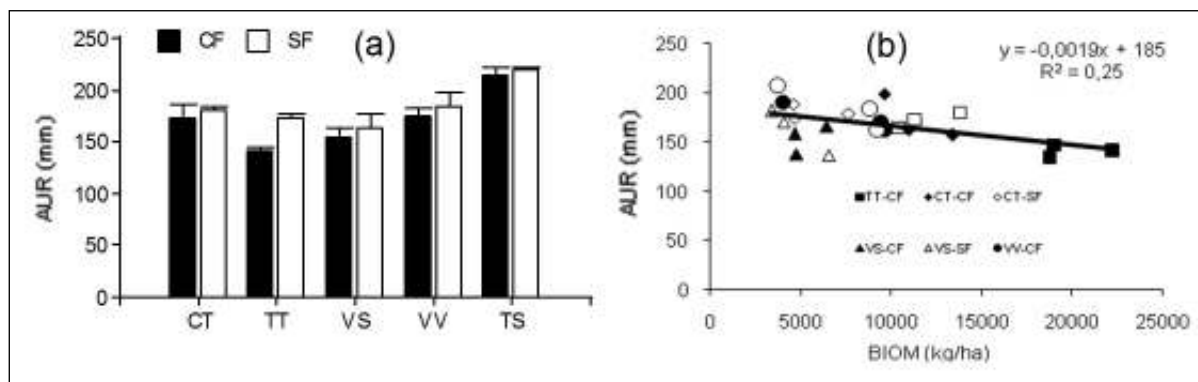
En la Figura 5 se puede observar la relación entre BIOM producida al momento de secado de los CC, en función de la TCC, en la cual, los cultivos se alinean sobre una única recta, con un ajuste



**Figura 4:** a) Biomasa producida (BIOM -  $\text{kg/ha}$ ) en función de la eficiencia del uso del agua (EUA -  $\text{kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ) y b) en función del agua consumida final (ACF -  $\text{mm}$ ), para los distintos cultivos de cobertura: Triticale (TT), Centeno (CT), Vicia Villosa (VV), Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización: con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).



**Figura 5:** Biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>) en función de la tasa de crecimiento de los cultivos (TCC -kg ha<sup>-1</sup> °Cd<sup>-1</sup>), para los distintos cultivos de cobertura: Triticale (TT), Centeno (CT), Vicia Villosa (VV), Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización: con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).



**Figura 6:** a) Agua útil residual en el suelo (AUR -mm) (0-150cm) al momento de secado de los cultivos de cobertura con el testigo (TS) y los tratamiento y b) agua útil residual (AUR -mm) (0-150cm) en función de la biomasa producida (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>) para los cultivos de coberturas: Triticale (TT), Centeno (CT), Vicia Villosa (VV), Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización: con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

te muy alto ( $R^2=0,98$ ) al igual que la EUA. Es decir que la TCC de los cultivos explicó el 98% de la variación en la BIOM, y por cada unidad de incremento, la BIOM aumenta 1467 kg ha<sup>-1</sup>.

En la Figura 6A se muestra el agua útil residual (mm) que los CC dejaron en el suelo al momento de secado de los mismos. En el tratamiento testigo (TS) presentó 220 mm de agua en el perfil sin diferencias agronómicas entre los FR. El TT CF fue el cultivo con mayor costo hídrico, (76 mm), un 36% menos respecto del TS, mientras que el SF un 20% menos comparado con TS. En los demás cultivos no se encontraron diferencias agronómicas entre FR, pero sí con respecto al TS. A pesar que el ajuste de regresión entre AUR y la biomasa producida (Figura 6B) fue muy baja ( $R^2= 0,25$ ), existió una relación negativa entre ambos componentes, donde a mayor biomasa, menor fue contenido hídrico en el perfil del suelo al momento de secado.

En lo que respecta a la disponibilidad de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> residuales que los CC dejaron en el suelo al

momento de secado, para las gramíneas se encontraron diferencias significativas entre los CL y no hubo diferencias entre FR ni interacción CL\*FR significativa (Tabla 4). El N-NO<sub>3</sub> residual promedio de los CL fueron: CT (11,2 kg ha<sup>-1</sup>) y TT (7,3 kg ha<sup>-1</sup>), encontrándose una diferencia de 3,9 kg ha<sup>-1</sup> a favor del CT.

En las leguminosas (Tabla 4) se encontraron diferencias significativas entre TR e interacción CL\*FR y no hubo diferencias entre CL. Se pudo observar que los cultivos fertilizados (11,8 kg ha<sup>-1</sup>) dejaron mayor cantidad de N-NO<sub>3</sub> residual que los no fertilizados (7,7 kg ha<sup>-1</sup>) siendo la diferencia de 4,2 kg ha<sup>-1</sup>. La interacción CL\*TR significativa se debió a que, VV SF (15 kg ha<sup>-1</sup>) dejó mayor cantidad de N-NO<sub>3</sub>- con respecto a VV CF (6 kg ha<sup>-1</sup>). En VS no se encontró respuesta a la fertilización. Comparando los N-NO<sub>3</sub>- residuales que los CC dejaron en el suelo al momento de secado (Figura 7A), se observó que los CC redujeron entre 65 y 80% los N-NO<sub>3</sub> respecto a TS (38 kg ha<sup>-1</sup>).



**Tabla 4:** N-NO<sub>3</sub>- residuales en el perfil del suelo (N-NO<sub>3</sub>-kg ha<sup>-1</sup>) (0-60cm) al final del ciclo de los cultivos gramíneas (CL): Triticale (TT), Centeno (CT) y de los cultivos leguminosas (CL): Vicia villosa (VV), Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización (TR): con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

TR	GRAM (kg/ha)		LEG (kg/ha)	
	TT	CT	VS	VV
CF	7,3 b	13,8 a	8,8 b	6,4 b
SF	7,2 b	8,5 b	8,5 b	15,2 a
CL	***		NS	
TR	NS		***	
CL*TR	NS		***	

\*\*\*= diferencias estadísticamente significativas, NS= diferencias no significativas (p<0,05). Para los efectos principales de cultivo (CL), tratamiento (TR) y la interacción CL\*TR. Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas entre medias (Test LSD Fisher)

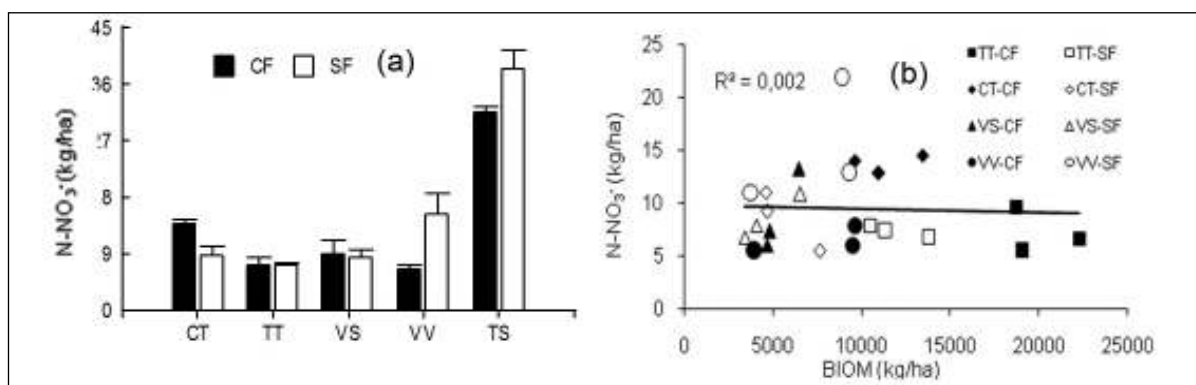
En la Figura 7B se muestra la regresión entre N-NO<sub>3</sub>- residual en el suelo y la BIOM producida al momento de secado de los CC, donde si bien hubo una tendencia a dejar menor cantidad de N-NO<sub>3</sub> a mayor BIOM producida, esta no fue significativa (R<sup>2</sup>=0,002), lo que significa que producir más cantidad de biomasa, no implica dejar menos cantidad de N en el suelo. Un ejemplo fue TT que con fertilización nitrogenada, casi duplicó la biomasa producida, mientras que no hubo diferencias en la cantidad de nitratos residuales en el suelo.

## DISCUSIÓN

La generación de biomasa depende en gran medida de la especie y del cultivar utilizado (Carfagno, 2008). En este trabajo se demostró que la producción de biomasa de las gramíneas fue claramente superior al de las leguminosas, tal como los resultados obtenidos por varios autores (Neal et al., 2011; Zendonadi dos Santos et al., 2011) quienes comparando diversas especies invernales gramíneas y leguminosas, también encontraron que las primeras duplicaron en producción a las segundas.

Entre las gramíneas, el TT fue el cultivo que mayor biomasa. Datos similares obtuvieron Amigone et al., (2010) en un ensayo de pastoreo y Scianca et al., (2006) que evaluaron a estas especies como CC. La diferencia entre ambos cultivos se puede deber a que TT (Cultivar Espinillo INTA) es un cultivar mejorado en la región Marcos Juárez (Bainotti et al., 2007), por lo tanto está bien adaptado a la zona, mientras que CT es una especie mejorada en Chile, por lo que su adaptación a esta zona puede ser menor. En cuanto a las leguminosas, la producción de BIOM fue mayor en VV que en VS, coincidiendo con resultados previos de Baigorria y Cazorra (2010), quienes compararon a estos dos cultivares en distintos ambientes y siempre fue de mayor producción VV.

Según Passioura, (1977), la producción de biomasa de un cultivo depende de cómo éste capta el recurso agua (AC) y de cuan eficiente es en transformarlo en materia seca (EUA). En este tra-



**Figura 7:** a) Contenido de N-NO<sub>3</sub>- residuales en el suelo (0-60cm) (N-NO<sub>3</sub>-kg ha<sup>-1</sup>) de los cultivos de cobertura y del testigo (TS) al momento de secado, con sus tratamiento de fertilización y b) Contenido de N-NO<sub>3</sub>- residuales en el suelo (0-60cm) (N-NO<sub>3</sub>-kg ha<sup>-1</sup>) en función de la biomasa producida al momento del secado (BIOM - kg ha<sup>-1</sup>), para los cultivos de coberturas: Triticale (TT), Centeno (CT), Vicia Villosa (VV), Vicia Sativa (VS), con sus tratamientos de fertilización: con fertilización (CF) y sin fertilización (SF).

bajo se observó que los componentes fisiológicos que explican la biomasa producida (ACF y EUA), tuvieron una relación positiva con la BIOM, aunque la EUA fue el factor que mejor explicó las diferencias entre BIOM encontradas. En cuanto a la BIOM producida los cultivos de mayor producción fueron los de mayor EUA, coincidiendo con Neal et al., (2011) quienes evaluando distintas gramíneas y leguminosas encontraron que había una relación positiva entre el rendimiento de BIOM y ambos componentes. En ese trabajo también la EUA presentó una mejor relación ( $R^2=0,69$ ), que el ACF por el cultivo ( $R^2=0,33$ ), con las diferencias en BIOM observadas.

Otro factor que explicó las diferencias entre especies en cuanto a la producción de biomasa fue la tasa de crecimiento. Neal et al., (2011) propusieron que especies de rápido crecimiento mejoran la EUA, ya que cubren el suelo rápidamente, evitando pérdidas de agua por evaporación directa desde el suelo y optimizando la relación entre TCC y biomasa (Prasad y Power, 1991). Ambos postulados, explicarían los resultados del presente trabajo, donde los cultivares de mayor producción fueron los de mayor TCC y mayor EUA.

El uso de fertilizantes tiene una eficacia notable en la producción y la EUA de los cultivos (Zhang et al., 1998). Algo similar ocurrió en este trabajo, donde la aplicación de fertilizantes nitrogenados incrementó la BIOM, la EUA y en TCC en el caso de las gramíneas. Respuestas similares en estos cultivos han sido reportadas previamente por Scianca et al., (2008) y Díaz-Zorita y Gonella, (1997). Esta respuesta puede ser debida a que la aplicación de fertilizantes nitrogenados aumenta la concentración de N en las plantas aumentando la capacidad fotosintética del cultivo, provocando mayor TCC en periodos tempranos, dando por resultado incrementos en la EUA (Dardanelli et al., 2008).

En cuanto a la aplicación de fósforo como fertilizante algunas investigaciones reportan que en suelos de bajo P la aplicación de este nutriente incrementa la producción de materia seca en leguminosas (Payne et al., 1992; Payne et al., 1995). En éste trabajo la aplicación de P en leguminosas, no aumentó la producción de BIOM. Esto puede deberse a que la cantidad de P disponible en el suelo al momento de la siembra de los CC, en los tratamientos sin fertilizar fue aproximadamente de 55 ppm en la profundidad 0 - 20 cm,

es decir, estuvo por encima del umbral mínimo de respuesta a la fertilización (16 ppm) reportado por García y Berardo, (2005).

Lampurlanes et al., (2002) señalan que la conservación del agua durante el barbecho resulta principalmente dependiente del tipo de suelo, sistema de labranza, probabilidad de precipitaciones y capacidad del suelo para almacenar agua, etc. Considerando que el peso relativo de cada factor varía entre sitios, es frecuente observar resultados contrastantes entre experiencias, los cuales dan lugar a controversias sobre el valor del barbecho para la conservación del agua en regiones semiáridas.

En este trabajo los CC dejaron menor cantidad de agua útil residual en el perfil del suelo respecto al TS, lo que concuerda con Álvarez y Scianca, (2006), quienes reportaron que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría inferir en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente. Al respecto, Fernández et al., (2005b), comprobaron una reducción importante en los contenidos de agua por efecto de CC.

El efecto de la fertilización hallado en este trabajo coincide con Quiroga et al., (2007), quienes también demostraron que los CC fertilizados, fueron los que mostraron menores cantidades de agua útil residual al momento de secado de los CC en comparación con el testigo.

En la Pampa Ondulada, los sistemas de producción agrícola presentan dos momentos de riesgo de pérdida de N por lixiviación: durante el período de barbecho otoño-invernal y durante los primeros estadios del cultivo estival. Esto se debe a que coincide una alta cantidad de N inorgánico proveniente de la mineralización del suelo, con las lluvias primaverales, sumando a la falta de sistemas de raíces eficientes para captura de N en profundidad (Andriulo et al., 1999). Por lo que es importante considerar la captura de nitratos durante el barbecho que tiene lugar entre cultivos de verano (marzo-octubre), minimizando la lixiviación durante el otoño y principios de la primavera (Fernández et al., 2005a), en este sentido los CC cumplieron con ese objetivo. En éste trabajo, los CC dejaron entre el 65 y 85% menos cantidad de  $N-NO_3^-$  en el perfil del suelo en la profundidad 0 - 60 cm respecto al TS. Similares resultados fueron obtenidos por Quiroga et al., (1999) quienes trabajaron sobre suelos Haplustoles enticos,

determinaron entre 70 y 83% menos de N-NO<sub>3</sub>-bajo cereal de invierno que bajo barbecho. También Nyakatawa et al., (2001) encontraron que sobre un Paleudult típico bajo CC quedaba entre 23 y 82 % menos de N-NO<sub>3</sub>- que bajo barbecho.

## CONCLUSIONES

En cuanto a la producción de biomasa se encontraron diferencias importantes entre cultivos, las gramíneas fueron las que produjeron mayor cantidad respecto a las leguminosas. La biomasa estuvo lineal y positivamente correlacionada con ambos componentes que la definen (ACF y EUA), aunque ésta última explicó en mayor medida las diferencias en BIOM encontradas entre los cultivos.

La tasa de crecimiento mostró una alta correlación con la biomasa final de los cultivos. Por lo tanto es otro componente fisiológico importante para considerar al momento de la elección de un CC.

Los CC al momento de secado redujeron los nitratos residuales del suelo, respecto al testigo. Los tratamientos de fertilización no tuvieron efecto claro sobre este parámetro.

Los CC redujeron significativamente el agua útil residual al momento de secado respecto del testigo, donde no se encontraron diferencias importantes entre gramíneas y leguminosas.

El agua útil y los nitratos residuales, en el perfil del suelo al momento de secado no dependieron de la producción de biomasa de los CC. La fertilización nitrogenada produjo en gramíneas, aumentos en la biomasa producidas y de los componentes que los definen, agua consumida final, eficiencia en el uso del agua y la tasa de crecimiento.

La fertilización fosforada en las leguminosas no provocó diferencias significativas en la biomasa producida, ni en sus componentes, agua consumida final, eficiencia en el uso del agua y en la tasa de crecimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

• Álvarez C y C Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas: Jornada Profesional Agrícola 2006.

• Amigone M, Chiacchiera S, Kloster A, Bertram N, Conde MB y B Masiero. 2010. Producción de forraje de avena, cebada forrajera, centeno, triticale y raigrás anual en el sudoeste de Córdoba. Información de Extensión Nº 133. EEA INTA Marcos Juárez.

• Andriulo A, Mary B, Guérif J. 1999. Modeling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19: 365-377.

• Baigorria T y C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies invernales utilizadas como cultivos de cobertura. En acta: XXII congreso de la Ciencia del Suelo. 31 de Mayo al 4 de Junio.

• Bainotti C, Salines J, Amigone M, Frascina J, Formica M, Masiero B, Nisi J, Kloster A, Garis M, Navarro C. 2007. Nueva variedad de triticale forrajero Espinillo INTA. En: Espinillo INTA un nuevo cultivar de triticale forrajero. Información para Extensión 110. EEA INTA Marcos Juárez. pp. 3-6.

• Bremner J. 1965. Inorganic forms of Nitrogen. In Black, C.A. 1965 (Ed) *Methods of soil analysis Part II. Agronomy* 9. ASA. Madison. USA: 1179-1237.

• Cárcova J, Abeledo G y M López Pereira. 2008. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En Satorre, E; Benech, R; Slafer, G; de la Fuente, E; Millares, D; Otegui, M; Savin, R; (Eds.). *Producción de granos bases metodológicas*. UBA. Argentina. pp. 75-91.

• Carfagno P. 2008. Cultivos de Cobertura en Agricultura de Secano en Región Pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de suelos INTA castelar. <http://www.insuelos.org.ar/informes/CultivoSecano.pdf>. Consultado 14/06/2010.

• Dardanelli J, Collino D, Otegui ME y V Sadras. 2008. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En Satorre, E; Benech, R; Slafer, G; de la Fuente, E; Millares, D; Otegui, M.E; Savin, R (Eds.). *Producción de granos bases metodológicas*. UBA. Argentina. pp. 376-433.

• Díaz-Zorita M y C Gonella. 1997. Fertilización nitrogenada de verdeos de invierno en la región subhúmeda pampeana. *Argentina. Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (Supl. 1). pp. 10-12.

• Duarte G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda argentina. en Díaz-Zorita M. y Duarte G. (Eds.). *Manual práctico para el cultivo de girasol*. Hemisferio sur. Buenos Aires. pp. 313.

• Fernández R, Funaro D y A Quiroga. 2005a. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. En *Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda Pampeana*. Boletín de divulgación técnica 87. EEA INTA Anguil. pp. 25-31.

• Fernández R, Funaro D y A Quiroga. 2005b. Aspecto del

Manejo del Manejo del Agua y la Nutrición en Verdes de Inviernos. Boletín de divulgación técnica 61. EEA INTA Anguil. pp. 1-14.

- Fernández R, Quiroga A, Arenas F, Antonini C y M Saks. 2008. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En Quiroga, A y Bono, A (eds.) Manual de fertilidad y evaluación de suelos. INTA. EEA Anguil. Argentina. pp. 51-59.
- García F y A Berardo. 2006. Trigo. En H Echeverría y F. García (eds.). Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. INTA. Buenos Aires. Argentina. pp. 233-253.
- Hendrix P, Franzluebbers A, 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.
- Infostat. 2004. Manual del usuario. Grupo infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición. Editorial Brujas Argentinas.
- Lampurlanes J, Angás P, Cantero-Martínez C. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region Spain. *Soil Till. Res.* 65: 207-220.
- Neal J, Fulkerson W y R Hacker. 2011. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Aust. Agricultural Water Management* 98: 759-774.
- Nyakatawa E, Reddy K, Sistani K. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil. Till. Res.* 58: 69-79.
- Passioura J. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43: 117-120.
- Prasad R y J Power. 1991. Crop residue management. *Advances in Soil Sc* 15: 205-241.
- Payne W, Drew M, Hossner L, Lascano R, Onken A, Wendt C. 1992. Soil phosphorus availability and pearl millet water-use efficiency. *Crop Sci.* 32: 1010-1015.
- Payne W, Hossner L, Onken A, Wendt C. 1995. Nitrogen and phosphorus uptake in pearl millet and its relation to nutrient and transpiration efficiency. *Agron. J.* 87: 425-431.
- Quiroga A, Ormeño O, Fernández D y A Vallejo. 1999.

Verdeo de invierno: necesidad de reconocer y manejar limitantes de su productividad en suelos de la región semiárida pampeana. *Bol. téc* 61. INTA Anguil.

- Quiroga A, Carfagno P, Eiza M y R Michelena. 2007. Inclusión de cultivos de coberturas bajo agricultura de secano en la región semiárida pampeana. EEA INTA General Villegas. Jornada de cultivos de cobertura. Septiembre 2007.
- Restovich S, Andriulo A, Salsa C, Irizar A, Rimotori F, Darder ML, Hanuch L. 2008. Absorción de agua y de nitrógeno edáfico de diferentes cultivos de cobertura. XXI Congreso Argentino de la ciencia del suelo. Potrero de los Funes. San Luis. 13 al 16 de mayo del 2008.
- Ruffo M. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso de AAPRESID.* pp. 171-176.
- Scianca C, Álvarez C, Barraco M y A Quiroga. 2006. Cultivos de cobertura: aporte de nutrientes y rastrojo de las diferentes especies. *Memoria Técnica. INTA Estación Experimental Agropecuaria General Villegas.* pp. 13-15.
- Scianca C, Barraco M y C Álvarez. 2008. Estrategias de manejo de centeno utilizado como cultivo de cobertura en un Argiudol típico del noreste bonaerense. *Memoria técnica 2008 – 2009. EEA INTA General Villegas.* pp. 25-28.
- Strock J, Porter P y M Russelle. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. *J.* 1010-1016.
- Stute J y J Posner. 1995. Synchrony between Legume Nitrogen release and Corn Demand in the upper Midwest. *Agron. J.* 87: 1063-1069.
- Zendonadi dos Santos N, Dieckow J, Bayer C, Molin R, Favaretto N, Pauletti V y J Piva. 2011. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. In *Southern Brazil Soil y Tillage Research* 111: 208-218.
- Zhang H, Oweis T, Garabet S y M Pala. 1998. Water-use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rainfed conditions and supplemental irrigation in a Mediterranean-type environment. *Plant and Soil* 201: 295-305.

## Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos

### INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina en general, y en la provincia de Entre Ríos en particular, predominan los sistemas agrícolas basados en cultivos estivales. En efecto, la proporción de cultivos invernales sobre la superficie cultivada total se ha reducido notoriamente desde 1973 a la actualidad, alcanzando el 13% para Entre Ríos y el 21% para el conjunto de las provincias pampeanas (SAGPyA, 2010).

Por otra parte, la soja es el principal cultivo de verano representando alrededor del 60% de la superficie sembrada de Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires, La Pampa y Entre Ríos (SAGPyA, 2010). La predominancia sostenida de la soja en los últimos años indica que, en el promedio de la superficie sembrada, se estaría realizando este cultivo en dos de cada tres años.

La alta frecuencia del cultivo de soja en las secuencias agrícolas puede reducir los niveles de materia orgánica (MO) en el suelo debido al escaso retorno de residuos de cosecha con una alta relación carbono: nitrógeno (C:N), que los hace descomponer rápidamente. La baja cobertura de rastrojos también puede incrementar el riesgo de erosión hídrica y la exposición del suelo a la energía cinética de las lluvias, reduciendo la estabilidad estructural, clave para el ingreso de agua al suelo. Asimismo, el bajo nivel de fósforo (P) en el suelo requerido por la soja en relación a otros cultivos y la alta demanda de N para la producción de granos torna negativo el balance de nutrientes (Barbagelata y Melchiori, 2007).

La ausencia de cultivos durante el invierno provoca una pérdida enorme de recursos (agua y radiación solar) que no son aprovechados para

producir granos y/o biomasa que mejore el balance de C en el suelo y el resultado productivo de la empresa. La intensificación de la secuencia de cultivos por la inclusión de alternativas invernales mejoraría muchos aspectos de los actuales sistemas agrícolas para el logro de una producción sustentable, eficiente y rentable. Los cultivos de cobertura (CC) invernales son una valiosa alternativa para incrementar los aportes de residuos vegetales al suelo y aprovechar una mayor fracción del agua y de la radiación solar que definen la productividad potencial del ambiente.

Los CC se realizan durante el periodo de barbecho, previo a la siembra de un cultivo destinado a la producción de granos (cultivo de renta), interrumpiendo su crecimiento a través de la aplicación de herbicidas. La interrupción debe realizarse con la antelación suficiente como para permitir la recuperación de los niveles de humedad del suelo en superficie para realizar la siembra del cultivo de renta.

Para que sea factible su adopción, el CC no debería afectar la implantación del cultivo de renta, ni comprometer su rendimiento por reducir las reservas hídricas del perfil del suelo. Asimismo, el CC debe aportar un nivel de C aceptable con una relación C:N que garantice una descomposición lenta del material aportado para lograr una cobertura de residuos durante más tiempo y favorecer los mecanismos de estructuración superficial y de almacenaje de la MO en los agregados del suelo (Novelli et al., 2010).

El objetivo de este trabajo es presentar y discutir aspectos relacionados con la inclusión de CC invernales en los sistemas agrícolas del centro-oeste de Entre Ríos, en base a la experiencia de cuatro años de experimentación en la temática.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Una serie de experiencias con cultivos de cobertura fueron realizadas en el centro oeste de Entre Ríos, sobre dos tipos de suelo, un molisol serie Tezanos Pinto (Argiudol acuico) y un suelo vertisol serie Febré (Cromuderte árgico). Los cultivos de cobertura que se implantaron fueron arveja (*Pisum sativum*), trigos de ciclo corto y ciclo largo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*), colza (*Brassica napus*), vicia (*Vicia villosa*), rai-grass (*Lolium perenne*), cebadilla (*Bromus catharticus*) y melilotus (*Melilotus Albus*) en los meses de mayo y junio en todas las campañas. Los cultivos de cobertura fueron secados con herbicidas en diferentes momentos, a principios del mes de Octubre (1<sup>o</sup> fecha) y finales del mes de Noviembre (2<sup>a</sup> fecha). Las experiencias se llevaron a cabo sin restricciones nutricionales; destacando que en la campaña 2009-2010 en el cultivo de trigo se evaluaron dos dosis de fertilizante nitrogenado ( $0\text{kgNha}^{-1}$  y  $40\text{kgNha}^{-1}$ ).

Al momento de la aplicación de los herbicidas se determinó la producción de materia seca de los cultivos cobertura, determinándose a través de un corte de la parte aérea en una superficie conocida. En ese momento también se determinó el contenido hídrico del suelo hasta 1.20m usando el método gravimétrico.

Luego de los cultivos de cobertura se implantaron los cultivos de soja (*Glycine max*) o Maíz (*Zea mayz*) dependiendo de la rotación programada en los cuales se evaluó el rendimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inclusión de los cultivos de cobertura en el sistema agrícola de Entre Ríos

En el diseño de secuencias es de importancia central considerar cultivos que le brinden a la misma estabilidad, productividad y rentabilidad. En el contexto actual, la inclusión del cultivo de soja resulta inevitable debido a su rentabilidad y estabilidad. Las nuevas propuestas para el diseño de los sistemas agrícolas deberían tomar en cuenta estas consideraciones, de manera de facilitar el proceso de adopción una vez demostrados los beneficios de su inclusión en los sistemas productivos (Caviglia, 2007).

Se ha sugerido que la actitud humana hacia el

riesgo parece ser común en los diferentes sistemas agrícolas y tendiente a estrategias conservativas que lo minimicen (Sadras y Roget, 2004). De acuerdo con esto, sería esperable que en una zona determinada la secuencia de cultivos predominante sea muy simplificada y con bajas probabilidades de riesgo.

En este contexto no es difícil comprender la amplia difusión de la soja en Entre Ríos y en la Argentina, debido a que su extraordinaria plasticidad para enfrentar situaciones adversas le confiere una muy alta estabilidad sumada al alto valor de sus granos, en comparación con los cereales (Caviglia, 2007). Estos, por el contrario, tienen en Entre Ríos una alta variabilidad interanual en sus rendimientos por la alta susceptibilidad al estrés del maíz y por la alta frecuencia de epifitias de fusariosis de la espiga en trigo.

La inclusión de CC invernales en Entre Ríos permitiría, además de aprovechar el agua que igualmente se perdería durante el periodo de barbecho, proteger al suelo a través de la cobertura viva durante el invierno y de sus residuos durante la implantación del cultivo estival y aportar C para mejorar el balance de MO en suelo.

Los CC podrían incluirse principalmente previo a los dos cultivos de renta estivales predominantes de la región, la soja y el maíz. Debido a que la soja se siembra, en general, unos 30-60 días más tarde que el maíz, la ventana de crecimiento para el CC es mucho más grande. Asimismo, la determinación del rendimiento de la soja en estadios reproductivos más tardíos que en el maíz sumada a su alta plasticidad vegetativa y reproductiva, la definen como un cultivo menos sensible a la disponibilidad inicial de agua que el maíz, el que podría verse afectado por el crecimiento de un CC en el periodo invernal.

Si se pretende mantener la fecha de siembra del maíz durante su periodo definido como óptimo, usualmente septiembre en la región, es muy breve la ventana de tiempo para lograr el crecimiento de un CC con un aporte considerable de C, y de N si es que se incluye una leguminosa. Una opción factible de implementar sería retrasar la fecha de siembra del maíz a diciembre de manera de ampliar la ventana de crecimiento del CC. Esta opción permitiría un mayor aporte de residuos y una mayor estabilidad en el rendimiento del maíz al ubicar su periodo en una fecha con mayores

probabilidades de precipitaciones.

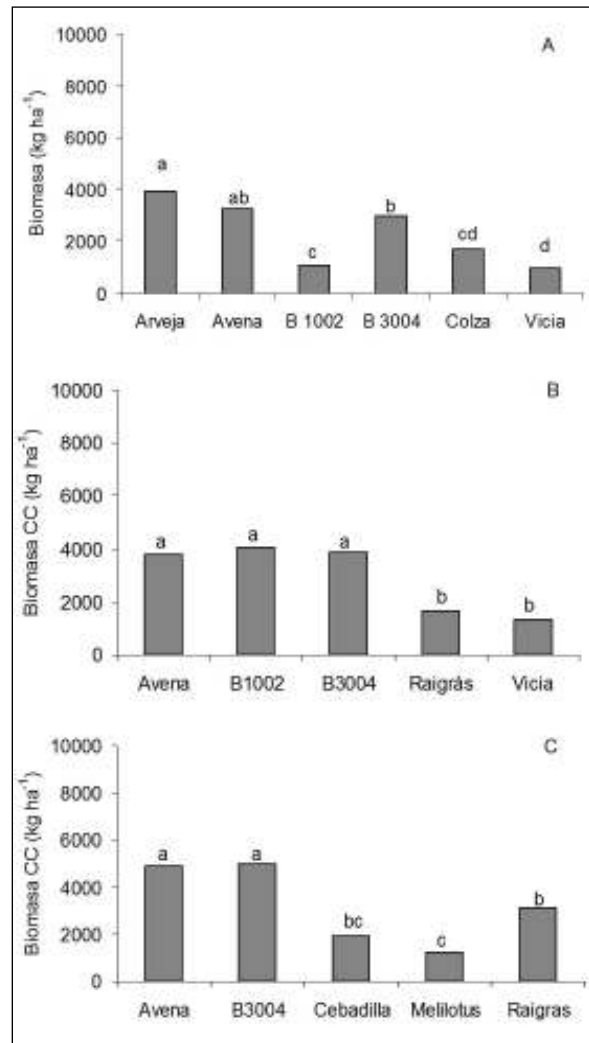
Diversas especies pueden considerarse para su utilización como CC, siendo las gramíneas, i.e. trigo, avena, raigrás, cebadilla, cebada, triticale, etc., las que mejor comportamiento tendrían desde la perspectiva de mantener una cobertura del suelo por su tasa de descomposición más lenta, en comparación con las leguminosas, i.e. vicia, arveja, melilotus, tréboles, etc. Sin embargo, si las gramíneas no son adecuadamente fertilizadas, el aporte total de C puede ser muy bajo.

### Cantidad de la materia seca aportada

Las experiencias realizadas en el centro-oeste de Entre Ríos indican que es posible lograr un aporte de materia seca (MS) aérea del CC de entre 900 y 8500 kg MS ha<sup>-1</sup>, dependiendo de la especie (Figura 1 A, B, C), de la fertilización nitrogenada utilizada, del suelo sobre el que se realizó la experiencia (Figura 2 A y B) y de la fecha en que se realizó la aplicación del herbicida (Figura 3 A y B).

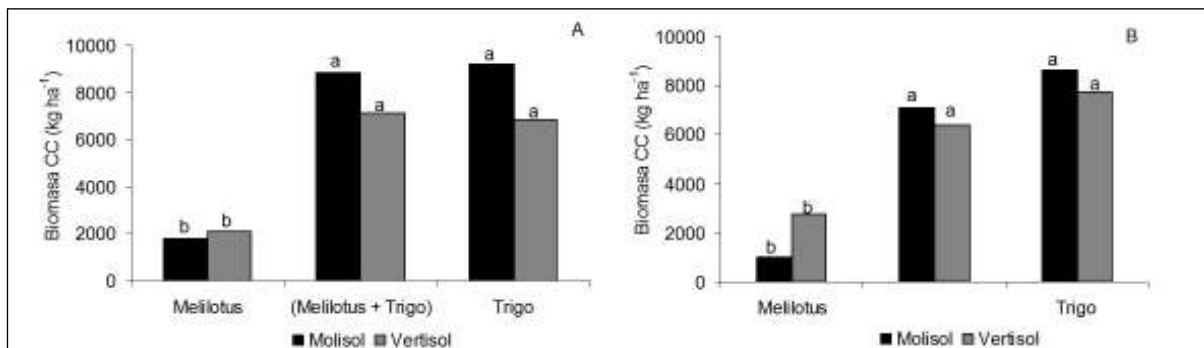
La arveja junto con la avena y el trigo fueron los CC antecesores a soja con los que se han obtenido las mayores producciones de MS, mientras que la vicia y el melilotus son las que produjeron los menores aportes (Figura 1 A, B, C; 2 A y B; 3 A y B). Debe considerarse, sin embargo, que la mayoría de las leguminosas utilizadas presentan una marcada latencia invernal. En efecto, cuando el momento de aplicación del herbicida se retrasó hasta diciembre se lograron aportes de materia seca aérea de vicia y melilotus muy importantes y similares a los obtenidos con trigo (Figura 3 A).

La aplicación de N mejoró la producción de MS de los CC en 21-58%, según la campaña considerada, pero tuvo una respuesta más importante en las gramíneas y la colza.



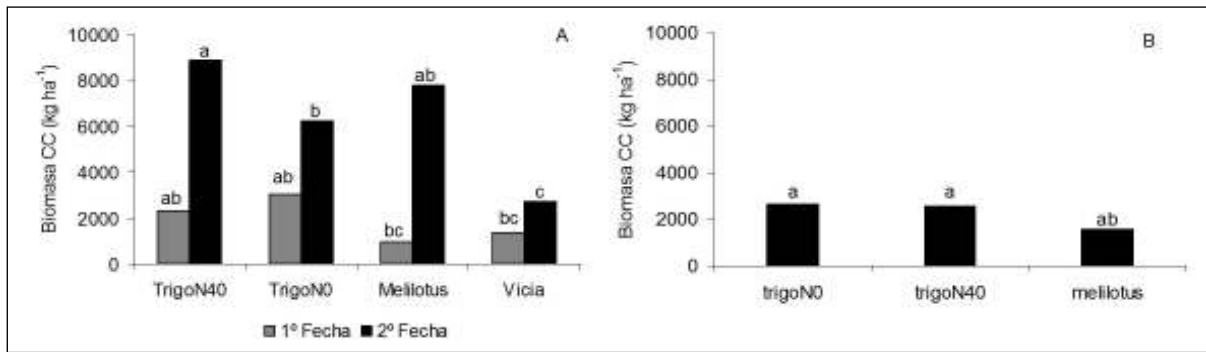
**Figura 1:** Biomasa acumulada al momento de la aplicación del herbicida en diferentes cultivos de cobertura. A: Campaña 2006-2007; B: Campaña 2007-2008; C: Campaña 2008-2009.

Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). B1002: trigo de ciclo corto, B3004: trigo de ciclo largo.



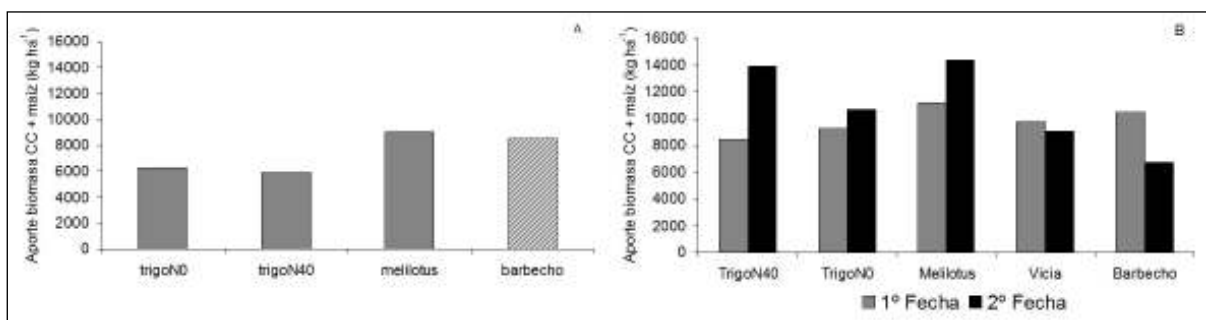
**Figura 2:** Biomasa acumulada de diferentes CC en 2 suelos. A: Campaña 2008-2009; B: Campaña 2009-2010.

Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre CC según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).



**Figura 3:** Biomasa acumulada al momento de la aplicación del herbicida en diferentes CC. Campaña 2009-2010. A: Ensayo CC antecesor maíz con dos fechas de aplicación de herbicida (1º: 08/10/2009; 2º 03/12/2009). B: Ensayo CC antecesor maíz (fecha de aplicación de herbicida 08/10/2009).

Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre CC según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). N40: fertilización con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, No: sin fertilizar.



**Figura 4:** Biomasa acumulada del CC sumada a la aportada por el maíz. Campaña 2009-2010. A: Ensayo CC antecesor maíz (fecha de aplicación de herbicida 08/10/2009). B: Ensayo CC antecesor maíz con dos fechas de aplicación de herbicida (1º: 08/10/2009; 2º 03/12/2009). N40: fertilización con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, No: sin fertilizar.

Considerando el aporte total de residuos en secuencias de CC y cultivos de renta, el aporte de esta alternativa de intensificación fue muy importante mejorando los aportes según el momento de aplicación del herbicida (Figura 4 A y B) y el tipo de suelo (Figura 5) en comparación con los sistemas menos intensificados que no incluyeron CC. En efecto, en un ensayo de dos años de duración el aporte total de residuos en comparación al barbecho fue mejorada en un 20% (Molisol) y 39% (Vertisol) en las secuencias que tuvieron un CC antes de la soja durante el primer año y el segundo año maíz, y en 132% (Molisol) y 114% (Vertisol) en las secuencias que tuvieron monocultivo de soja (Figura 5).

### Momento de aplicación del herbicida y consumo de agua del perfil

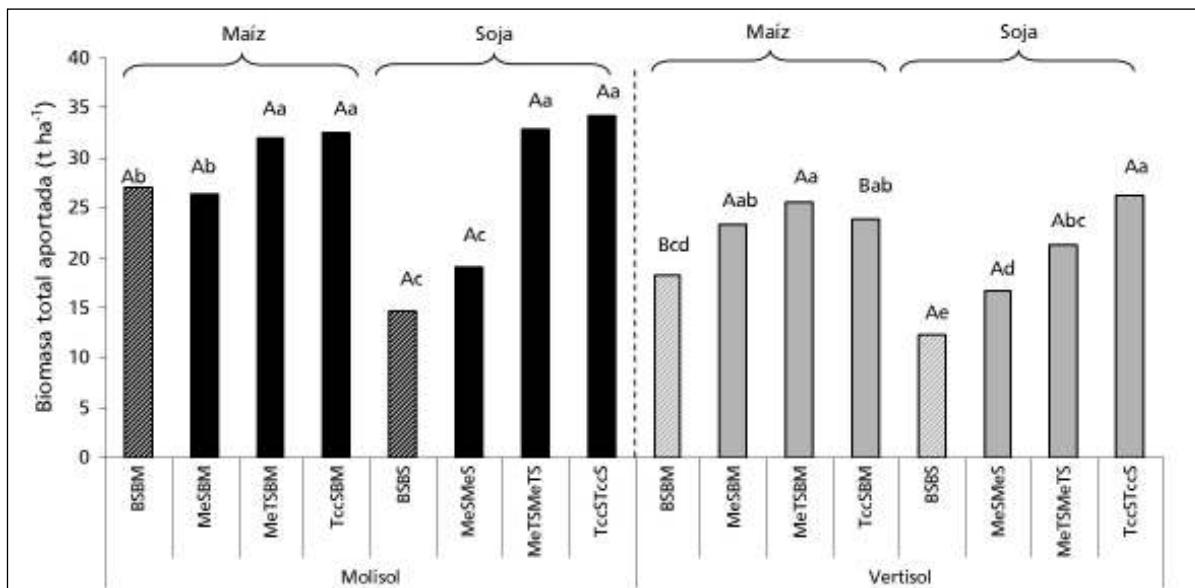
La adopción de los CC invernales es sólo factible si no se compromete el rendimiento del cultivo de renta siguiente, ya que los beneficios espe-

rados no se traducen en una compensación económica en el corto plazo, en el cual infortunadamente se suelen evaluar la mayor parte de las prácticas agronómicas.

La principal limitación para la adopción de los CC invernales es la suposición de que consumen una cantidad importante de agua, pudiendo afectar el rendimiento del cultivo de renta siguiente. El momento de aplicación del herbicida debe conjugar la necesidad de reponer el agua superficial del suelo al momento de la siembra del cultivo de renta estival con el mayor aporte posible de materia seca.

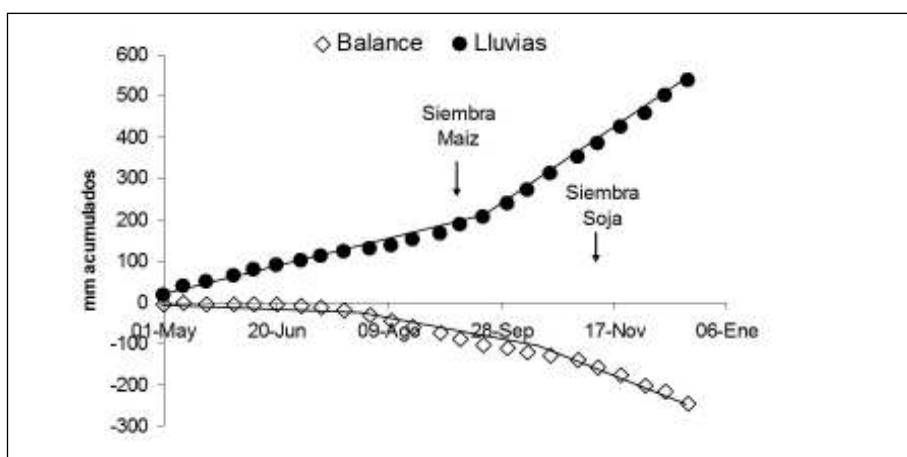
Para definir el momento óptimo de la aplicación del herbicida al CC se debería tener en cuenta el periodo en el que las precipitaciones aún no han comenzado a producirse de manera importante y el balance hídrico-climático no se ha tornado aún muy negativo. En el centro-oeste de Entre Ríos, luego de producida la recarga otoñal de los perfiles, las precipitaciones medias acumu-





**Figura 5:** Biomasa total acumulada en dos años de ensayo y en dos suelos.

Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). Mayúsculas: entre suelos, para igual secuencia de cultivos; Minúsculas: entre secuencias de cultivos dentro de un mismo suelo. BSBM: barbecho/soja-barbecho/maíz; MeSBM: melilotus/soja-barbecho/maíz; MeTSBM: (melilotus con trigo)/soja-barbecho/maíz; TccSBM: CC de trigo/soja-barbecho/maíz; BSBS: barbecho/soja-barbecho/soja; MeSMes: melilotus/soja-melilotus/soja; MeTSMETS: (melilotus con trigo)/soja-(melilotus con trigo)/soja; TccSTccS: CC de trigo/soja- CC de trigo/soja.



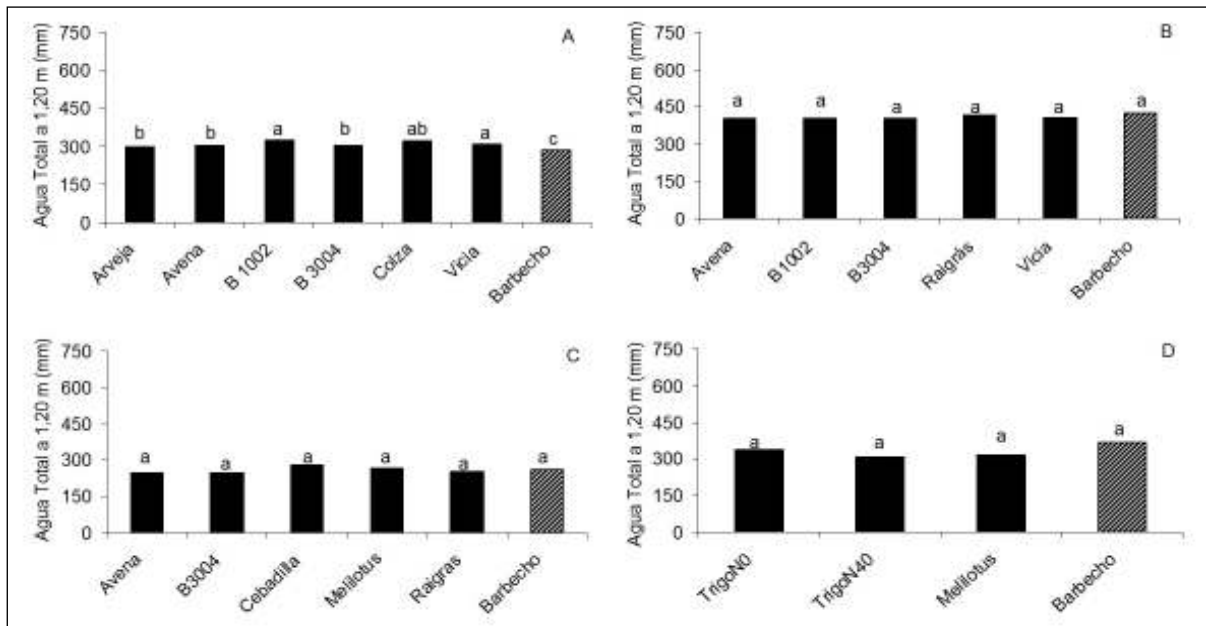
**Figura 6:** Precipitaciones y balance hídrico-climático acumulados desde el 1 de mayo en función de la fecha en Paraná. El balance hídrico-climático se calculó restando la evapotranspiración potencial ( $ET_0$ , Penman-FAO) a las precipitaciones decadales. Los datos fueron obtenidos del Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná del INTA en el período 1934-2006 para las precipitaciones y 1966-2006 para la  $ET_0$ .

ladas desde el 1 de Mayo en adelante llegan a alrededor de 200 mm a inicios de la primavera y comienzan a acumularse a mayor tasa luego de los últimos días de septiembre (Figura 6).

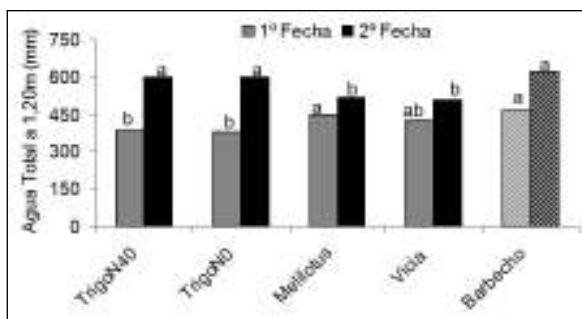
Por otra parte, el balance hídrico-climático (diferencia entre evapotranspiración potencial y precipitaciones) se torna más negativo también desde fines de septiembre en adelante (Figura 6).

El análisis climático conjunto indicaría entonces que la fecha óptima propuesta para la aplicación del herbicida al CC sería a inicios de la primavera (últimos 10 días de septiembre), cuando las precipitaciones aun no se acumulan de manera importante y el balance hídrico es apenas negativo.

Los resultados obtenidos en las últimas cuatro campañas demuestran que cuando se aplicó el



**Figura 7:** Contenido de agua total en el suelo hasta 1,2 m de profundidad al momento de la aplicación del herbicida en diferentes CC. A: Campaña 2006-2007; B: Campaña 2007-2008; C: Campaña 2008-2009; D: Campaña 2009-2010. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). N40: fertilización con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, No: sin fertilizar.



**Figura 8:** Contenido de agua total en el suelo hasta 1,2 m de profundidad al momento de la aplicación del herbicida en diferentes CC y en dos fechas de aplicación del herbicida (1ª: 08/10/2009; 2ª: 03/12/2009). Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre CC según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). N40: fertilización con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, No: sin fertilizar.

herbicida en la fecha propuesta (últimos días de septiembre) los contenidos de agua en el suelo difirieron poco entre los CC y el barbecho (Figura 7 A, B, C y D), aunque se detectaron diferencias entre las especies consideradas.

Cuando el momento de aplicación del herbicida se retrasó, las diferencias con el barbecho se hicieron más evidentes (Figura 8).

Aunque se evidenció una relación negativa entre la producción de biomasa de los CC y el agua

total en el suelo al momento de la aplicación del herbicida (Figura 9 A, B, C, D y E), debe notarse que fue posible obtener 900-8500 kg MS ha<sup>-1</sup> con una reducción del agua del perfil de sólo 25-45 mm en el agua del suelo en los años en los que el herbicida fue aplicado en la fecha propuesta (2006 al 2008). Cuando la aplicación del herbicida se retrasó hasta pasado mediados de octubre (Figura 9 D y E) las diferencias en el consumo de agua entre el barbecho y los CC alcanzaron 60-86 mm.

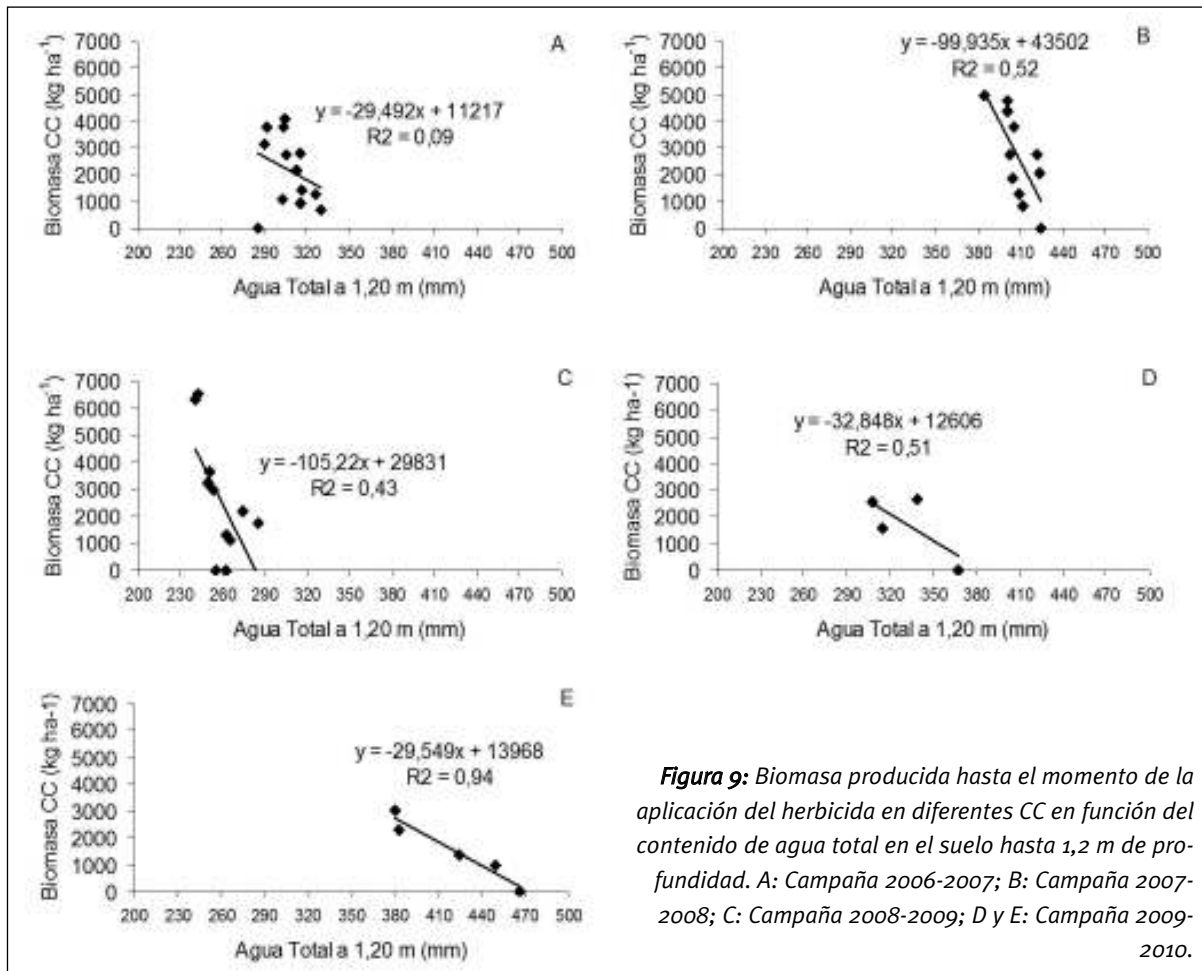
### Rendimientos de los cultivos de renta

En general, el rendimiento de la soja no fue afectado por los CC previos en comparación con la situación que se mantuvo en barbecho durante el invierno (Figuras 10 A, B y C).

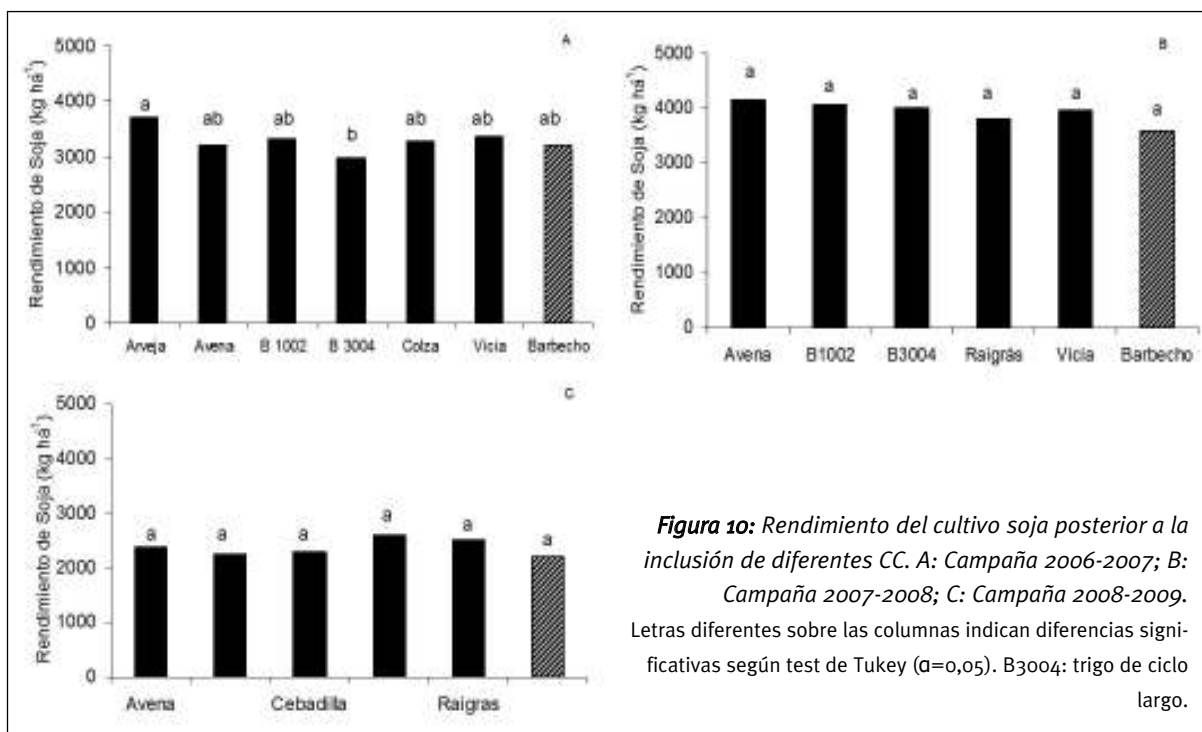
El rendimiento de la soja varió entre campañas y tipos de suelo (Figura 11 A y B), aunque con escasa influencia de los CC previos.

En contraste, el rendimiento del cultivo de maíz fue muy afectado por el CC previo y por la fecha de aplicación del herbicida (Figuras 12 A y B). En efecto, el rendimiento de maíz sembrado en fecha óptima fue un 41% menor cuando el CC fue trigo y un 19% cuando fue vicia, sin diferencias cuando el CC fue melilotus.

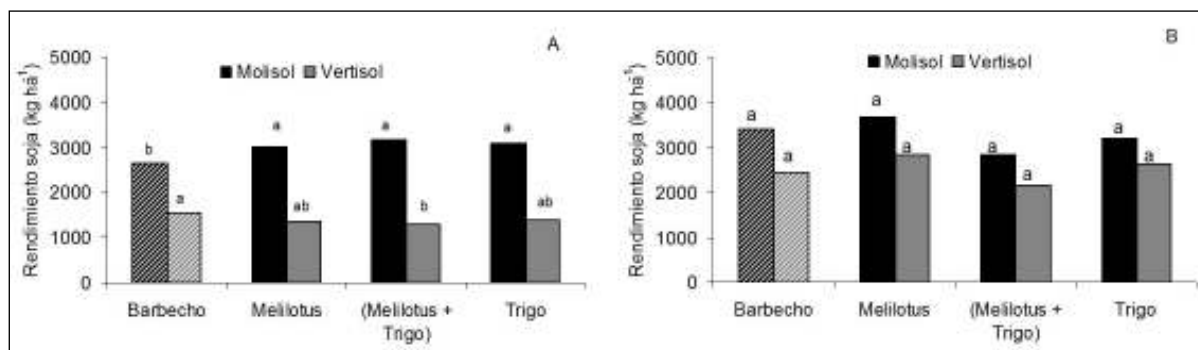
Cuando el herbicida fue aplicado más tarde y el



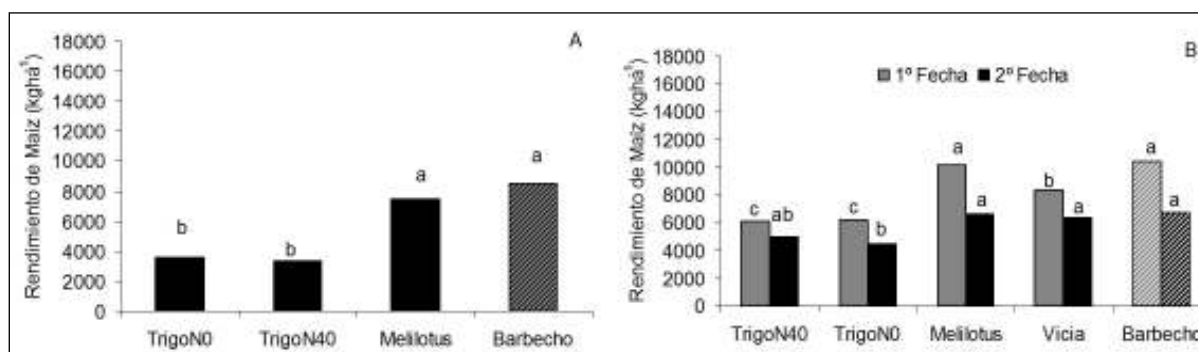
**Figura 9:** Biomasa producida hasta el momento de la aplicación del herbicida en diferentes CC en función del contenido de agua total en el suelo hasta 1,2 m de profundidad. A: Campaña 2006-2007; B: Campaña 2007-2008; C: Campaña 2008-2009; D y E: Campaña 2009-2010.



**Figura 10:** Rendimiento del cultivo soja posterior a la inclusión de diferentes CC. A: Campaña 2006-2007; B: Campaña 2007-2008; C: Campaña 2008-2009. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). B3004: trigo de ciclo largo.



**Figura 11:** Rendimiento del cultivo soja posterior a la inclusión de diferentes CC en 2 suelos. A: Campaña 2008-2009; B: Campaña 2009-2010. Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre CC según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).



**Figura 12:** Rendimiento del cultivo maíz posterior a la inclusión de diferentes CC. A: Ensayo CC antecesor maíz (fecha de aplicación de herbicida 08/10/2009). B: Ensayo CC antecesor maíz con dos fechas de aplicación de herbicida (1º: 08/10/2009; 2º: 03/12/2009).

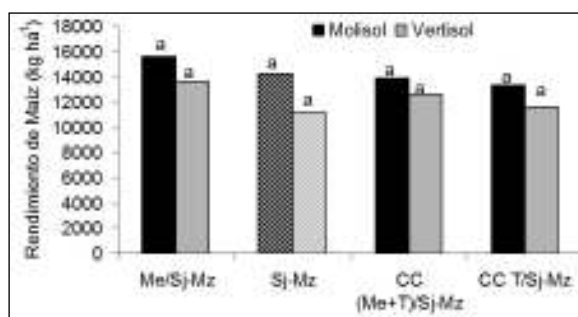
Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). N40: fertilización con 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, No: sin fertilizar.

maíz sembrado en diciembre (Figura 12 B) el rendimiento fue menor en 29% sobre trigo y similar entre los cultivos con barbecho, vicia y melilotus.

La inclusión de un CC invernala previo a soja no produjo disminuciones en el rendimiento del cultivo de maíz realizado al siguiente año, comparado con la situación que presentó mayor tiempo en barbecho y sólo tuvo un cultivo de soja en el ciclo anterior (Figura 13). Si bien no se observaron diferencias significativas entre tipos de suelos los menores rendimientos para cada secuencia de cultivos considerada se obtuvieron en el suelo Vertisol.

### Impacto sobre propiedades del suelo

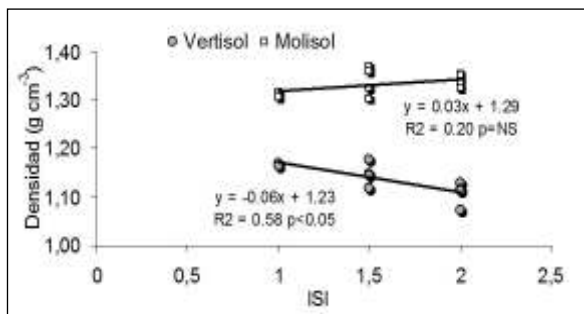
Al evaluar el efecto de la inclusión de CC sobre un suelo Molisol y un Vertisol en un ensayo de dos años de duración pudo observarse que si bien el Vertisol presentó una menor densidad aparente que el Molisol no se observaron diferencias dentro de cada tipo de suelo por la inclusión de diferentes secuencias de cultivos que contenían CC. Sin



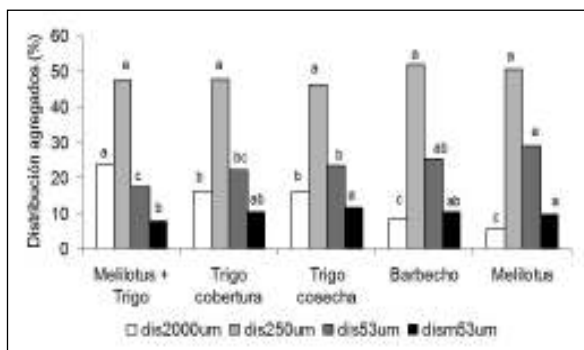
**Figura 13:** Rendimiento del cultivo maíz posterior a la inclusión de dos ciclos de diferentes CC en dos suelos. Campaña 2009-2010.

Letras diferentes sobre las columnas indican diferencias significativas entre CC según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Me/Sj-Mz: Melilotus/soja-maíz; Sj-Mz: barbecho/soja-barbecho/maíz; CC (Me+T)/Sj-Mz: CC Melilotus con trigo/soja-maíz. CCT/Sj-Mz: CC trigo/soja-maíz.

embargo cuando se consideró el tiempo de ocupación a través del índice de intensificación (ISI), meses con cubierta viva sobre los meses totales de



**Figura 14:** Densidad aparente de suelos en función del Índice de Intensificación de cultivos (ISI) en dos suelos.



**Figura 15:** Distribución de agregados en 0-5 cm de profundidad de un suelo Molisol con diferentes secuencias de cultivos.

Letras diferentes sobre columnas de igual color indican diferencias significativas según test de Tukey ( $\alpha=0,05$ ). Dis 2000  $\mu\text{m}$ : macroagregados; dis 250  $\mu\text{m}$ : pequeños macroagregados; dis 53  $\mu\text{m}$ : microagregados; dism53  $\mu\text{m}$ : fracción asociada a minerales.

la secuencia), en el suelo Vertisol se observó una menor densidad aparente de suelo en las secuencias que presentaron mayor ocupación (mayor nivel de intensificación, ISI), obtenidas por la inclusión de un cultivo para grano o un CC (Figura 14).

Por otro lado, en un suelo Molisol (0-5 cm de profundidad) se redujo la cantidad de macroagregados (>2000  $\mu\text{m}$ ) en las situaciones con menor aporte de residuos durante el invierno (melilotus y barbecho) (Figura 15), mientras que la proporción de microagregados y de la fracción asociada a los minerales tendió a incrementarse. Este resultado indica un efecto positivo de la inclusión de CC con aportes importantes de residuos durante el invierno sobre la estructuración del suelo, factor que está íntimamente relacionado con el almacenaje de C (Novelli et al., 2010).

La ausencia de efectos marcados en estas variables por la inclusión de los CC en el suelo Vertisol estaría explicado por el importante rol que juegan

las arcillas de tipo esmectitas sobre la estructura del suelo, en comparación con los suelos de orden Molisol, más dependientes del aporte de residuos.

## CONCLUSIONES

Los CC invernales en el centro-oeste de Entre Ríos produjeron entre 900 y 8500  $\text{kg ha}^{-1}$  de MO, dependiendo de la especie, año, tipo de suelo y manejo de la fertilización.

Cuando se mantuvo la fecha de aplicación del herbicida dentro de los últimos 10 días de septiembre, la reducción de agua total en el perfil por los CC no superó los 45mm.

Los rendimientos de la soja posteriores a los CC no tuvieron diferencias con los testigos que permanecieron en barbecho.

Los rendimientos del cultivo de maíz se redujeron cuando el CC previo fue el trigo y vicia en fecha de siembra de septiembre.

En todos los casos en que se intensificó el sistema, los aportes de residuos considerando el CC y el cultivo de renta siguiente fueron mayores que en las alternativas que permanecieron en barbecho durante el invierno.

Se encontraron algunos tenues efectos de los CC sobre el suelo en el corto plazo, el que varió según el tipo de suelo considerado.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico y de apoyo del grupo de trabajo, que con su calificada tarea hizo posible este trabajo. Este trabajo fue financiado por PICTO N° 30676, BID 1728/OC-ANPCYT-UNER (PID UNER N° 2121), el Proyecto Regional Producción Agrícola Sustentable (E.RIOS02-630021) y el Proyecto Específico Intensificación sustentable de la agricultura en la región pampeana (PNCER022462).

## BIBLIOGRAFÍA

- Barbagelata P y R Melchiori. 2007. Balance de nutrientes en campos agrícolas de la provincia de Entre Ríos. En Caviglia OP., Paparotti OF., Sasal MC. (Eds.). Agricultura Sustentable en Entre Ríos. Ediciones INTA. Buenos Aires. p. 89-94.
- Beare M, PF Hendrix y DC Coleman. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional-

and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:777-786.

- Caviglia OP. 2007. Intensificación de la secuencia de cultivos en Entre Ríos: balance de carbono y aprovechamiento de recursos. En Caviglia OP, Paparotti O.F., Sasal MC. 2007. (Eds.). *Agricultura Sustentable en Entre Ríos*. Ediciones INTA. Buenos Aires. p. 149-158. ISBN 978-987-521-253-4
  - Novelli L, Caviglia O, Wilson M, Sasal C y E Gabboud. 2010. Efecto de la inclusión frecuente de soja sobre el almacenaje de C y la estabilidad estructural en un suelo Molisol y un Vertisol de Entre Ríos (En esta publicación).
  - Sadras VO y D Roget. 2004. Production and environmental aspects of cropping intensification in a semiarid environment of southeastern Australia. *Agronomy Journal* 96:236-246.
  - SAGPyA 2010. Base de datos por cultivo. <http://www.sagpya.gov.ar/> [Con acceso 15/08/10]
-

Tomás Baigorria, Dionisio Gómez, Cristian Cazorla, Andrea Lardone, Marcos Bojanich, Bethania Aimetta, Ariel Bertolla, Marcos Cagliero, Dario Vilches, Diego Rinaudo y Alejandra Canale

## Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz

### INTRODUCCIÓN

Son numerosos los usos que se puede dar al cultivo de vicia, tales como pastoreo directo, heno, ensilaje, cobertura de suelos, abonos verdes o suplemento proteico. Dentro del género *Vicia* L., las especies *Vicia villosa* (VV) y *Vicia sativa* (VS), son las que predominan en la utilización como cultivos de cobertura (CC) (Renzi, 2009). Tanto VV como VS, se cultivan en diversas regiones templadas del mundo, comportándose bajo esas condiciones como invierno-primaverales (Wheeler y Hill, 1957). Sin embargo en zonas más frías se las puede emplear como cultivos estivales, en siembras primaverales (USDA, 1962; Kandel et al., 2000).

Las funciones más importantes que ambas especies cumplen como coberturas en sistemas de siembra directa, son las siguientes: a) fijación de nitrógeno (N) atmosférico (el cual puede ser utilizado por el cultivo subsiguiente en la rotación), b) control de malezas invernales-estivales, las primeras por competencia y las segundas por el residuo dejado en superficie, c) reducción de la erosión del suelo, ya que protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia, generando un menor escurrimiento superficial, en tanto que las raíces generan canales que mejoran la infiltración, d) mejorar la eficiencia del uso del agua, a través de la reducción de las pérdidas del sistema, comparándolo con el barbecho convencional (Clark et al., 2007; Carfagno, 2008).

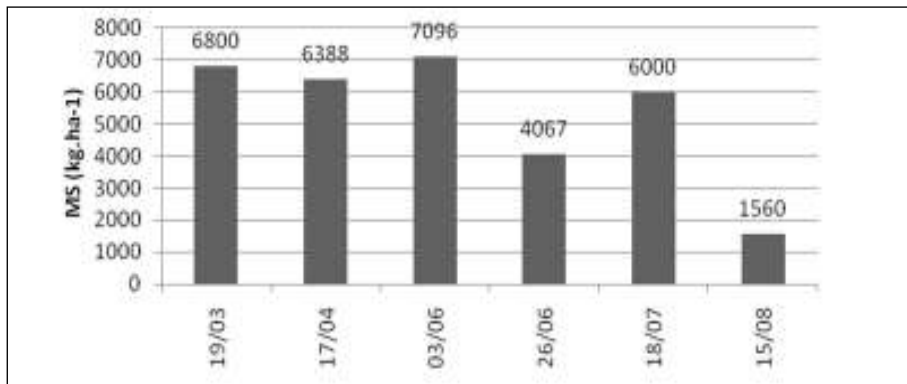
A pesar de los múltiples beneficios que los cultivos de cobertura (CC) aportan al sistema de producción, pueden tener efectos adversos con un manejo inadecuado. La inclusión de estos cultivos

agrega una variable más a considerar y manejar, e implica costos adicionales (semilla, siembra y fertilización). Una de las mayores barreras para la adopción de los CC, leguminosas en este caso, es desconocer de aspectos técnicos tales como, la especie a utilizar, la fecha de siembra, densidad de siembra, distanciamiento entre hileras, momento de secado (mecánico o químico), el consumo de agua por parte de los cultivos, etc. Algunos de estos puntos serán abordados en el siguiente artículo, tratando de mejorar el escaso conocimiento, que existe en nuestra región sobre estas especies.

### Fecha de siembra

La fecha de siembra de vicia es uno de los factores que determina su potencial productivo, mencionándose en diversas publicaciones desde fines de verano hasta mediados de invierno, con producciones de materia seca (MS) que varían entre 500 y 7200 kg ha<sup>-1</sup> (Vanzolini et al., 2009). La Figura 1 muestra, producciones de MS de VV en función de seis fechas de siembra, en ensayos realizados en EEA INTA Hilario Ascasubi. Se puede observar que en fechas otoñales, VV crece bajo condiciones de mayores temperaturas y fotoperíodo, siendo mayor la producción de MS, debido a una mayor tasa de crecimiento. Los meses de invierno presentan valores muy bajos respecto a las tres primeras, salvo el mes de Julio, que al encontrarse en estado vegetativo tuvo una mayor tasa de crecimiento con respecto al mes de junio que se hallaba en floración (Vanzolini et al., 2009).

Cabe mencionar, que la fecha de evaluación de MS en ese trabajo se realizó en noviembre, la cual



**Figura 1:** Efectos de la fecha de siembra en la producción de MS de VV. Fuente: Vanzolini et al., 2009.

es muy tarde para interrumpir el ciclo de VV como antecesor de maíz. Evaluaciones realizadas en octubre, exponen diferencias aún más notorias, entre las fechas otoñales vs invernales (datos no mostrados). Por lo tanto se sugiere, que la fecha de siembra de vicia se realice en los meses de otoño.

### Densidad de siembra

La densidad de siembra tiene gran incidencia en los costos de implantación y en la producción de MS. Algunos trabajos señalan, como densidades de siembra de 20-30 plantas.m<sup>-2</sup> como bajas, 40-50 medias y 120-160 altas (Renzi y Cantamutto, 2007; Clark et al., 1995). Ensayos realizados con VV en Marcos Juárez en el año 2009 (fecha de siembra 03 de abril sobre un rastrojo de soja) y en el año 2010 (fecha de siembra 05 de mayo sobre un rastrojo de maíz) muestran aumentos en la producción de MS del 35% (media de 2 años) al pasar de 10 a 40 plantas.m<sup>-2</sup>, mientras que de 40 a 160 pl m<sup>-2</sup> el incremento es solo del 19% (Figura 2 A y B).

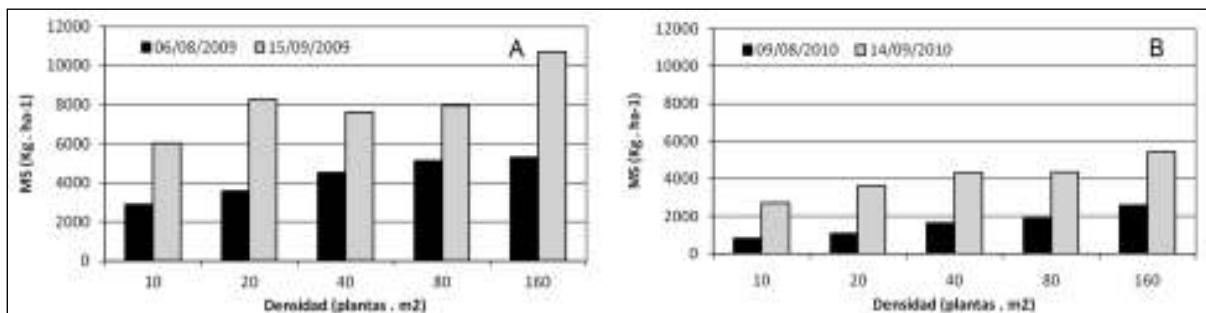
Se observa en la Figura 2 el incremento en la producción de MS en la segunda fecha, que duplica la producción de MS en la mayoría de los casos, marcando un crecimiento lento durante el

invierno. Si tenemos en cuenta que la concentración de nitrógeno (N) en biomasa aérea en Vicia villosa, es aproximadamente del 3.5-4% (Clark et al., 1994), vemos que con 40 plantas.m<sup>-2</sup> la producción de MS ronda los 4200 kg ha<sup>-1</sup>, lo que permitiría fijar una cantidad estimativa de 147 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Se concluye, para las condiciones de estudio, que 30-40 pl m<sup>-2</sup>, sería una densidad adecuada, logrando niveles importantes de cobertura a mediados de septiembre (fecha probable de secado), resultando en un significativo aporte de N, el cual puede ser utilizado por el cultivo posterior en la rotación.

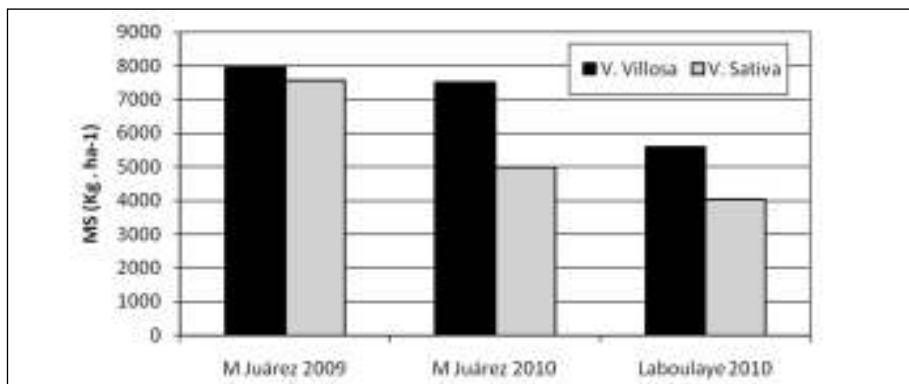
### Diferencias en producción de materia seca de *V. villosa* y *V. sativa*

En ensayos realizados en Marcos Juárez y Laboulaye (Figura 3) con VV y VS se observó que VV siempre produjo más que VS, lo que también fue observado por (Renzi et al., 2008), quien atribuye esta característica a que VV presenta una mayor tolerancia frío, resistencia a la sequía y una mayor adaptación a un amplio rango de condiciones edáficas. Además, el porte rastrero de VV hace que cubra el suelo con mayor rapidez que VS (porte erecto). La severidad de las heladas ocurri-

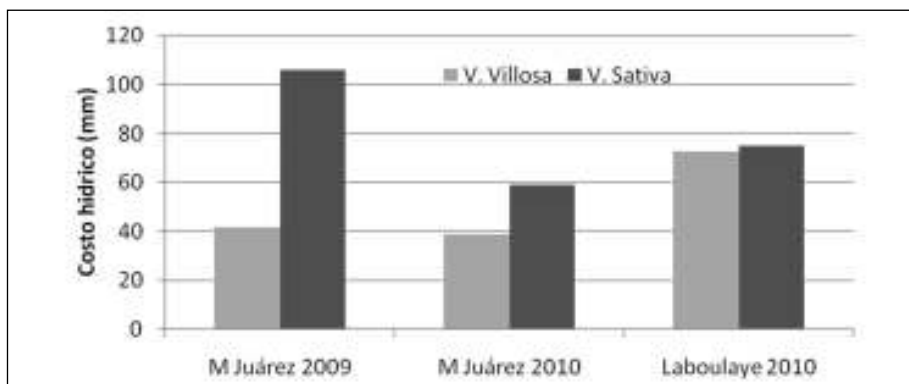


**Figura 2:** Producción de MS en VV con diferentes densidades de siembra para el año 2009 (A) y 2010 (B).





**Figura 3:** Producción de MS en VV y VS para ensayos realizados en Marcos Juárez y Laboulaye.



**Figura 4:** Costo hídrico (mm) en ensayos en las localidades de Marcos Juárez y Laboulaye durante los años 2009 y 2010.

das en 2010, parece ser la causa de la importante disminución en la producción de Vicia sativa, respecto del 2009 en la localidad de Marcos Juárez.

Es importante destacar que dos funciones muy importantes de las leguminosas utilizadas como CC son el aporte de N y el control de malezas, factores que están ligados a la producción de MS. Por lo tanto VV presenta un mejor comportamiento, bajo diferentes condiciones climáticas y de suelo y sería la especie más indicada a ser utilizada como CC.

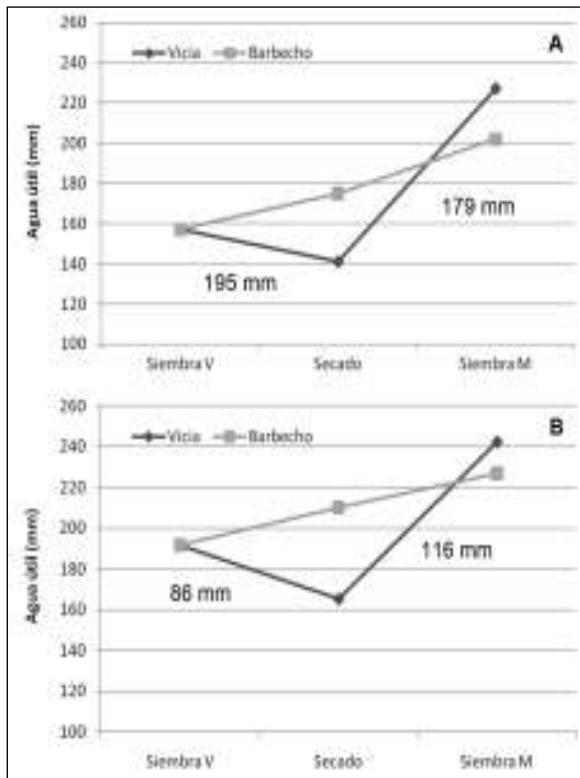
#### Costos hídricos del cultivo de vicia

Intercalar cultivos invernales, como CC, podría ser una alternativa a evaluar para proveer de residuos ricos en carbono y promover al desarrollo y al mantenimiento de la cobertura de los suelos. Pero, se reconoce que el consumo hídrico de estos durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002). El costo hídrico (CH) es la diferencia entre los contenidos hídricos de vicia en relación al barbecho convencional.

Ensayos realizados en Marcos Juárez y Laboulaye muestran diferencias muy notables entre especies (Figura 4). Los CH son mayores

para VS (entre 60 y 100 mm) que para VV (entre 40 y 70 mm). En la localidad de Laboulaye los CH son muy similares pero VV presentó una mayor producción de MS. En la localidad de Marcos Juárez las producciones de MS de VV son mayores que VS (Figura 3), sin embargo los CH son menores. Considerando estos resultados, podemos concluir por un lado que VV es más eficiente en la producción de MS y que VS debido a su hábito de crecimiento puede presentar pérdidas de agua por evaporación hasta que se cubra el surco.

La dinámica del agua en situaciones de VV y barbecho (Figura 5 A y B) muestra que durante el periodo de crecimiento de VV disminuyó el contenido hídrico hasta el momento de secado. Es importante remarcar que durante el periodo de barbecho se registraron precipitaciones de 195 mm y 86 mm para los años 2009 y 2010 respectivamente. Estas precipitaciones superan la capacidad de almacenamiento de los suelos y la situación barbecho está expuesta a pérdidas de agua por drenaje y por evaporación. Estos resultados coinciden con los de otros autores que remarcan la ineficiencia del barbecho para almacenar el agua de las precipitaciones (Lampurlanes et al., 2002; Fernández et al., 2007).



**Figura 5:** Contenidos de agua útil (150 cm) en diferentes momentos para las localidades de Marcos Juárez en el año 2009 (A) y 2010 (B).

En recuadro las precipitaciones durante los periodos. Siembra V=siembra de vicia; Siembra M= siembra maíz.

Luego las lluvias durante el período secado-siembra de maíz permitieron recargar el perfil y la siembra de maíz se realiza con mayores contenidos hídricos en VV que en barbecho. Resultados similares fueron encontrados por (Ernst et al., 2004), quien utilizó trébol (*Trifolium alexandrinum*) como antecesor de maíz.

Esta condición de contenidos hídricos superiores en VV con respecto a barbecho se deben a las

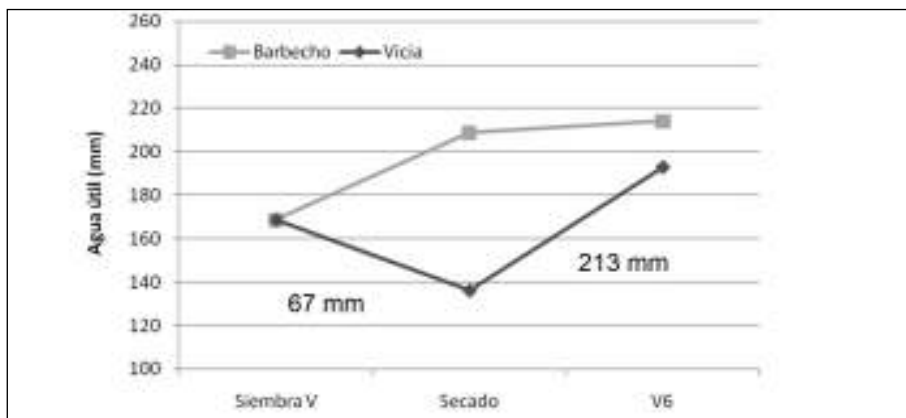
recargas realizadas por las precipitaciones y a el efecto de la cobertura superficial que disminuyen las perdidas por evaporación en el periodo previo a la siembra.

En la localidad de Laboulaye la situación de barbecho se encuentra con contenidos hídricos por encima de la máxima capacidad de retención, debido a que es un suelo con influencia de napas (Figura 6). Las precipitaciones ocurridas desde el secado hasta V6 en maíz superan ampliamente la capacidad de almacenar agua del suelo en la situación barbecho, por lo tanto caben las mismas consideraciones expuestas anteriormente para la localidad de Marcos Juárez. Si bien los contenidos de agua en vicia en V6 son inferiores, en la profundidad 0-40 cm (datos no mostrados) presenta mayor disponibilidad de agua que la situación barbecho. En la ausencia de cobertura superficial el suelo está más expuesto a pérdidas de agua por evaporación.

#### Porcentaje de intercepción de la radiación en *Vicia villosa* y *Vicia sativa*

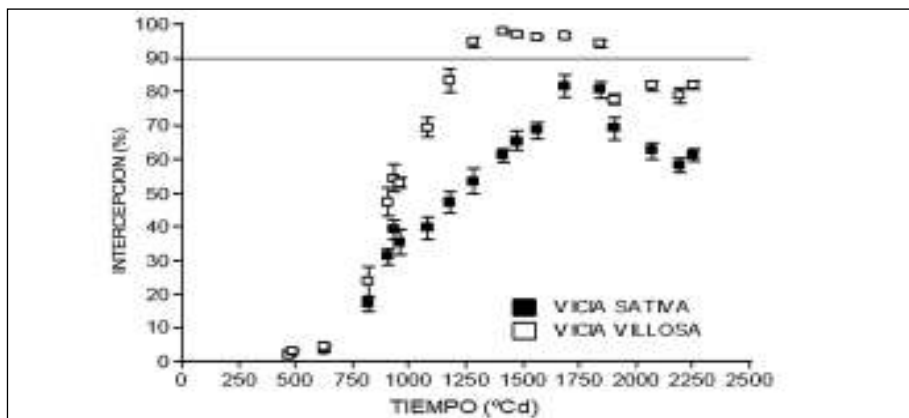
La cantidad de radiación solar interceptada acumulada por un cultivo depende de la duración del ciclo y de la dinámica de intercepción de dicho cultivo, ésta última está fuertemente ligada a la evolución del índice de área foliar (IAF) (Maddonni y Otegui, 1996). El IAF se genera con la aparición y expansión de las hojas y es producto del número de hojas y del tamaño de las mismas (Carcova et al., 2004). El valor mínimo de IAF con el cual se alcanza el 90% de la intercepción se denomina IAF crítico (Gardner et al., 1985).

En un experimento realizado en Marcos Juárez, se midió durante todo el ciclo ontogénico del cultivo de VV y VS los componentes fisiológicos de la biomasa aérea (Radiación interceptada acumula-



**Figura 6:** Contenidos de agua útil (150 cm) en diferentes momentos para la localidad de Laboulaye en el año 2010.

En recuadro las precipitaciones durante los periodos. Siembra V=siembra de vicia; V6= maíz con seis hojas.



**Figura 7:** Intercepción de la radiación en función de las unidades térmicas (°Cd) para VV y VS. La línea marca el 90 % de intercepción de la radiación.

da por el cultivo ( $R_{\text{Iacum}} - \text{MJ}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) y la eficiencia del uso de la radiación ( $\text{EUR} - \text{g MJ}^{-1} \text{m}^{-2}$ ). El porcentaje de radiación interceptada en función del tiempo en unidades térmicas (°Cd) para VV y VS se puede observar en la Figura 7. Bajo las condiciones en que se desarrollo esta experiencia, VV logro alcanzar el 90% de intercepción de la radiación, alrededor de los 1200 °Cd aproximadamente, mientras que en otro trabajo similar, para registrar un porcentaje de cobertura similar VV necesitó menos unidades térmicas (950°Cd) (Teasdale et al., 2004). La especie VS nunca alcanzo este valor de intercepción, por lo que su eficiencia de conversión de radiación en MS es menor. Estas diferencias se deben a sistemas de crecimiento, VV tiene un porte rastrero, en tanto que VS es erecto.

Uno característica importante para elegir un CC es su precocidad para cubrir el suelo, ya que le otorga una mayor competencia con las malezas y disminuye las pérdidas de agua por evaporación, aumentando la eficiencia del uso del agua. En este sentido, VV demuestra tener estas características, comportándose como un cultivo de crecimiento más rápido que VS.

### Control químico de malezas en postemergencia de vicia

El éxito en la implantación y producción temprana de MS suele estar condicionado por la presencia de malezas durante las primeras etapas del cultivo (Renzi, 2007). El control químico de malezas una vez producida la emergencia del cultivo puede ser una alternativa interesante de manejo, sin embargo, estudios previos muestran la gran sensibilidad de las vicias a los herbicidas (Renzi, 2007). En un ensayo relazado en INTA H. Ascasubi, con el objetivo de estudiar la selectivi-

dad de herbicidas aplicados en postemergencia temprana de VV con 4-5 hojas (6-8cm) sembrada con *A. sativa*, se encontraron los siguientes resultados: Diflufenican (50% SC) en dosis de 25 g (i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ) y bentazón (60% SL) 300 g (i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ) presentaron síntomas de fitotoxicidad leve en VV, igualando en producción de MS a un testigo. Metsulfurón-metil (60% SF) 4 g (i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ), no fue selectivo para VV y daños marcados fueron realizados con MCPA sal sódica (28% SL) 70 g (e.a.  $\text{ha}^{-1}$ ). Utilizando bromoxynil (34,6% EC) 175 g (i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ) y oxifluorfen (24% EC) 120 g (i.a.  $\text{ha}^{-1}$ ) disminuyeron la producción de MS de VV. Si bien, en esta experiencia realizada por este autor se probaron otros productos, se destaca a diflufenican y bentazón como herramientas válida a considerar para el control de malezas en el cultivo de VV.

### Alternativas de interrupción del ciclo de *Vicia villosa*

#### • Control Químico

Una de las formas, más utilizadas en los sistemas de agricultura bajo siembra directa, es mediante el uso de herbicidas no selectivos. Esta, tiene la característica de ofrecer mayor agilidad, ya que permite optimizar la logística y el tiempo, debido que a se pueden realizar una gran cantidad de hectáreas en pocas horas y se puede aplicar en diferentes estados fenológicos de vicia. Es muy poca la información existente, sobre los productos y las dosis a aplicar en vicias en estadios fenológicamente avanzados, teniendo en cuenta que es una especie citada como tolerante a dosis normales de glifosato (Rodríguez, 2005).

En un trabajo realizado en la EEA INTA Marcos Juárez (Belluccini, 2011, en esta publicación) se

realizó un ensayo con el objetivo de evaluar el control que efectúan diferentes dosis y productos aplicados sobre VV en estado avanzado de crecimiento. El cultivo de VV al momento de la aplicación presentaba un nivel de producción de MS cercano a los 5000 Kg ha<sup>-1</sup>. La evaluación se realizó en forma visual desde los 7 hasta los 28 días desde la aplicación. En cuanto a los resultados de este trabajo, el autor menciona que glifosato (66.2%) cuando se lo combina con 0.1 l ha<sup>-1</sup> de dicamba, mostró en todas las evaluaciones, el % de control más elevado. Por lo tanto, si bien se requieren ajustes de dosis, la utilización de glifosato (66.2%) + dicamba, sería una alternativa a considerar para el control de VV usada como CC.

• **Control mecánico**

Este es un método en cual se utiliza una herramienta de rodado, llamada rolo faca, el cual consiste de un tambor hueco al cual se encuentran abulonadas una serie de cuchillas de acero sin filo. Este implemento aplasta el tejido vascular de los CC sin realizar cortes en los tallos. En el continente europeo y Estados Unidos, se registran numerosos trabajos sobre la utilización del rolo para el control de VV en sistemas agrícolas orgánicos en donde no se puede utilizar productos de síntesis química (Teasdale y Rosencrance, 2003). En Argentina son muy escasas las experiencias realizadas, ya que se desconocen las ventajas que ofrece este método frente al control químico.

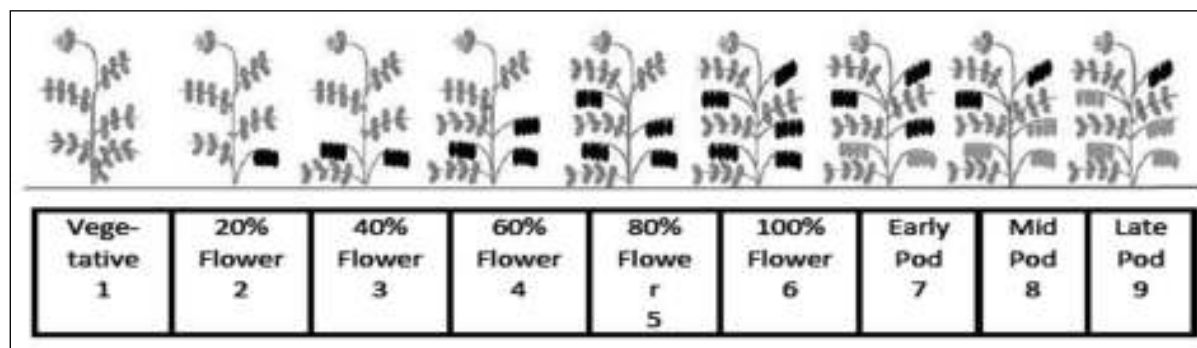
El rolo solo se puede utilizar en una etapa de crecimiento determinado del cultivo, debido a que puede haber rebrotes y el control es inadecuado. Para VV se determino que el momento fenológico en el que se logran controles superiores al 80%, es a partir del 60% de floración (Mischler et al., 2010).

La fenología del cultivo de VV propuesta por Mischler et al., (2010) se fundamenta en el seguimiento del estado de desarrollo de los primeros cinco nudos ubicados en cada rama.

En la EEA INTA Marcos Juárez, se realizó una prueba, utilizando un rolo triturador de rastreo de la marca Dolbi, al cual se le retiraron las cuchillas de corte, para evaluar el control que ejerce sobre VV. El rolo se efectuó cuando la vicia se encontraba en comienzo de formación de vainas, encontrándose en ese momento una cobertura de 6500 Kg ha<sup>-1</sup> de MS. Bajo estas condiciones, posterior al rolo, se registraron algunas precipitaciones que posibilitaron un rebrote de 1500 Kg ha<sup>-1</sup> de MS, el cual no ejerció competencia sobre el maíz que se sembró posteriormente.

**CONCLUSIONES**

La inclusión de CC en reemplazo del barbecho convencional, puede provocar cambios muy importantes en el suelo, tanto químicos, físicos como biológicos. A su vez, estos cambios pueden tener gran relevancia desde el punto de vista económico-ambiental, debido al aporte de N, el control de malezas, la mayor eficiencia del uso del agua, la disminución del escurrimiento superficial, etc. Todos ellos son factores que mejoran la calidad del suelo, pero también reducen el uso de insumos. Por los datos expuestos, podemos decir que ambas especies tienen gran potencia para ser utilizadas como antecesores de maíz, pero hay que conocer las limitantes de cada zona o región y elegir, la que mejor se adapte a las condiciones del lugar. Por lo tanto, para los ambientes evaluados hoy VV presenta algunas ventajas tales como la mayor precocidad, mayor resistencia al frío,



**Figura 8:** El estado vegetativo 1 no se ven flores en ninguna de las yemas, del 2 al 6 tenemos los diferentes estados de floración y del 7 al 9 los diferentes estados de formación de vaina (temprano-medio-tardío). Fuente: Mischler et al., 2010.

mayor producción de MS, mayores aportes de N y menores consumos de agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bellucini P. 2011. Control químico de *Vicia villosa* como cultivo de cobertura previo a la siembra de maíz. Jornada de actualización Técnica de maíz 2011. EEA INTA Marcos Juárez, 30 de Junio de 2011.
- Carcova J, G Abeledo y M Lopez Pereira. 2004. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. H Satorre; RL Vence; GA Slafer; EB de la Fuente; DJ Miralles; ME Otegui y R Savin (eds.). Editorial Facultad de agronomía. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp. 75-95.
- Carfagno P. 2008. Cultivos de Cobertura en Agricultura de Secano en Región Pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de suelos INTA Castelar.
- Clark A. (ed.) 2007. Managing cover crops profitably. 3rd ed. National SARE Outreach Handbook Series Book 9. National Agricultural Laboratory, Beltsville, MD.
- Clark A, AM Decker y J Meisinger. 1994. Seeding rate and kill date effects on hairy vetch-cereal rye cover crop mixtures for corn production. *Agronomy Journal* 86: 1065–1070.
- Clark A, A M Decker, J Meisinger, FR Mulford y MS McIntosh. 1995. Hairy vetch kill date effects on soil water and corn production. *Agronomy Journal* 87: 579–585.
- Duarte GA. 2002. Modelos de producción en la región de la pampa arenosa. En: Díaz-Zorita, M. y Duarte, G.A. (eds.) Manual Práctico para el Cultivo de Girasol. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 281-297.
- Ernst O. 2004. Leguminosas como cultivos de cobertura. *Informaciones agronómicas del cono sur* N 21. 9 pp.
- Fernandez R, Quiroga A, Arena F, Antonini C y M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Quiroga A., A Bono (Eds). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. EEA INTA ANGUI. Publicación técnica 71: 51-59.
- Gardner BR, Pearce RB y RL Michell. 1985. *Physiology of crops plants*. Iowa State University Press. USA.
- Kandel H, BL Johnson y A Schneiter. 2000. Hard red spring wheat response following the intercropping of legumes into sunflower. *Crop Science* 40: 731–736.
- Lampurlanes JP, P Angas, C Cantero Martinez. 2002. Tillage effects on wáter storage during fallow, and barley on root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra región Spain. *Soil Till Res* 65: 207-220.
- Maddonni GA, y ME Otegui. 1996. Leaf area, light interception and crop development in maize. *Field Crop Res.* 48: 81-87.
- Mischler R, SW Duiker, WS Curran y D Wilson. 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. *Agron. J.* 102:355-362.
- Mischler R, SW Duiker, WS Curran y D Wilson. 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. *Agronomy Journal* 102: 355-362.
- Renzi JP. 2007. Selectividad de herbicidas aplicados en post emergencia en *Vicia villosa* Roth. y *Avena sativa* L. INTA Ascasubi. 30º Congreso Argentino de Producción Animal. AAPA. Santiago del Estero. Octubre 2007.
- Renzi JP. 2009. Efecto de la estructura del cultivo y el grado de madurez a cosecha sobre el rendimiento y calidad de semillas de *vicia villosa* L y *sativa* Roth. , bajo riego. Tesis de magíster en ciencias agrarias, departamento de agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Renzi JP. 2008. Cobertura y producción de biomasa de cultivos y poblaciones de *Vicia* spp. *Revista Argentina de Producción Animal* 28:411-412.
- Renzi JP y MA Cantamutto. 2007. Efecto de la densidad de siembra sobre la producción de forraje de *Vicia sativa* L. y *Vicia villosa* Roth. consociada con *Avena sativa* L. 30º Congreso Argentino de Producción Animal. AAPA. Santiago del Estero. Octubre 2007.
- Rodríguez N. 2005. Detección de especies de malezas de difícil control (tolerantes o resistentes) en los sistemas de producción. En: Cultivos de Cosecha Gruesa. Actualización 2005, Publicación Nº 61 EEA INTA Anguil, Cap. 17, pp 85-86.
- Teasdale JR, Devine TE, Mosjidis JA, Bellinder RR y CE Beste. 2004. Growth and development of hairy vetch cultivars in the Northeastern United States as influenced by planting and harvesting date. *Agronomy Journal* 92:1266-1271.
- Teasdale JR y RC Rosecrance. 2003. Mechanical versus herbicidal strategies for killing a hairy vetch cover crop and controlling weeds in minimum-tillage corn production. *Am. J. Alternative Agric.* 18:95–102.
- USDA. 1962. *Seeds*. Ed. Continental, S.A. 1962. p 766-769, 330-334, 446-448.
- Vanzolini JI, Galantini J, Agamennoni R, Reinoso O. 2009. Momento de control de cultivos de cobertura de *Vicia villosa* roth. y su efecto sobre la producción de biomasa. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Com. Química de Suelos. AACS. Bahía Blanca, Bs.As. 2009.
- Wheeler WA y DD Hill. 1957. *Southern grasses*. P. 544-561. In *grassland seeds*. D. Van nostrand company, inc. Princeton, New Jersey.

## Inclusión de cultivos de cobertura en la rotación: experiencia de un productor

Dentro de los muchos desafíos que nos tocan enfrentar en las empresas agropecuarias considero que uno de los principales es la “necesidad de subir la productividad de los suelos y hacer un buen uso del agua”.

La siembra directa no es suficiente en si misma para garantizar una agricultura sostenible. Debemos esforzarnos en entender la importancia de la capa protectora de rastrojo para proteger y alimentar el suelo como también la importancia de maximizar la diversidad de las rotaciones. Aquí creo que los cultivos de cobertura (CC) cumplen un papel muy importante.

### Una alternativa sustentable

Los barbechos presentan como problema principal su relativa ineficiencia en la acumulación de las aguas de lluvia.”Como término medio, el coeficiente entre agua caída y agua almacenada no supera el 20%”.Ing. Agr. Jorge Molina. Con la utilización de los CC se tiende a equilibrar el balance de carbono en el suelo y aportar una mejora significativa a las propiedades físicas, microbiológicas y a la fertilidad del suelo.

Es muy importante considerar al planificar el uso de CC: a) antecesores de los mismos, b) ver con que humedad llegamos a la siembra de estos, c) materiales a sembrar, d) nivel de fertilización a utilizar e) fecha de secado de los mismos como también , f) los materiales y fecha de siembra de los cultivos de cosecha.

Tradicionalmente los hemos utilizados para controlar procesos de erosión, pero también los podemos utilizar entre otras cosas para: 1) fijar carbono, 2) capturar nutrientes móviles como nitrógeno, azufre, 3) bajar la temperatura del suelo, 4) aumentar la eficiencia en el uso del

agua, 5) contribuir en la depresión de la napa freática en períodos muy húmedos, 6) Disminuir el nivel de malezas y el uso de agroquímicos.

Los CC, cuando se utilizan durante varios años, promueven un flujo continuo de carbono al suelo tanto superficial por medio de la biomasa aérea, como subsuperficial a través del aporte de las raíces. Esta situación a largo plazo nos debería dar un mayor incremento del contenido de materia orgánica de los suelos cuando se comparen con sistemas que no incluyeron CC.

La presencia de un cultivo creciendo en el otoño lluvioso permite la captura del nitrógeno residual, azufre que de otra manera pueden perderse por lixiviación profunda, situación que reviste particular importancia en los suelos de texturas gruesas.

### Mejor uso del agua

Los CC permiten mantener elevadas tasas de infiltración del agua de lluvia por las diversas acciones que realizan. Protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia, a su vez estos residuos actúan como pequeños diques demorando el escurrimiento y prolongan el tiempo para su entrada en el suelo. También intervienen en la macro porosidad del suelo, al descomponerse sus raíces generan un sistema de canales o galerías. Para ello habrá que prestar atención al momento de secado del CC que, sin duda, no deberá ir más allá de la floración si se trata de una leguminosa, y de la espigazón en el caso de las gramíneas, ya que a partir de estos momentos se incrementa significativamente el consumo de agua.

Cobertura generada con vicia y centeno después de “secado” con herbicida. Analicemos los dos extremos: si nos adelantamos en cortar el ciclo,

el consumo de agua va a ser muy bajo (objetivo deseable), pero acumulamos poco residuo de los mismos y de una muy rápida degradación (lo que nos implica baja protección del suelo a futuro).

Si cortamos tarde el ciclo de estas plantas, nos van a haber consumido mucha agua (probablemente no tengamos tiempo suficiente de recargar ese perfil antes de la siembra) pero la cantidad y calidad de materia seca que logramos va a ser mayor (obtendremos mayor cantidad de cobertura y con más lignina) que a futuro nos va a resultar muy beneficioso porque esos residuos van a perdurar más tiempo protegiendo ese suelo).

Una mayor cobertura de biomasa disminuye la amplitud térmica del suelo superficialmente, y se traduce en menos pérdida de agua por evaporación. Esto genera una mejora en la eficiencia del uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente.

### **Efectos de la Cobertura en lomas arenosas, productividad y agua**

*Cobertura y Agua:* las lomas arenosas tiene en general una baja productividad, porque “retienen poca agua” y observamos una menor retención de algunos nutrientes debido a que “tienen muy bajo contenido de arcillas y bajo % M.O.”

*Evaporación:* uno de los factores más importante de la evaporación directa desde el suelo es la cantidad de rastrojo. “A mayor cobertura menor evaporación directa”.

*Escurecimiento:* la cobertura disminuye el mismo. ¿Por que el agua es tan importante? “El agua mantiene la fábrica abierta”. La planta la toma del suelo y transpira por los estomas y por estos entra  $\text{CO}_2$ . Si tenemos estrés hídrico, los rendimientos caen porque se deja de fijar este elemento. “A mayor transpiración mayor producción”. Venimos observando que con la inclusión de estos CC y adecuadas rotaciones se nos ha ido transformando el suelo. Nuestros suelos comienzan a tornarse hacia un color más oscuro, producto de un mayor aporte de carbono y con una actividad biológica que va creciendo año a año.

### **Nutrientes generados en el campo**

El uso de nutrientes disponibles o generados en el propio terreno de cultivos junto con el uso moderado de fertilizantes es, en definitiva una manera equilibrada para sostener la productivi-

dad de los suelos agrícolas. En línea con una agricultura cada vez más intensiva, con rotaciones que siguen esa premisa, se destaca la incorporación de CC de leguminosas con el fin no sólo de crear biomasa, favoreciendo el aporte de carbono y la cobertura del suelo, “sino, principalmente, para fijar nitrógeno atmosférico e incorporarlo al suelo vía descomposición de residuos aéreos y subterráneos”.

En nuestro caso hemos encontrado en la vicia una alternativa para incorporar una fuente nitrogenada distinta de las que provienen del petróleo, utilizándola como inicio de rotación del ciclo agrícola y como antecesora de maíz. Todo ello aprovechando los milímetros de agua acumulados por las lluvias otoñales, que de otra forma se perderían durante el barbecho.

A la vicia la utilizamos en dos situaciones diferentes. En ambientes de punta (bien rotados y con buena fertilidad), donde la incluimos para dar un salto más en la productividad total del sistema y en lotes degradados donde su inclusión permite construir y mejorar suelos.

Estos cultivos de cobertura con leguminosas nos dan la posibilidad de tener un cultivo antecesor a un maíz o sorgo granífero, bajando la demanda de nitrógeno por fertilizante. Es, también, una manera de bajar costos y reducir riesgos ambientales.

Las leguminosas mejor adaptadas como cultivos de cobertura son las vicias (vicia villosa y vicia sativa) melilotus (blanco de olor) y los tréboles (de Alejandría y encarnado).

“La vicia villosa una de las leguminosa de mejor comportamiento al frío. Dependiendo de la duración del ciclo y el estado de desarrollo, la vicia puede fijar simbióticamente entre 75 y 125 Kg según bibliografía y nosotros hemos medido producciones de materia seca de vicia entre 4300 y 11000 Kg  $\text{ha}^{-1}$ , con una concentración de 5% de nitrógeno. Esto significa que solo en parte aérea nos va dejar entre 250 y 640 Kg de N más el aporte simbiótico. “Además la mineralización del N se encuentra facilitada por la baja relación C/N de sus tejidos”.

Estos aportes se hacen sin resentir significativamente el agua disponible para el cultivo siguiente “si manejamos correctamente el momento del secado del cultivo”. Otros beneficios adicionales a la fijación biológica de nitróge-

no cuando se emplean especies leguminosas, es también mantener a pleno la actividad biológica del suelo. Por intermedio del sistema radical, se mejorará la estructura, porosidad y procesos relacionados con la fertilidad edáfica.

Los CC por sí solos no son la única vía para restaurar la fertilidad de los suelos, sino una forma de hacer un uso más eficiente de los recursos existentes al combinarse con otras alternativas de manejo. En síntesis, los CC permiten incrementar la biodiversidad del sistema productivo, mediante la inclusión de nuevas especies. Debemos ser conscientes de que la inclusión de los CC, de ninguna manera reemplaza las bondades de una buena rotación de cultivos, imprescindible para una agricultura sustentable desde el punto de vista productivo y ambiental. Los residuos de los cultivos de cobertura quedan en superficie, cubriendo y protegiendo la superficie del suelo, conservando la humedad, liberando los nutrientes contenidos en la biomasa vegetal al descomponerse. No nos tenemos que olvidar de la acción beneficiosa de los residuos celulósicos en superficie, materia prima fundamental para la producción de coloides poliurónicos, tan importantes para el reacondicionamiento de los suelos. (Ing. Agr. Jorge Molina).

### **Efecto de rotación**

El cultivo de cobertura de leguminosa además de aportar una considerable cantidad de N produce una estabilidad/incremento de rendimiento que podemos denominarlo “efecto de rotación”. Las causas de este efecto podemos atribuir las a la conservación del agua, control de malezas, mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, reducción de la presión de plagas y enfermedades, al aumento en la eficiencia en el uso del agua y en algunos casos nos ayuda en la depresión de la napa freática.

Una forma simple de estimar el aporte de N del cultivo de cobertura podría ser por ej. En maíz calcular el “Valor de Reemplazo de Fertilizante”, que no es más que la dosis de fertilizante a la cual el maíz con barbecho invernal iguala en rendimiento al maíz con cultivo de cobertura y sin fertilizante.

Este simple índice enfatiza el aporte de N como efecto fundamental de los cultivos de cobertura y prácticamente no considera el efecto rotacional que puede ser aún más importante a nivel de sistema de producción. Una alternativa

más real y económicamente más correcta es “comparar el rendimiento de maíz en ambos sistemas a la dosis económicamente óptima de N”.

La experimentación local es fundamental para poder estimar el valor de reemplazo de fertilizante y el incremento de rendimiento con vicia y otras leguminosas y analizar el resultado económico de los CC en diferentes zonas y rotaciones. Una de las claves importantes del éxito para obtener buenas coberturas en gramíneas anuales es “fertilizarlas” y manejar bien el momento de “secado”. Este secado se debe efectuar antes de que se produzca el incremento de consumo de agua que coincide antes de la espigazón. El centeno es la gramínea más tolerante al frío y al estrés hídrico y produce un abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno, debido a su mayor contenido en lignina. Como el material generado no es retirado ni comido, los nutrientes agregados al CC son reciclados en el cultivo siguiente “al mismo fertilizante lo usamos dos veces” (Ing. Agr. Alberto Quiroga). “En la naturaleza nada se pierde, todo se transforma”.

### **Implantación de los cultivos de cobertura**

Las especies más utilizadas son fundamentalmente gramíneas y leguminosas. Entre las gramíneas se encuentran centeno, avena, cebada, trigo, triticale y ray grass, mientras que en leguminosas vicias y tréboles.

En nuestro caso probamos todas las especies en distintos momentos, con siembras aéreas (comenzamos en 1996, sobre maíces a cosecha y soja), siembra al voleo con fertilizadora y con sembradora después de cosechado. Hoy lo que estamos utilizando con muy buenos resultados es la siembra de centeno o vicia más centeno con sembradora después de cosecha.

*Centeno (Quehue)*: lo sembramos inmediatamente después de la cosecha de soja de primera o maíz. La implantación se realiza con sembradoras de grano fino. La densidad de siembra utilizada se encuentra entre 45 y 60 Kg ha<sup>-1</sup> de semilla en función de la calidad de siembra y peso de mil granos. Siempre incluimos PDA en dosis de rutina de 45 a 50 Kg ha<sup>-1</sup> y de ser posible un apoyo de fertilización nitrogenada sería recomendable ya que obtendremos un mejor cultivo con todos los beneficios que ello implica. El costo en fertilizan-



tes es para considerarlo mas desde el punto de vista financiero que económico ya que al no ser comido ni retirado del lugar lo reciclamos en el próximo cultivo “usamos dos veces el mismo fertilizante”. En el caso de potreros que van a maíz de cosecha preferimos hacer vicia ( 40-45 Kg ha<sup>-1</sup>) con centeno Quehue (15-20 Kg ha<sup>-1</sup>) todo junto y bien mezclado.

Hemos adoptado estas densidades de vicia (similares a las usadas en Brasil) después de probar varias densidades. Nos hemos encontrado usando densidades más altas de centeno y más bajas de vicia, que en los sectores buenos de los potreros termina dominando el centeno.

También buscamos el efecto del “cincel biológico de la raíces. El objetivo es “obtener una excelente vicia para dejar a la rotación la mayor cantidad de nitrógeno”.

Observación: ser muy cuidadoso con el consumo de agua y posibilidades de posterior recarga del perfil. El centeno Quehue sembrado temprano, en baja densidad junto a la vicia nos sirve para capturar rápidamente los nutrientes generados en el barbecho, encaña rápido, espiga y con las heladas se seca y luego deja paso a la vicia que pasa a dominar cubriendo todo el suelo.

La sembramos después de una cosecha fina sin doble cultivo porque queremos que el perfil se recargue bien de humedad y la sembramos cuando el suelo tenga “el tanque lleno de agua”, lo realizamos sobre la primera semana de marzo.

*Vicia*: uno de los inconvenientes que nos hemos encontrado al momento de comprar semilla es que nos ha sido difícil poder comprar semilla identificada, esto es muy importante para predecir el comportamiento de lo que vamos a sembrar. La implantación se realiza con sembradora de grano fino por todos los tubos. La densidad de siembra utilizada se encuentra entre 40 y 45 Kg ha<sup>-1</sup> de semilla. Siempre incluimos PMA en dosis de rutina de 45 a 50 Kg ha<sup>-1</sup> y una correcta inoculación con bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno (se usan las mismas cepas que en arveja, es deseable que haya una selección de cepas más específicas). Las etapas iniciales de la vicia son lentas, tanto en cobertura del suelo como en aporte de materia seca, pero luego se registra un crecimiento considerable desde mediados de septiembre hasta mediados de octubre. “Si se quiere maximizar el aporte de nitrógeno fijado,

deberá esperarse este crecimiento de la vicia en octubre, lo cual fenológicamente coincide con plena floración, caso contrario los aportes de materia seca y nitrógeno serán menores”. “Sin olvidarnos de ir mirando como está el perfil de humedad”. Un dato para tener en cuenta es que esto último demora la fecha de implantación del cultivo de maíz respecto de las siembras tradicionales. En nuestra zona (Daireaux) si esperamos a plena floración de la vicia, nos lleva a sembrar maíces a fin de noviembre, primeros días de diciembre. Para esta fecha por la distribución histórica de lluvia en nuestra zona tendremos recargado el perfil.

Por otro lado, resulta importante “la reducción del uso de nitrógeno en maíz sin resentir rendimientos”. Según el caso a considerar nos ahorramos la fertilización nitrogenada obteniendo rindes satisfactorios, o en el caso de buscar maximizar rindes podemos bajar considerablemente la utilización de fertilizantes nitrogenados.

Finalmente, se evidencia un remanente de nitrógeno importante en suelo luego del maíz, tenemos que evaluar el impacto residual por el uso de vicia en la rotación, más allá del maíz, lo cual sin duda redundará en beneficios para la microbiología del suelo y todos los cultivos de la rotación. Para “secar volúmenes muy importantes de vicia” se destaca como eficiente el control químico de un cóctel con glifosato, 2 4 D, Dicamba, y atrazina o “el control mecánico con rolo tipo faca”. Esta última opción es recomendable en vicias de importante desarrollo y sin malezas con 80-90% de floración (comunicación personal Ing. C. Cazorla, INTA M. Juárez). El uso de estos cultivos de cobertura con leguminosas nos permite bajar la dependencia de las fuentes nitrogenadas vinculadas con el petróleo.

Lo que venimos observando es que, el uso de herbicidas una vez establecido el cultivo no es siempre necesario cuando sembramos a la vicia en altas densidades con centeno.

### **Suelo cubierto y activo todo el año**

Con los cultivos de cosecha mas la implementación de estas “plantas barbecheras”, tenemos cubierto y activo el suelo todo el año. “Estamos simulando, tener al suelo con una pastura permanente” (Ing. Agr. Alejandro Cariola). Esto nos permite realizar una agricultura económica y ecológi-

camente sustentable.

Deberíamos sumar a la cantidad de residuos de cosecha anualmente, los kilos aportados por estos cultivos de cobertura.

Ej. 1) rotación: Maíz + C.C. Soja 1º el aporte podría ser Rastrojo Maíz: 8000 Kg + C.C. centeno Quehue 4500 Kg ha<sup>-1</sup> = 12500 Kg de MS año<sup>-1</sup>.

Otro Ej. 2) C.C. Vicia + Maíz el aporte anual sería : 4500 Kg M.S. de vicia + Kg de rastrojo que nos deje ese maíz cosechado: Ej. 8000 Kg = 12.500 Kg de MS año<sup>-1</sup>.

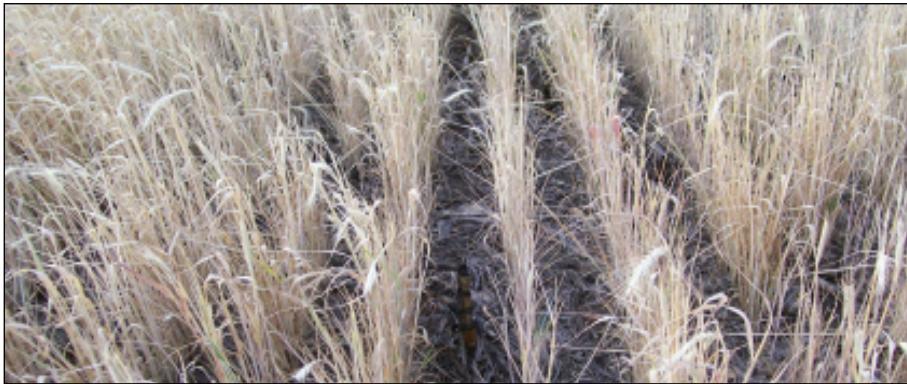
Como vemos nos aproximamos bastante a la producción anual de una pastura permanente en nuestra zona ( Daireaux Pcia de Bs. As).

Debemos entender que como productores y

profesionales del agro trabajamos con sistemas biológicos, cuyos tiempos y procesos debemos esforzarnos por comprender y respetar.

“Tratemos de generar en ese corto tiempo el mejor cultivo posible, a futuro habremos logrado una mayor cobertura, también, una buena masa radicular”. Cuando sus raíces se hayan degradado notaremos una mejor captación de agua ,un suelo mas “esponjoso” , esto producto de, a mayor numero de raíces, obtendremos (una vez degradadas) , más poros ,que también nos facilitarán no sólo la captación de agua sino también un mayor intercambio gaseoso a nivel radicular.

---



*Centeno sobre rastrojo de maíz Cultivo a implantar soja.*



*Raíz de vicia con sus nódulos.*



*Vicia secada con herbicida*



*Foto de un CC: raíces de centeno Quehue “Cinceles biológicos y estructuradores de suelo”.*



*Cultivo de cobertura centeno sembrado sobre rastrojo soja 1ra. Producción hasta 18 de agosto: 4600 Kg MS ha<sup>-1</sup>.*

M. T. Sobrero, S. Chaila, M. V. Parra, D. Trejo y W. Feil.

## Empleo de coberturas para el control de malezas en el cultivo de algodón

### INTRODUCCIÓN

En algodón sembrado en surcos estrechos el manejo de malezas es fundamental, para reducir las pérdidas de rendimiento, aumentar la eficiencia en la cosecha y la calidad de la fibra. Existen otras alternativas de manejo de malezas: empleo de cultivos de cobertura, coberturas orgánicas, rotaciones, modificación del diseño de siembra, manejo nutricional del cultivo, etc. (Acciaresi y Sarandón, 2002). Ellas son importantes para mantener el calor del suelo, prevenir la erosión, incrementar la fertilidad y controlar malezas, patógenos e insectos (Baldwin y Creamer, 2006). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diversas coberturas (mulch) como viruta de madera, cartón, guano y rastrojo de trigo-maleza sobre el control de malezas en el cultivo de algodón sembrado a 0,75 m de distancia.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se desarrolló durante la campaña 2006-2007, en el Campo Experimental de la EEA Santiago del Estero-INTA (28° 03'LS; 64° 15' LW; 169 m.s.n.m.) ubicado en la localidad de Arraga, Dpto. Silípica, Santiago del Estero, Argentina. El cultivar empleado fue Guazuncho 3 y la siembra se realizó el 12 de noviembre de 2006 con surcos distanciados a 0,75 m. El diseño fue en bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones con un tamaño de parcela 15 m<sup>2</sup>. Los tratamientos fueron: coberturas con: cartón, rastrojo de trigo, hojas y tallos secos de *Sorghum halepense*, guano vacuno, viruta de madera, testigo limpio y testigo sucio. Los tratamientos se efectuaron cuando el cultivo tuvo dos hojas verdaderas y

comenzó el flujo de emergencia de malezas. Las evaluaciones que se realizaron fueron: malezas presentes, biomasa de malezas, pH y CE; monitoreo a cosecha; determinación de rendimiento. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante ANOVA y prueba de diferencias de medias mediante el test de Tukey.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las malezas presentes y su biomasa, registrada al finalizar el ensayo, por tratamiento se indican en la Tabla 1. Se pudo confirmar que con el empleo de coberturas se logra un efectivo control de malezas. Las coberturas obstaculizan la germinación y emergencia de malezas por disminución de la luz solar, al efecto sofocante y a las características químicas de la cobertura (Foshee et al., 1996 y Ortiz Rivera, 2004). Comparando las coberturas evaluadas, la cantidad de malezas desarrollada fue mayor al emplear rastrojo de trigo - maleza y guano. En la Tabla 2 se muestra la influencia de los diferentes tratamientos de control de malezas sobre la altura del cultivo, número total de nudos sobre el tallo principal, número de nudo de primer y último capullo, número de capullos en primera, segunda y tercera posición y rendimiento. Comparando los diferentes tratamientos con el TL se registró disminución del rendimiento del 1,17% para cartón; 7,18% para viruta, 14,40% rastrojo trigo-maleza, 27,48% guano y el 91% para testigo sucio. En cuanto al pH de los distintos tratamientos (Tabla 3) se encontró una leve tendencia a disminuir de diciembre a mayo excepto en viruta donde se mantienen los valores; en los tratamientos guano y testigo sucio la tendencia a disminuir fue mayor. Con respecto a

Tratamiento	Malezas	Biomasa (g/m <sup>2</sup> )
Cartón	AMAQU, CHEAL, CYPRO, FLAVI, GRAMINEAS, IPONI, POROL, TRIPO	1,5
Trigo - Maleza	AMAQU, CYPRO, GRAMINEAS, IPONI, POROL, SORHA, TRIGO, TRIPO	38
Guano	AMAQU, CHEAL, CYPRO, FLAVI, GRAMINEAS, IPONI, POROL, SORHA, TRIPO	27
Viruta	AMAQU, CYPRO, FLAVI, IPONI, POROL, TRIPO	13,12
Testigo sucio	AMAQU, CHEAL, CYPRO, FLAVI, GRAMINEAS, POROL, SORHA, TRIPO	281

**Tabla 1:** Composición florística y biomasa de malezas para los diferentes tratamientos.

Ref. AMAQU: *Amaranthus quitensis*; CHEAL: *Chenopodium album*; CYPRO: *Cyperus rotundus*; FLAVI: *Flaveria bidentis*; IPONI: *Ipomoea nil*; POROL: *Portulaca oleracea*; TRIPO: *Trianthema portulacastrum*; SORHA: *Sorghum halepense*.

**Tabla 2.** Desarrollo final del cultivo y rendimiento.

	Cartón	Trigo-Maleza	Guano	Viruta	T.Limpio	T. sucio
Altura (cm)	96,95 b	102,3 b	101,3 b	97,25 b	96,47 b	71,25 a
Nº total nudos	20,57 b	19,82 b	20,87 b	19,85 b	21,12 b	14,9 a
Nº nudo 1 <sup>er</sup> capullo	7,25 a	6,97 a	7,25 a	7,27 a	7,2 a	9,15 b
Nº nudo último capullo	14,65 b	13,17 ab	13,35 ab	15,32 b	15,4 b	10,3 a
Nº cápsulas 1 <sup>ra</sup> posición	5,025 b	5,025 b	4,575 b	4,875 b	4,5 b	1,45 a
Nº cápsulas 2 <sup>da</sup> posición	1,175 ab	1,45 b	1,2 ab	1,875 b	1,575 b	0,1 a
Nº cápsulas 3 <sup>a</sup> posición	0,0325 a	0 a	0,225 a	0,65 a	0,6 a	0,05 a
Rendimiento (kg)**	2,533 b	2,194 b	1,859 b	2,379 a	2,563 b	0,231 a

\* Letras distintas difieren significativamente para Tukey,  $\alpha = 0,05$ ; \*\* Rendimiento en 4,5 m<sup>2</sup>

**Tabla 3:** Conductividad eléctrica y pH registrado a los 50 días de iniciado el ensayo y al final del mismo para los diferentes tratamientos de cobertura.

Tratamiento	CE		pH	
	Dic	Mayo	Dic	Mayo
Cartón	0,16	0,11	7,58	7,33
Rastrojo	0,16	0,17	7,58	7,14
Guano	0,45	0,17	7,88	7,55
Viruta	0,11	0,12	7,2	7,2
TL	0,14	0,14	7,44	7,39
TS	0,16	0,11	7,91	7,25

la CE no se encontraron cambios notables excepto en el tratamiento guano donde hay una disminución de la conductividad. Las coberturas empleadas lograron un efectivo control en la emergencia de malezas sobre el cultivo, principalmente las de ciclo anual (excepto IPONI), no así las perennes (CYPRO, SORHA). La reducción de malezas varió entre el 86 y 99%.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acciaresi HA y SJ Sarandon. 2002. Manejo de malezas en una agricultura sustentable. 331-362 pp. En: Agroecología, El camino hacia una agricultura sustentable. S.J. Sarandón (ed). Ediciones científicas americanas. 557 pp.
- Baldwin KR y NG Creamer. 2008. Cover crops for organic farms. North Carolina Cooperative. Extensive Service. Agricultura y Life Sciences. www.cefs.ncsu.edu.
- Foshee W, Goff E y K Tilit. 1996. Organic mulches increase growth of young pecan trees. Hortscience 31(5): 811-812.
- Ortiz Rivera, BA. 2004. Efecto de cubiertas inertes sobre el control de malezas y crecimiento vegetativo del cerezo dulce (*Prunus avium* L.) bajo la modalidad de producción orgánica en el secano interior de la comuna de Lumaco IX región de La Araucaria. Tesis Fac. Ciencias Agropecuarias y Forestales. Temuco. Chile. 141 pp.

## Abonos verdes para el cultivo del algodón en el suroeste de la provincia de Chaco

*Esta contribución, tendrá su real valor, cuando se analice dentro de 40 años y se pueda considerar en el período transcurrido los cambios que el actual sistema de producción algodonero genera, como así también, hacia donde se orienta el nuevo equilibrio natural, considerando el actual escenario de Cambio Climático.*

*El autor*

### EL AMBIENTE

La provincia de Chaco presenta excelentes condiciones ambientales para la producción de cultivos en forma extensiva, considerando sus planicies loessicas de acumulación con pendientes que no superan de Oeste a Este el 4%, y una altura sobre el nivel del mar de 100 a 150 m., lo que brinda días calmos con altos períodos de insolación, producto de la ubicación de centros de alta presión en el invierno y precipitaciones predominantemente en primavera-verano que varían de los 1300 mm año<sup>-1</sup> en la zona Oriental a 850 mm. año en la parte Occidental.

Es posible observar los Grandes Grupos de suelos en la provincia de Chaco que se detallan en la Figura 2.

En la Figura 3 es posible apreciar la oferta y demanda del ambiente en cuanto a precipitaciones, radiación, ETP, temperatura del suelo a 10 cm. y período libre de heladas. (Cáceres Díaz et al., 2010)

Por otra parte, es posible analizar los cambios en el régimen de precipitaciones que también influyeron en el avance de la frontera agrícola en la región en esta última década y que están asociados a una mejor oferta de lluvias, pasando de 820 mm año<sup>-1</sup> en el período de 1938/1972 de 885.4 mm año<sup>-1</sup> a 1018.3 mm año<sup>-1</sup> en el período de 1973/2007 de acuerdo a la Tabla 1.

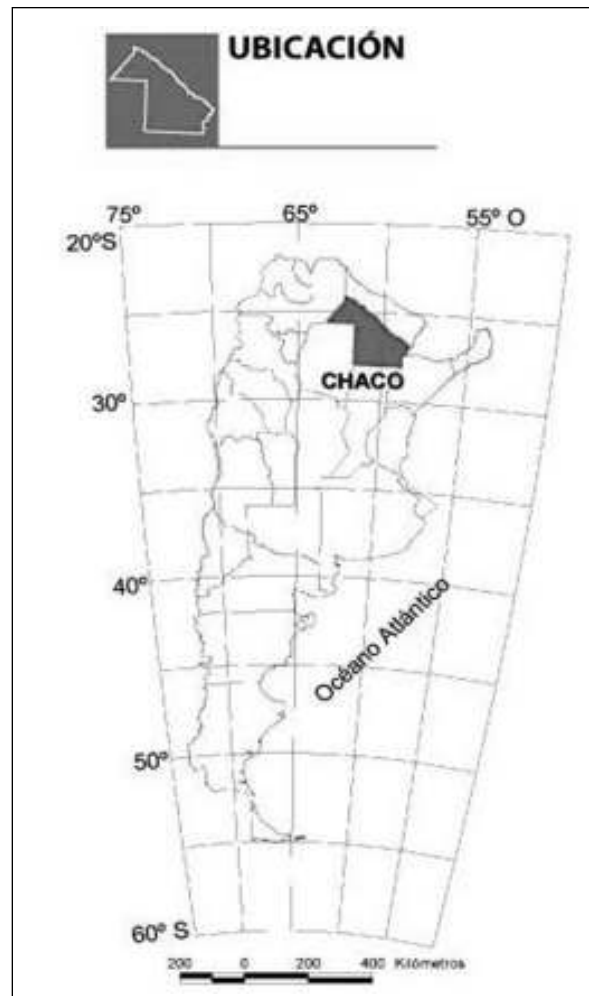
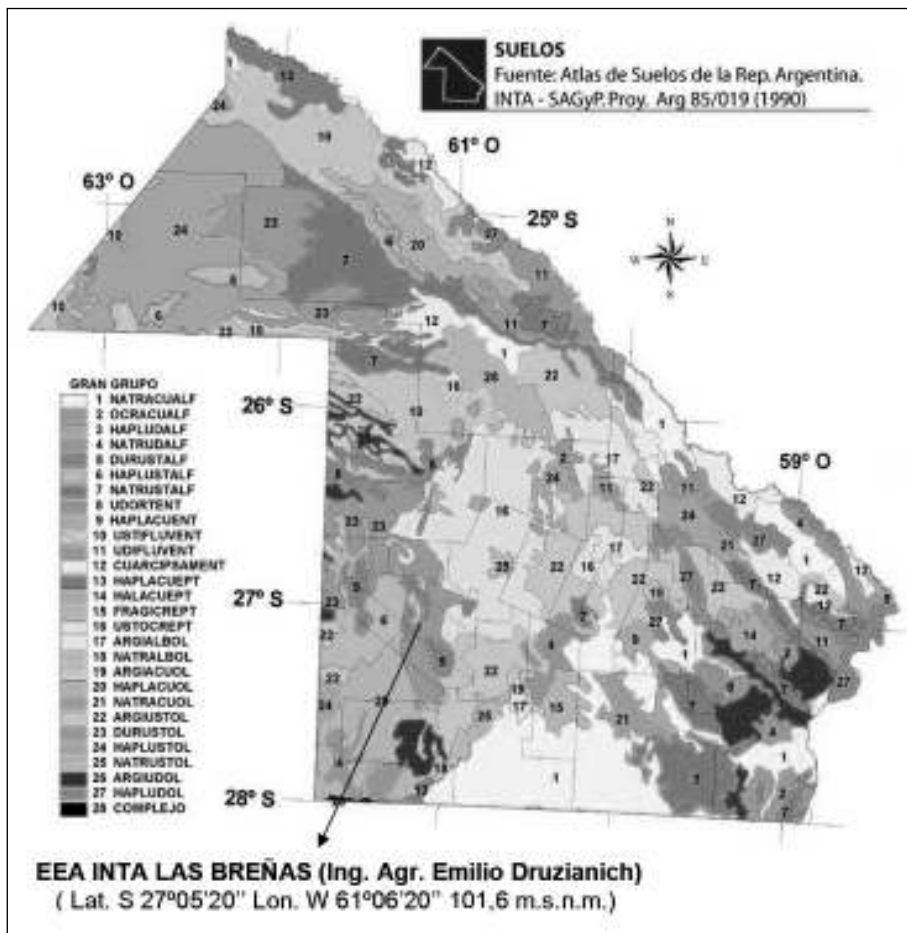
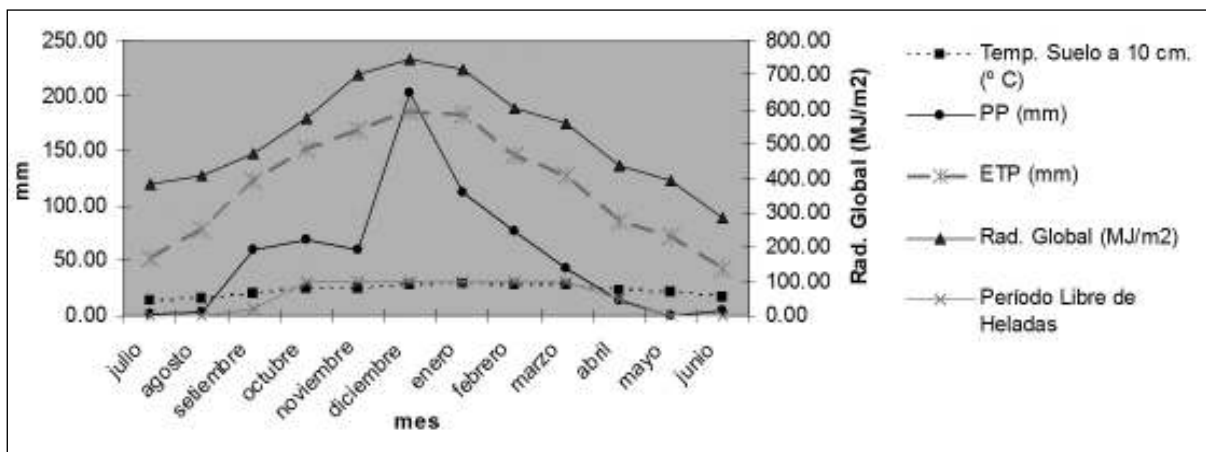


Figura 1: Ubicación de la provincia de Chaco.



**Figura 2:** Grandes grupos de Suelos de la provincial de Chaco y ubicación de la EEA INTA Las Breñas.



**Figura 3:** Oferta y Demanda del ambiente en el Suroeste de la provincia de Chaco. Elaboración propia según datos Estación Agrometeorológica EEA Las Breñas.

Actualmente, la precipitación media anual considerando 70 años de registro es de 951.1 mm año<sup>-1</sup> (Cáceres Díaz et al., 2008).

Así también, las precipitaciones medias anuales entre los dos ciclos considerados aumentaron 132.9 mm de acuerdo a lo que se refleja en la

Tabla 1. El 74% de las precipitaciones ocurren en primavera-verano (Cáceres Díaz et al., 2008)

En relación a los suelos, es importante destacar la fragilidad de los mismos, considerando dos aspectos fundamentales, su incipiente desarrollo de perfil y las variables condiciones climáticas



**Tabla 1:** Precipitación media anual en función de 35 años para su estimación.

Años para estimar la PP media	1938/1972	1973/2007
PP media anual normal	885.4	1018.3
Incremento total de PP entre ciclos	132.9	

que ocurren en la región provocando años de excesos y déficits hídricos marcados que se traducen en excesiva presión de uso sobre los suelos ubicándolos al límite de uso agrícola llegando en algunos casos a producir dos cultivos al año con escasos rendimientos y un pronto agotamiento y degradación de los mismos.

Se encuentran presentes los siguientes Ordenes de Suelos: ALFISOL; MOLISOL; ENTISOL e INCEPTISOL, de acuerdo a la Taxonomía de Suelos, Manual de agricultura N° 436, actualizado en 1992, del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. Así también es posible observar la presencia de suelos claros, no agrícolas, nâtricos; en otros casos, mullidos, oscuros, de estructura migajosa y también suelos jóvenes, con escasa materia orgánica, suelos jóvenes, incipientes, poco desarrollados y débil expresión de horizontes, oscuros y con presencia del horizonte C a los 1.4 m. de profundidad.

La provincia de Chaco tiene descripta sus suelos a escala 1:50000 con una descripción a nivel de Serie, por lo que no se abundará en estos aspectos que pueden ser consultados en las Cartas de Suelos de Referencia. Así también, se han descriptos los suelos en función de su Capacidad de Uso (aptitud de los suelos para producir cultivos, se agrupan por sus limitantes y riesgos de daño al ser puestos en producción agrícola, ganadero y forestal) Ledesma y Zurita, (1994).

Para referirnos a las limitantes debemos considerar la Capacidad de Uso de los suelos, destacando que en los de Clase II, es posible hacer agricultura con ligeras limitaciones y prácticas de rotaciones que incluyan una fase de 5 años con cultivos de hoja ancha y gramíneas en la rotación.

Los suelos de Capacidad de Uso III presentan limitaciones moderados y prácticas de rotación de cultivos con fases de 4 años en donde se incluyan solo dos cultivos de escarda (algodón, gira-

sol, maíz, sorgo granífero) una gramínea como sorgo forrajero y una moha como cultivo forrajero, Ledesma y Zurita, (1994).

Los suelos Clase IV presentan agricultura con limitaciones o riesgo severos, principalmente erosión, sales en superficie, anegabilidad y una fase de 3 cultivos: escarda como algodón, compacto como sorgo granífero y forrajero como el trigo, melilotus y cebada entre otros, cuando las condiciones de humedad del perfil lo permitan, Ledesma y Zurita, (1994).

Los suelos Clase V no son aptos para agricultura, siendo recomendado el uso ganadero con siembra de pasturas introducidas.

Los suelos Clase VI presentan limitaciones moderadas para pasturas permanentes y ligeras limitaciones para forestales, Ledesma y Zurita, (1994).

## ACERCA DEL ENSAYO

El ensayo se ubica en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Las Breñas, ubicada a los 27° 04' 25" Sur y 61° 02' 30" Oeste y a los 101,6 metros sobre el nivel del mar.

Se preparó la cama de siembra con labranza convencional en cada parcela, utilizando rastra rome en todo el cuadro para incorporar el rastreo de algodón, arado de discos y arado de cincel en donde corresponda según fecha de labranza (temprana o tardía).

Se sembraron trece parcelas con tres repeticiones de 52 m de largo por 12 m. de ancho cada una, en un lote destinado a Ensayo de Larga Duración (ELD) que se inició en el año 1967 en la Estación Experimental Agropecuaria EEA INTA Las Breñas, Chaco, Argentina, siendo el segundo Ensayo mas antiguo de América, en un suelo de la Asociación entre las Series Tizón y Tanigó (Ledesma et al, 1994). La unidad de muestreo para determinar rendimiento de algodón (*Gossypium hirsutum* L.), fue toda la parcela, cosechando el algodón a mano en dos pasadas. La parcela testigo tuvo algodón en forma continua con arado de discos en forma tardía.

Los cultivos antecesores utilizados como abonos verdes fueron sorgo granífero, moha (*Setaria italica*) y soja (*Glycine max*). Recordemos, que hace 40 años la soja no es lo que hoy en día, anteriormente a la aparición de la soja se utilizaba

otra leguminosa llamada caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.)

El algodón utilizado fue convencional var. Guazuncho 3 sembrado a 1 m. entre surcos, con fechas de siembra que varían entre el 9 de noviembre, 7 de noviembre y 25 de octubre de 2005, 2006 y 2007 respectivamente.

Las prácticas de cuidado del cultivo fueron las recomendadas por INTA para el algodón convencional con aplicación de herbicidas, cultivador por presencia de cebollín al ser suelos inundables y control de plagas con insecticidas varios.

A cosecha, se determinó rendimiento en bruto total de algodón cosechado.

El tipo de suelo del Ensayo está definido por los siguiente parámetros: Tizón: Clasificación Taxonómica: Haplustol óxico; Material originario: Loess; Suelos con débil desarrollo de horizontes genéticos, caracterizados por un incipiente B formado por meteorización in situ.

Tanigó: Clasificación Taxonómica: Argiacuol vértico; Material originario: Arcillas lacustres; Suelos con perfiles fuertemente desarrollados de tipo A-B-C, con cierta evidencia de formación de un A 2 por encima del B textural. Estos suelos se caracterizan por un perfil con un A 1, A 2 incipiente, B 2 fuertemente textural y C. Pueden haber signos de saturación temporaria con agua en el A 2 y en el B.

Así también, en junio de 2008 se tomó en el centro de la parcela tres submuestras para lograr una muestra compuesta de suelo por parcela a una profundidad de muestreo de 10 cm., enviando a laboratorio de INTA Sgo. del Estero para las determinaciones de pH en extracto de saturación,

Conductividad Eléctrica, (dS m<sup>-1</sup>) en extracto de saturación, fósforo extractable, (ppm), Bray Kurtz 1 y materia orgánica total, (MOT%) según Walkley Black.

Se realizó Análisis de Varianza y Test de Fisher para identificar diferencias significativas entre tratamientos, utilizando el software estadístico INFOGEN P 2009.

## RESULTADOS

Se presenta el error estandar de los rendimientos de algodón. Es posible apreciar en la Figura 4 para un 95% de confianza en los resultados que los mismos son muy uniformes en todos los tratamientos.

Así también, es posible apreciar la distribución normal de los datos, a pesar de una suave desviación en los valores extremos. Los datos ajustan a un 99.1% de distribución normal, como lo muestra la Figura 5.

Para los tres años analizados se puede apreciar que el mejor cultivo antecesor, independientemente de la labranza y el momento de la labranza es la soja, con un rendimiento promedio de algodón de 2171.89 kg ha<sup>-1</sup>, seguido del sorgo granífero como antecesor 1783.08 kg ha<sup>-1</sup> y por último moha con 1515.78 kg ha<sup>-1</sup>, como lo muestra la Tabla 2, con diferencias significativas para cada uno de los cultivos antecesores.

Por otra parte, es posible apreciar los efectos de las diferentes herramientas de labranza en la Tabla 3, independientemente del cultivo antecesor y la fecha de labranza, indicando que el Arado de Cíncel fue la mejor herramienta para cualquier

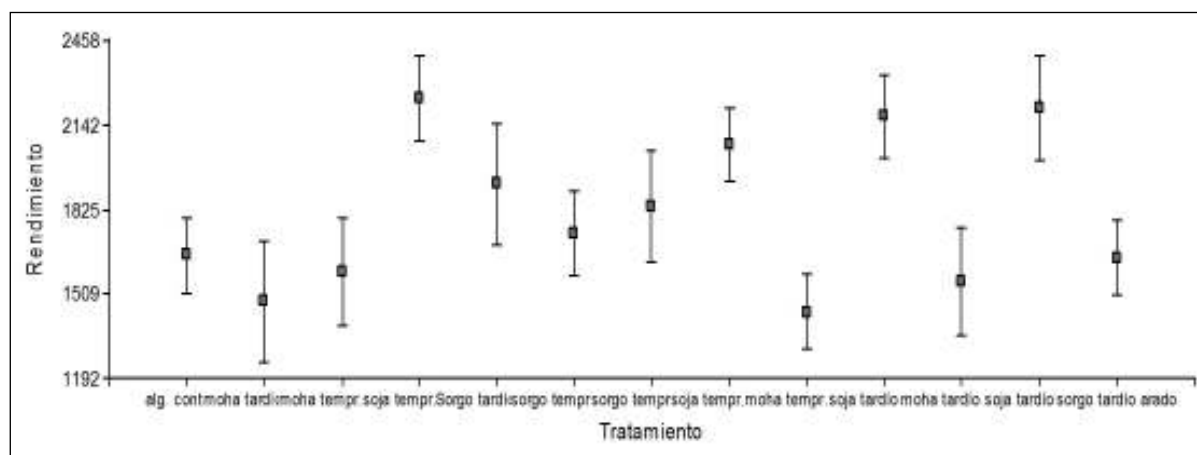
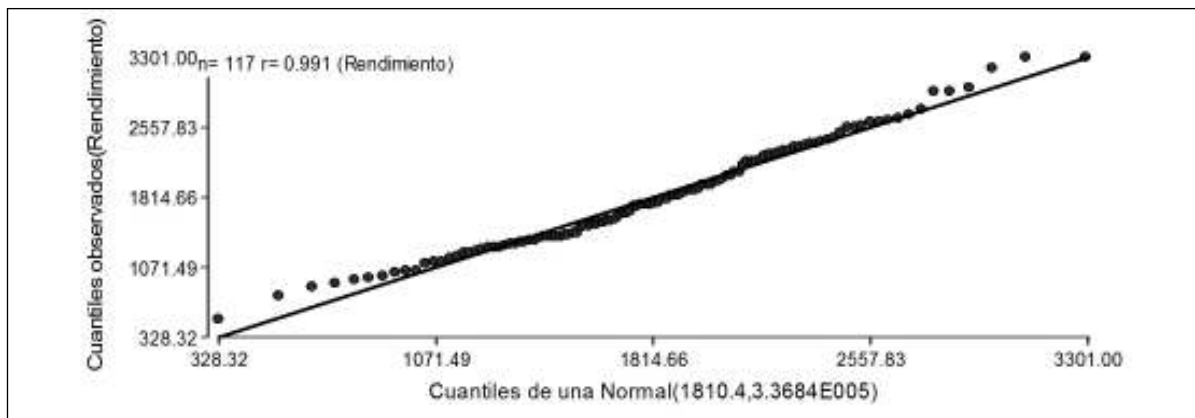


Figura 4: Rendimientos de algodón y su error estandar Tratamiento.



**Figura 5:** Distribución de los rendimientos de algodón en función de una curva normal.

Variable	n	Media	CV	Min	Máx
Moha	36	1515.78 a	37.49	512.00	2692.00
Sorgo granifero	36	1783.08 b	30.88	961.00	3301.00
Soja	36	2171.89 c	21.58	1538.00	3301.00
Algodón continuo	36	1651.89 ab	25.19	1105.00	2275.00

**Tabla 2:** Rendimiento de algodón de acuerdo al cultivo antecesor (2005 a 2007).

Test: LSD Fisher Alfa=0.05; DMS: 290.81929; Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Variable	n	Media	CV	Min	Máx
Arado de rejas	63	1781.06 a	32.10	512.00	3189.00
Arado de cincel	54	1844.57 a	32.19	865.00	3301.00

**Tabla 3:** Rendimiento de algodón en función de la herramienta de labranza (2005 a 2007).

Test: LSD Fisher Alfa=0.05; DMS: 213.48174; Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

Variable	n	Media	CV	Min	Máx
Arado reja temprano	27	1839.56 a	32.48	769.00	2980.00
Arado reja tardío	36	1737.19 a	32.02	512.00	3189.00
Arado cincel tempr.	24	1839.17 a	29.47	945.00	2756.00
Arado cincel tardío	30	1848.90 a	34.68	865.00	3301.00

**Tabla 4:** Fecha de labranza en relación a la herramienta a utilizar.

Test: LSD Fisher Alfa=0.05; DMS: 305.24656; Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

cultivo antecesor y fecha de labranza, con un rendimiento de algodón de 1844.57 kg ha<sup>-1</sup> y el Arado de Rejas en la labranza produjo un rinde de algodón en bruto de 1781.06 kg ha<sup>-1</sup>, sin diferencias significativas entre las herramientas evaluadas.

Una tercera aproximación, que se hizo fue, analizar el efecto de las herramientas de labranza y la fecha de uso, es decir, 30 días después de cosecha del abono verde y su incorporación y 60 días después de cosecha e incorporación, independientemente del año. Entonces, tenemos que la mejor fecha para labranza en función de la herramienta es el cincel en forma tardía, con un

rinde de algodón de 1848.9 kg ha<sup>-1</sup> y el peor momento para incorporar rastrojo es el Arado de Reja en forma tardía con 1737.19 kg ha<sup>-1</sup>, a pesar de que no existen diferencias significativas entre los tratamientos independientemente del año de la labranza, como lo muestra la Tabla 4.

Ahora bien, si combinamos los efectos de cultivo antecesor, herramienta y fecha de labranza y los años de cultivo, es posible apreciar el efecto de cada tratamiento, identificando que los menores rendimientos se registraron luego de la moha, usada como abono verde, con una producción media de algodón de 1440.11 kg ha<sup>-1</sup>, en los tres

TRATAMIENTO	n	Rendimiento (kg. x ha <sup>-1</sup> )	D.E.	CV	Min	Máx
ALGODON CONTINUO	9	1651.89 ab	416.18	25.19	1105	2275
MOHA TARDIO/ARADO	9	1479.22 a	688.87	46.57	512	2580
MOHA TEMPRANO/ARADO	9	1440.11 a	429.25	29.81	769	2035
MOHA TEMPRANO/CINCEL	9	1593.22 ab	607.46	38.13	945	2692
MOHA TARDIO/CINCEL	9	1550.56 ab	607.42	39.17	865	2612
SOJA TARDIO/ARADO	9	2173.56 c	464.81	21.38	1666	3189
SOJA TARDIO/CINCEL	9	2203.89 c	580.08	26.32	1538	3301
SOJA TEMPRANO/ARADO	9	2243.22 c	473.12	21.09	1586	2980
SOJA TEMPRANO/CINCEL	9	2066.89 bc	407.12	19.7	1554	2756
SORGO TARDIO/ARADO	9	1755.22 abc	617.99	35.21	961	2996
SORGO TARDIO/CINCEL	9	1920.78 abc	690.35	35.94	1217	3301
SORGO TEMPRANO/ARADO	9	1835.33 abc	623.8	33.99	1025	2948
SORGO TEMPRANO/CINCEL	9	1732.11 abc	478.38	27.62	1298	2451

**Tabla 5:** Rendimiento de algodón de acuerdo a Tratamientos.

Test: LSD Fisher Alfa=0.05  
DMS=517.7  
Error: 306812.54 gl: 104  
Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

TRATAMIENTO	2006	2007	2008
ALGODON CONTINUO	1516.67 abcd	2109.33 abc	1329.67 bc
MOHA TARDIO/ARADO	1377.67 abc	2158.00 abc	902.00 a
MOHA TEMPRANO/ARADO	1255.00 a	1885.33 ab	1180.00 ab
MOHA TEMPRANO/CINCEL	1351.00 abc	2136.33 abc	1292.33 ab
MOHA TARDIO/CINCEL	1329.67 ab	2280.67 abc	1041.33 ab
SOJA TARDIO/ARADO	1922.33 de	2579.67 bc	2018.67 e
SOJA TARDIO/CINCEL	1896.00 bcde	2857.33 c	1858.33 e
SOJA TEMPRANO/ARADO	2270.00 e	2713.33 bc	1746.33 cde
SOJA TEMPRANO/CINCEL	2163.00 e	2237.67 abc	1800.00 de
SORGO TARDIO/ARADO	2002.67 de	2050.67 abc	1212.33 ab
SORGO TARDIO/CINCEL	2285.67 e	2205.67 abc	1271.00 ab
SORGO TEMPRANO/ARADO	2328.33 e	1901.33 ab	1276.33 ab
SORGO TEMPRANO/CINCEL	2355.00 e	1463.33 a	1378 bcd

**Tabla 6:** Rendimiento de algodón anual en función de Tratamientos.

Test: LSD Fisher Alfa=0.05  
Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )

años de evaluación, seguido por algodón continuo, sorgo con diferentes labranzas y por último, los mejores rendimientos se registraron en el algodón después de la soja, obteniendo 2243.22 kg ha<sup>-1</sup> con labranza temprana de arado de rejas, como lo muestra la Tabla 5.

Este efecto concuerda con los reportados por Giller et al., (2009) en ensayos realizados en el área Subsahariana de Africa, destacando que las leguminosas usadas como abonos verdes han sido recomendadas para los sistemas de Agricultura Conservacionista por sus efectos benéficos sobre la fertilidad de los suelos.

En la Tabla 6 es posible apreciar los Rendimientos anuales de algodón en función de los tratamientos discriminado por año y el análisis

de varianza por tratamiento, identificando diferencias significativas entre grupos de tratamientos. Se observa que en el año 2006 se obtuvieron los mejores rendimientos en algodón después del sorgo y en los dos años posteriores se obtuvieron los mejores rendimientos en el algodón después de la soja, hecho que se refleja en los rendimientos promedios de los tres años y el efecto de la soja sobre los rendimientos.

Al considerar el efecto del año sobre los rendimientos de algodón, se puede apreciar que existe un efecto significativo ( $p \leq 0,05$ ) utilizando test de Fisher como estadístico de prueba, como lo muestra la Tabla 7, efecto dado por las precipitaciones acumuladas en el ciclo, ya que solo varió 14 días en fecha de siembra entre cada año. Palomo Gil et al

Año	Rendimiento algodón (kg. x ha <sup>-1</sup> )	n	Precipitaciones en el ciclo (octubre-mayo)	Eficiencia de uso de la precipitación (kg x mm.)
2005/2006	1850.23 A	39	608.3	3.04
2006/2007	2198.36 B	39	959	2.26
2007/2008	1408.18 C	39	577.4	2.44

**Tabla 7:** Rendimiento medio de algodón según año de cosecha.

Test LSD Fisher Alfa=0.05 DMS= 220.66129; gl: 114. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ); Correlación de Pearson entre Rendimiento/Precipitación: 0.86

Abono Verde	Variable	n	Media	D.E.	CV	Min	Máx
algodón	CE	36	0.52	0.24	46.29	0.17	1.17
algodón	pH	36	7.33	0.42	5.76	6.60	9.30
algodón	MOT	36	2.02	0.28	14.10	1.30	2.70
algodón	P	36	67.23	5.68	8.45	53.00	76.50
algodón continuo	CE	6	0.48	0.16	32.18	0.34	0.74
algodón continuo	pH	6	7.52	0.17	2.29	7.30	7.80
algodón continuo	MOT	6	1.80	0.21	11.65	1.60	2.10
algodón continuo	P	6	68.65	10.26	14.95	51.90	81.20
moha	CE	12	0.58	0.17	29.06	0.33	0.97
moha	pH	12	7.28	0.24	3.32	6.90	7.80
moha	MOT	12	1.97	0.41	20.61	1.30	2.60
moha	P	12	73.41	4.62	6.29	65.90	81.00
soja	CE	12	0.68	0.22	32.24	0.40	1.07
soja	pH	12	7.56	0.63	8.36	7.00	8.80
soja	MOT	12	2.10	0.55	26.00	1.10	3.20
soja	P	12	71.91	7.87	10.95	50.10	79.90
sorgo	CE	12	0.44	0.15	33.45	0.21	0.64
sorgo	pH	12	7.27	0.29	3.95	6.80	7.80
sorgo	MOT	12	2.14	0.48	22.48	1.60	3.20
sorgo	P	12	70.63	4.30	6.09	65.40	79.20

**Tabla 8:** Análisis químico de suelo de 0 a 10 cm. y sus parámetros estadísticos.

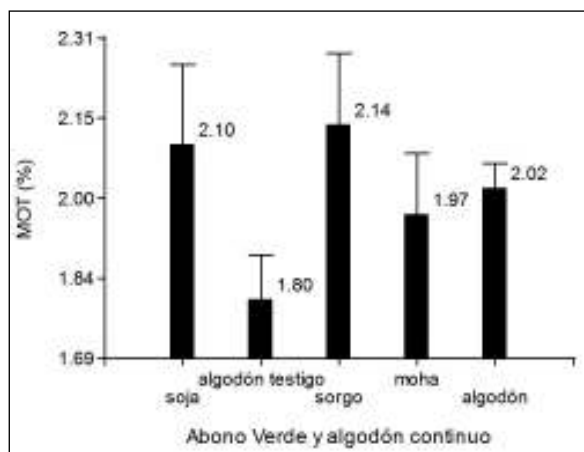
(2003) mencionan efectos del año sobre el rendimiento de algodón para un ensayo realizado en México.

Existe una alta correlación (0.86) entre la precipitación y los rendimientos de algodón medidos en este ensayo como lo muestra la Tabla 7. Este efecto, fue reportado por Albergel et al., (1985), citado por Blanc et al., (2008) en Burkina Faso ( $r=0.72$ ) para toda la zona aldonera. En términos de rendimientos, Bella-Medjo et al., (2005), citado por Blanc et al., (2008) revelaron una correlación de 0.59 para el Norte de Camerún en la región de producción aldonera donde las precipitaciones están debajo de 600 mm año<sup>-1</sup>. Para la zona Sur, donde las precipitaciones exceden los 600 mm por año, no hubo resultados significativos, lo que sugiere la presencia de umbrales entre

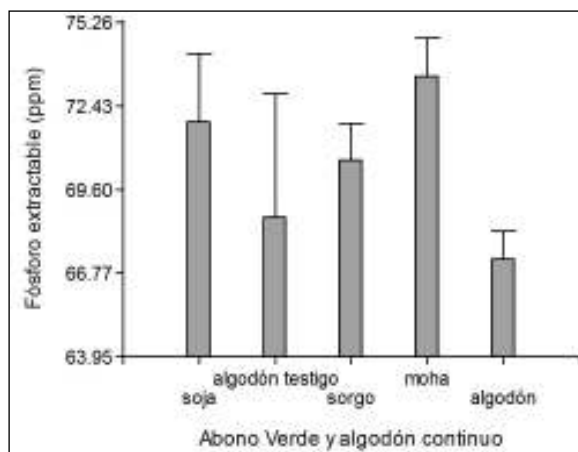
las precipitaciones y los rendimientos. Blanc et al., (2008) mencionan que todos los factores climáticos pueden tener un efecto lineal sobre los rendimientos de algodón.

Por último se puede presentar un análisis temporal de cómo está el suelo hoy, en cuanto a sus principales propiedades químicas en los 10 cm. primeros del perfil, es decir los que sufren la mayor cantidad de impactos agrícolas tanto por labranza, como por erosión y extracción de nutrientes por los cultivos intervinientes.

En la Tabla 8 es posible observar los valores medios, desviación estandar, coeficiente de variación y valores máximos, mínimos de la Conductividad Eléctrica, pH, Materia Orgánica Total y Fósforo observados en el algodón continuo, parcelas con abonos verdes (moha, sorgo



**Figura 6:** Materia Orgánica Total y error estandar según abono verde y cultivo.



**Figura 7:** Fósforo extractable (P Bray 1) y error estandar según abono verde y cultivo.

granífero, soja) y las 12 parcelas con algodón al finalizar la cosecha en el mes de junio.

Se destaca, que a pesar de realizar durante más de 40 años las mismas prácticas culturales y de cultivo en la misma parcela existe una alta variación interna en la misma definida por el elevado C.V. de la CE para todos los cultivos.

La variación de pH, fósforo son muy bajas y estables. La Materia Orgánica Total presenta una variación menor a la CE se ubica entre 11,65% y 22,48% de variación en el C.V.

Es posible observar en la Figura 6 los cambios en la Materia Orgánica Total según el Abono Verde y cultivo presente, destacando que la parcela que durante más de 40 años tuvo algodón, presenta los menores valores de MOT (1,8%) y la parcela que más alto valor de MOT es la que tiene sorgo granífero en la secuencia (2,14%) seguido por soja en la secuencia (2,1%) y algodón en todo el Cuadro de prueba (2,02%) a pesar de no haber diferencias significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ).

Todos los suelos de la provincia de Chaco en general están bien provistos de fósforo y a pesar de los años de agricultura continua los valores son altos y reflejan el potencial productivo que tienen estos suelos en la medida que se implementen medidas de conservación del suelo.

En la Figura 7, es posible observar los valores de fósforo extractable P Bray 1 en cada una de las parcelas, destacando que el lote con el algodón de prueba presenta los menores valores 67,23 ppm, el algodón continuo se ubica en segundo lugar con 68,65 ppm y el que mayor cantidad de

fósforo extractable es el que al momento del muestreo tuvo moha 73,41 ppm, destacando en este caso la escasa extracción que hace el cultivo de moha, seguido por soja y sorgo, presentes como Abonos Verdes. Existen diferencias significativas de acuerdo al Test de Fisher solo para algodón de prueba ( $p \leq 0,05$ ).

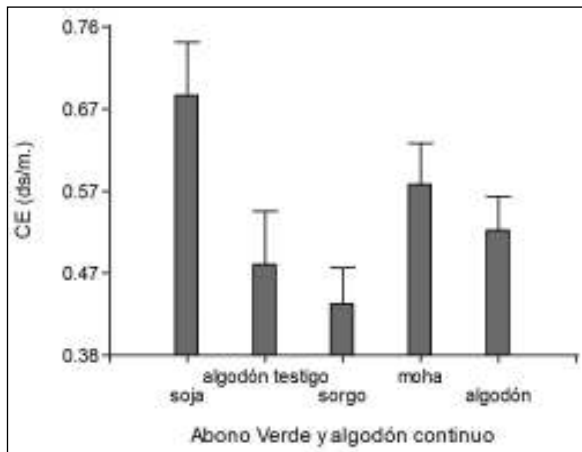
En cuanto a la Conductividad Eléctrica medida en diecisiemens por centímetro, la misma está dentro de valores normales, no existiendo problemas de salinidad que deprimen los rendimientos, variando entre 0,44 ( $Ds\ cm^{-1}$ ) en el Sorgo granífero a 0,68 ( $Ds\ cm^{-1}$ ) en soja, como lo muestra la Figura 8.

En cuanto a pH ocurren situaciones similares a CE con escasa variación y al encontrarse entre valores normales no es esperable se vean afectados los rindes por acidez o alcalinidad de suelos, como lo muestra la Figura 9, variando entre 7,27 pH en el sorgo granífero a 7,56 pH en soja, presente como Abono Verde.

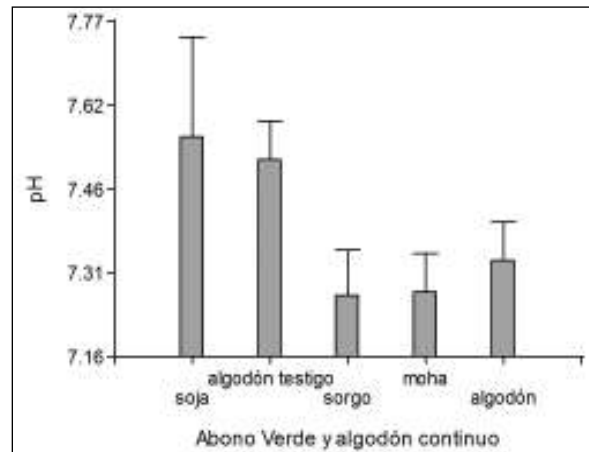
## CONCLUSIONES

El algodón sembrado luego de la soja y con labranza temprana de arado de rejas, resultó la mejor combinación labranza-fecha de labranza-abono verde, para mejorar los rindes de algodón en el largo plazo, cuando el cultivo está implantado en labranza convencional.

En este Ensayo, la moha resultó el cultivo menos apropiado para utilizar como abono verde para algodón, incluso con diferentes prácticas de labranza.



**Figura 8:** Conductividad Eléctrica (ds/m.) y error estandar según abono verde y cultivo.



**Figura 9:** pH y error estandar según abono verde y cultivo.

Los valores de MOT se depreciaron en mayor medida cuando estamos en presencia de monocultivo de algodón, seguido de moha, soja y sorgo con los mejores valores de MOT

Los valores de fósforo extractable se mantuvieron altos, variando entre 67,23 ppm en algodón testigo y 73.41 ppm en moha.

## AGRADECIMIENTOS

A todos los profesionales, personal de apoyo técnico y personal de campo, que durante más de 40 años mantuvieron este ensayo, realizando las mismas prácticas culturales para que hoy en día, sus efectos puedan ser presentados a la sociedad en esta publicación que contribuye a generar información científica sobre la incorporación de abonos verdes para el cultivo del algodón en el largo plazo. Actualmente, este Ensayo participa del Proyecto Nacional Integrado de INTA PNIND 084022, Desarrollo de tecnologías de manejo del cultivo, mejora de la calidad y herramientas económicas para aumentar la competitividad y sustentabilidad del sistema algodónero.

Una mención especial a Omar, Jorge, Roberto y Rubén, quienes le dedican y dedicaron muchas horas a esta tarea.

## BIBLIOGRAFÍA

• Blanc E, P Quirino y E Strobl. 2008. The climatic determinants of cotton yields: Evidence from a plot in West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148 (2008) 1093-1100. Elsevier.

• Cáceres Díaz RO, Herrera G, Palaoro D, Leiva M, Álvarez M y D Alcaraz. 2008. Análisis pluviométrico del suroeste de la provincia del Chaco.

• Cáceres Díaz RO, Quintana JGR, Nadal N y JO Jiménez. 2010. Fertilización nitrogenada para rendimiento objetivo de sorgo granífero en el suroeste de la provincia de chaco, Argentina. *Revista Agroecología*. UNNE (en prensa).

• Erenstein O. 2003. Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100 (2003) 17–37. Elsevier.

• Giller KE, Witter E, Corbeels M y P Tittonell. 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crops Research*. 114. Pag. 23–34

• Ledesma LL y JJ Zurita. 2004. Carta de suelos de la República Argentina. Provincia del Chaco. Los suelos del departamento 9 de Julio. Convenio INTA; Gobierno de la provincia del Chaco, Ministerio de la Producción.

• Palomo Gil A, Gaytán Mascorro A y S Godoy Avila. 2003. Rendimiento, componentes del rendimiento y calidad de fibra del algodón en relación con la dosis de nitrógeno y la densidad poblacional. *Rev. Fitotecnia de México*. Vol. 26 (3) Pag. 167-171

• Valenzuela C. 2005. Transformaciones y conflictos en el agro chaqueño durante los '90. *Articulaciones territoriales de una nueva racionalidad productiva*. *Mundo Agrario*. Revista de estudios rurales, vol. 5, Nº 10, primer semestre de 2005. Centro de Estudios Histórico Rurales. Universidad Nacional de La Plata.

Cristian Cazorla, Andrea Lardone, Marcos Bojanich, Bethania Aimetta, Dario Vilches y Tomás Baigorria

## Antecedentes de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura?

### INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la provincia Córdoba se concentra el 38 % de la producción nacional de maíz, en la que se incluye el departamento Marcos Juárez, con un total de 116.800 ha sembradas, logrando un rendimiento promedio de 88 qq ha<sup>-1</sup> (UPSIIA, 2009). Teniendo en cuenta que luego de la cosecha del cultivo estival el suelo queda expuesto a adversidades climáticas, una alternativa factible es la siembra de un cultivo de cobertura (CC) durante el periodo invernal.

Los CC son especies vegetales establecidos entre dos cultivos de verano, no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando en superficie protegiendo al suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular. Los CC cumplen con diversas funciones, entre ellas, protección física del suelo a la radiación solar, viento y lluvia; control de malezas (Fernández et al., 2007; Damrosch, 1998), mayor aporte de carbono orgánico (Álvarez, 2005), captura de nutrientes móviles (nitrógeno y azufre) a través de su biomasa, aumento de la eficiencia del uso de agua, depresión de napas freáticas y control de plagas y enfermedades.

Los CC, a través de la producción de materia seca (MS), proveen de sustrato a los microorganismos que intervienen en el ciclo de nitrógeno (N), toman N-NO<sub>3</sub> y lo incorporan en su biomasa. De este modo, se reduce la disponibilidad de N a la siembra de los cultivos estivales y no queda expuesto a lixiviación ante la ocurrencia de lluvias intensas. Finalmente, la descomposición y posterior mineralización de los residuos de CC, regulada por la actividad y número de la biota del suelo,

entrega el N durante el ciclo de los cultivos estivales (Abril, 2002).

Las funciones que cumplen los CC son diversas y la probabilidad de éxito de esta técnica va a depender de cuál es el factor limitante de la producción. Por lo tanto el objetivo del presente trabajo es analizar el impacto de los CC en tres funciones principales: dinámica de agua, disponibilidad de nitratos y control de malezas. Además se analizan los rendimientos obtenidos en maíz con diferentes antecedentes.

### Contenidos hídricos durante el periodo invernal

Los CC pueden presentar como desventaja la interferencia por la utilización de agua que puede llegar a afectar la implantación del cultivo posterior o comprometer su rendimiento (Fernandez y Quiroga, 2009). Esto va a depender de la capacidad de retención de agua (CRA) útil al momento de la siembra y de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo estival. Suelos Haplustoles típicos (CRA 100 mm) son más dependientes de las precipitaciones para el normal desarrollo del cultivo estival, mientras que Argiudoles típicos (CRA 240 mm) cuentan con reservas mayores para afrontar periodos de sequía.

Una vez definido la capacidad del ambiente suelo de almacenar y retener agua a través de la CRA, debemos tener en cuenta el contenido hídrico del suelo en el momento de la siembra del cultivo estival. En la Tabla 1 se presentan contenidos de agua útil (mm) con diferentes antecedentes de maíz en ensayos de la EEA INTA Marcos Juárez.

En haplustoles y hapludoles de regiones semiáridas la utilización de CC no reduce la disponibilidad de agua a la siembra de los cultivos estivales (Carfagno et al., 2008), como así también en



**Tabla 1:** Agua útil (mm) al momento de secado de especies utilizadas como CC. Fuente: Baigorria & Cazorla, 2009.

Especie	2008	2009
Avena + Vicia	80,6 a	60,5 ab
Centeno	75,5 a	86 bc
Barbecho	109,1 b	142,2 d
Triticale	58,3 a	56 ab
Vicia Sativa	78,2 a	36,2 a
Vicia Villosa	Sd	100,6 c

vertisoles de Entre Ríos (Muller et al., 2008). En cambio si afectan la disponibilidad de agua a la siembra en Argiudoles típicos (Baigorria y Cazorla, 2010) y en hapludoles típicos de la región semiárida pampeana (Fernandez et al., 2007). Esta disminución en los contenidos de humedad con respecto al barbecho se puede denominar costo hídrico (CH) por la realización de un CC. El CH se encuentra entre 30 a 40 mm y 40 a 80 mm para leguminosas y gramíneas respectivamente dependiendo de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de los CC (Baigorria y Cazorla, 2010). Similares CH son reportados por otros autores en hapludoles de la región semiárida pampeana (Fernández et al., 2007).

La conservación de agua durante el periodo de barbecho depende del tipo de suelo y de las precipitaciones (Lampurlanes et al., 2002). Suelos con bajas CRA son ineficientes para retener agua (Fernandez et al., 2007), mientras que con altas precipitaciones el barbecho es ineficiente para retener el agua. Un ejemplo de esto se muestra en la Tabla 2. Como se observa en la Tabla 2, las pérdidas de agua del año 2009 superaron las del anterior debido a las mayores precipitaciones del período. Estas se deben en parte a pérdidas de agua que los poros de almacenamiento no pueden retener (drenaje) y por evaporación. Esta última depende de la temperatura y el contenido hídrico del suelo. Con alto contenido de humedad, la tasa de evaporación es elevada y cuando el suelo comienza a secarse la tasa disminuye

Año	Agua Siembra (mm)	Agua Secado (mm)	Precipitaciones (mm)	Perdida agua (mm)
2008	130	109	32	-53
2009	153	142	195	-206

**Tabla 2:** Pérdidas de agua en barbechos para dos campañas en la EEA INTA Marcos Juárez.

(Monzon et al., 2005), es por esto que los barbechos no pueden mantener contenidos hídricos cercanos a capacidad de campo.

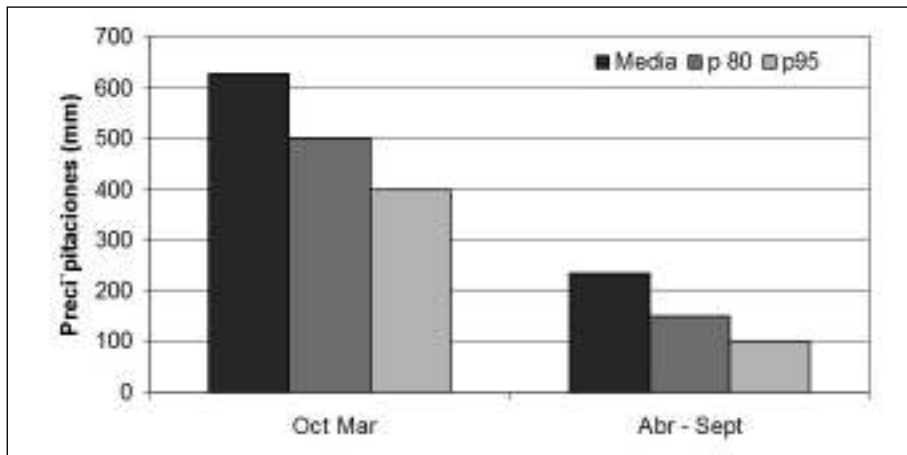
La eficiencia en el uso del agua (EUA) es la MS producida por mm de agua consumida. Esta eficiencia varía con la especie vegetal, y se relaciona positivamente con las practicas de manejo como la fertilización (Cooper et al., 1987) y negativamente con las precipitaciones durante el ciclo de los CC (Baigorria y Cazorla, 2010; Scianca et al., 2006).

### Contenidos hídricos durante el periodo del cultivo estival

Los requerimientos hídricos del cultivo de maíz varían de 530 a 575 mm para ambientes de Balcarce y Pergamino (Andrade et al., 1996). El consumo de agua y crecimiento se ven limitados cuando el contenido hídrico del suelo en la zona de la rizósfera se encuentra por debajo del 40-60 % del agua útil, siendo en floración el periodo crítico en que la provisión de agua no debe ser limitante (Andrade et al., 1996).

En la región sudeste de la provincia de Córdoba durante el periodo estival, las precipitaciones serán de 500 mm con una probabilidad del 80 % (Figura 1) lo que cubriría las necesidades hídricas de la mayoría de los cultivos de verano. Desde Abril a Septiembre las precipitaciones superan los 100 mm, y debido a la eficiencia del barbecho, como se comento anteriormente, es probable que se pierdan del proceso productivo. Desde el punto de vista de la disponibilidad hídrica la inclusión de CC se justifica debido a que en la mayoría de los años las precipitaciones son suficientes para el normal desarrollo de los cultivos estivales.

El momento de interrupción del ciclo de los CC debe considerar el ciclo ontogénico de estos como así también el agua disponible a la siembra del cultivo estival. Con respecto al ciclo ontogénico, la máxima acumulación de biomasa se logra alrededor de floración, periodo luego del cual declina rápidamente. El contenido de N en hojas disminuye a medida que avanza el ciclo debido a



**Figura 1:** Distribución de precipitaciones de Marcos Juárez.

P80: Probabilidad del 80%.

P95: Probabilidad del 95%

que se empieza a removilizar el N a los órganos reproductivos (Barbazan et al., 2002).

### DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES

Las especies utilizadas como CC provocan una disminución en el contenido de N-NO<sub>3</sub> a la siembra del cultivo de maíz debido a su incorporación en biomasa. En el caso de gramíneas, la disponibilidad de N durante el cultivo de maíz se ve limitada por una relación C/N del residuo de aproximadamente 50, por lo que se produce una inmovilización del N, mientras que con leguminosas esta relación es de 15 a 20 (Zotarelli et al., 2009), motivo por el cual la disponibilidad de N es inmediata.

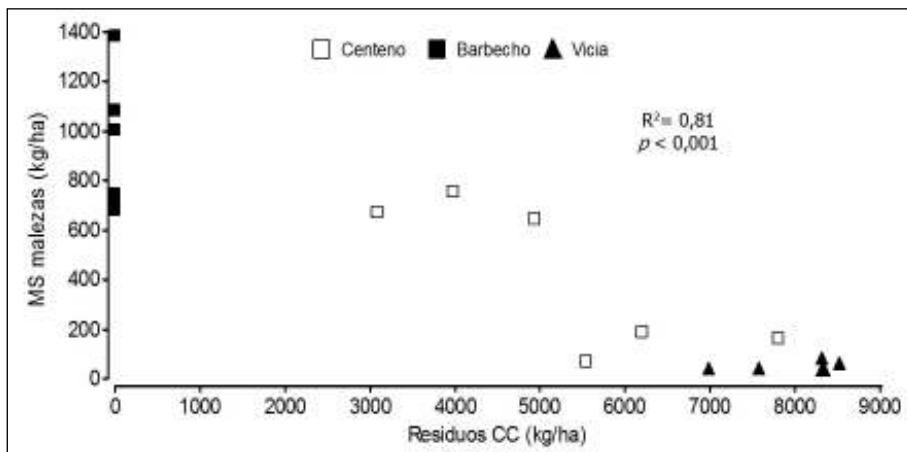
En ensayos utilizando especies como CC en la EEA INTA Marcos Juárez, se registraron contenidos de N-NO<sub>3</sub> de 90 ppm el barbecho, mientras que con CC el contenido se reduce a 60 y 40 ppm con leguminosas y gramíneas, respectivamente (Baigorria y Cazorla, 2009). En ensayos similares en la región semiárida pampeana encontraron

valores de 60 y 40 ppm de N-NO<sub>3</sub> para las situaciones barbecho y CC respectivamente (Scianca et al., 2006). Esta disminución en el contenido de N-NO<sub>3</sub> a la siembra puede ser considerada una desventaja desde el punto de vista de la nutrición del cultivo, pero es una ventaja si tenemos en cuenta la probabilidad de lluvias intensas que laven nitratos por debajo de la zona de absorción de las raíces (Rimski-Korsakov et al., 2004).

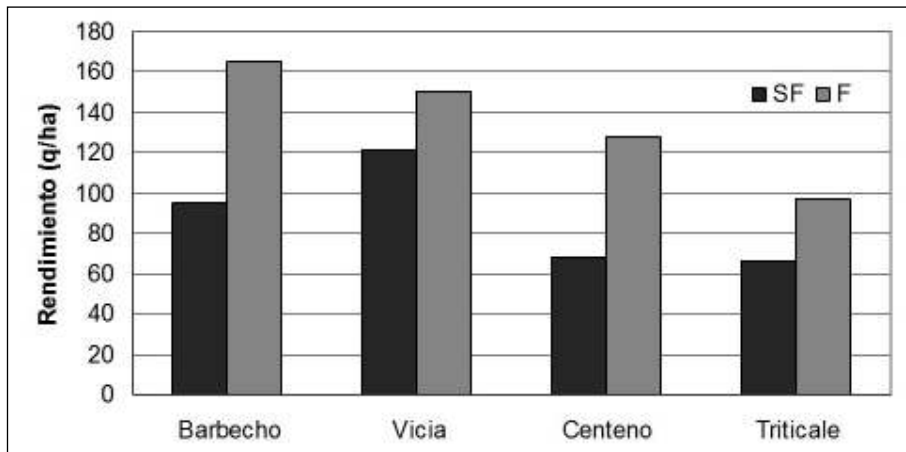
### CONTROL DE MALEZAS

Los cultivos de cobertura ejercen a través de la biomasa un control en la población de malezas, limitando su emergencia (Scianca et al., 2006) por interferencia en recursos como luz y temperatura (Teasdale, 1993), además modifican la diversidad y frecuencia de las mismas (Fernandez et al., 2007). En un ensayo de CC realizado en la EEA Marcos Juárez se midió el efecto de los residuos de cobertura en la población de malezas (Figura 2).

El barbecho que solo tiene residuos del cultivo antecesor (maíz) presentan mayores contenidos de



**Figura 2:** Relación entre MS de malezas (kg ha<sup>-1</sup>) y biomasa de residuos de CC (kg ha<sup>-1</sup>).



**Figura 3:** Rendimientos de maíz con diferentes antecesores.

Fuente: Baigorria y Cazorla, 2009.

malezas. Los residuos de CC de centeno y vicia provocan una disminución de alrededor de 80% de la población de malezas. En estudios realizados en otras regiones se reportan reducciones de la población de malezas entre 30 y 90 % dependiendo del sitio y año considerado (Mischler et al., 2010; Zotarelli et al., 2009).

### RENDIMIENTOS DE MAÍZ

El efecto de los CC en el rendimiento de maíz fue evaluado en la EEA INTA Marcos Juárez durante la campaña 08-09 utilizando como antecesores diferentes especies (Figura 3).

El rendimiento de maíz se ve limitado en parte por la disponibilidad de agua y en parte por la deficiencia de N. En condiciones de fertilización se observa una disminución en los rendimientos utilizando CC. En condiciones sin fertilización hay incrementos de rendimientos cuando se utiliza vicia como CC. Resultados similares se encontraron en la campaña 2009-2010 en ensayos de fertilización con vicia y barbecho como antecesores en maíz de segunda fecha de siembra (Vilches, datos no publicados). El cultivo de vicia, a través de la descomposición de su residuo realiza un aporte de N que permite incrementos en el rendimiento final obtenido.

En suelos hapludoles de la región semiarida pampeana, el efecto de los CC en maíz es notorio, logrando incrementos en el rendimiento de 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> (Fernandez et al., 2007). En la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires, con antecesor Vicia el incremento fue de 1500 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que con centeno superan los 3500 kg ha<sup>-1</sup> (Barraco et al., 2009). Para estos suelos donde los volúmenes de rastrojo son inferiores, debido a los

menores rendimientos, el efecto de los CC en la dinámica del agua es muy marcado, dado que el residuo de la cobertura provoca una disminución en la temperatura del suelo, disminuyendo la evaporación del mismo.

### CONCLUSIONES

Los barbechos son prácticas ineficientes para el almacenamiento de agua en el suelo, y si bien la inclusión de CC, como antecesores de maíz, provoca disminuciones en el contenido de agua útil a la siembra, las precipitaciones para la región sudeste de la provincia de Córdoba pueden cubrir los requerimientos del cultivo.

Los CC gramíneas provocan una disminución de los contenidos de nitratos y una inmovilización del N, mientras que esto no ocurre con leguminosas. Por lo tanto leguminosas como vicia serían los mejores antecesores para maíz. Los CC ejercen buen control de malezas, teniendo un impacto positivo en los costos de producción, debido a la menor necesidad de utilización de herbicidas.

El efecto de los CC en el rendimiento es variable según la especie utilizada. En condiciones sin fertilización, el rendimiento se incrementa con la utilización de vicia como antecesor. Sin embargo, en condiciones de fertilización la utilización de CC no presenta beneficios sobre el rendimiento de maíz.

### BIBLIOGRAFÍA

- Abril A. 2002. La microbiología del suelo: Su relación con la agricultura sustentable. En: SARANDÓN, S. (Ed.) Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. ECA, La Plata, Argentina, pp. 153-173.

- Alvarez C, Barroco M, Díaz-Zorita M, C Scianca y C Pecorari. 2005. Uso de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja: efecto sobre algunas propiedades edáficas y rendimiento de los cultivos en un Hapludol típico del noroeste bonaerense. Boletín de divulgación técnica N° 87.
- Alvarez C. 2007. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas. Boletín para profesionales. Jornada profesional agrícola. 28 y 29 de Septiembre del 2007.
- Andrade FH y V Sadras. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editores: F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA INTA Balcarce-Fac. de Ciencias Agrarias UNMP.
- Andrade FH, A Cirilo, S Uhart y ME Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalpress, Buenos Aires, Argentina.
- Baigorria T y C Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de Mayo al 4 de Junio del 2010.
- Baigorria T y C Cazorla. 2009. Evaluación de especies como cultivos de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, Nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía blanca, 10 y 11 de Agosto de 2009.
- Barbazan M, M Ferrando y JP Zamalvide. 2002. Acumulación de materia seca y nitrógeno en gramíneas anuales invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. Agrociencia 6: 10-19.
- Barraco M, Álvarez C y C Scianca. 2009. Aporte de nutrientes y rastrojo de diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, Nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía blanca, 10 y 11 de Agosto de 2009.
- Carfagno P. 2008. Cultivos de Cobertura en Agricultura de Secano en Región Pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de suelos INTA Castelar. <http://www.insuelos.org.ar/Informes/CultivosSecano.pdf> Verificado 31/01/10.
- Cooper PJM, Gregory PJ, Tully D y HC Harris. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rain-fed farming systems of west Asia and North Africa. Experimental Agriculture 23: 113-158.
- Damrosch B. 1998. The garden primer. Workman Publishing: New York. 673 p.
- Fernandez R y A Quiroga. 2009. Cultivo de cobertura. Costo hídrico de su inclusión en sistemas mixtos. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, Nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía blanca, 10 y 11 de Agosto de 2009.
- Fernandez R, Quiroga A, Arena F, Antonini C y M Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Quiroga A., A. Bono (Editores). Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos. EEA INTA Anguil, pub. Téc. 51:59.
- Lampurlanes J, P Angas y C Cantero-Martinez. 2002. Tillage effects on water storage during fallow, and on barley root growth and yield in two contrasting soils of the semi-arid Segarra region Spain. Soil Till. Res. 65:207-220.
- Mischler RA, S Duiker, W Curran y D Wilson. 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. Agronomy Journal 102: 355-362.
- Monzon JP, Sadras V y F Andrade. 2005. Evaporation during fallow: Residue effects on subhumid and semiarid environments.. Field Crops Research 98: 83-90.
- Muller D, Saluzzio M y De Battista JJ. 2008. Comparación de distintos cultivos de cobertura en un suelo vertisol. Actas XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funés, San Luis, 13 al 16 de Mayo del 2008.
- Rimski-Korsakov H, G Rubio y R Lavado. 2004. Potential losses of nitrate by leaching in soils of the pampas Argentina. Agricultural Water Management 65: 83-94.
- Scianca C, Álvarez C, Barraco M, Quiroga A y P Zalba. 2006. Verdeos de invierno utilizados como cultivos de cobertura: influencia sobre propiedades edáficas. Actas de XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta y Jujuy, 19-22 de septiembre de 2006.
- TEASDALE, JR. 1993. Interaction of light, soil moisture, and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. Weed Science 41:46-51.
- UPSIIA. 2009. Caracterización del sector agropecuario por departamento. Departamento Marcos Juárez. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos. Provincia de Córdoba. [http://www.cba.gov.ar/imagenes/fotos/agr\\_upssia\\_marcosjuarez.pdf](http://www.cba.gov.ar/imagenes/fotos/agr_upssia_marcosjuarez.pdf) Verificado 02/07/2010.
- Zotarelli L, Avila L, Scholberg J y Alves B. 2009. Benefits of Vetch and Rye Cover Crops to Sweet Corn under No-Tillage. Agronomy Journal 101: 252-260.

## Avances en aportes de los cultivos de cobertura en la región agrícola Argentina

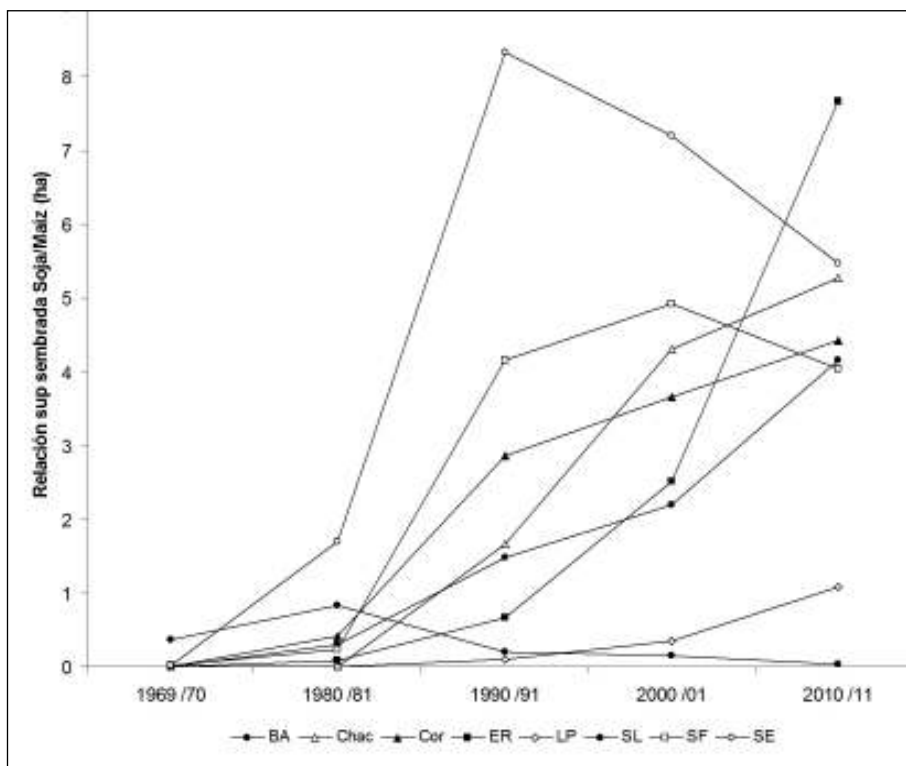
La actividad agrícola en la región pampeana y extrapampeana, orientada fundamentalmente a la producción de soja, maíz, trigo y girasol, ha experimentado profundas transformaciones a partir de la década del noventa, no solo en cuanto a su expansión en superficie en detrimento de la superficie praderizada, sino también a través de un aumento de su productividad debido a un mayor uso de tecnologías (Satorre, 2003).

Algunos ejemplos de esas transformaciones:

La superficie sembrada de los 4 granos (Trigo, Maíz, Girasol y Soja) varió de 13,5 millones de ha en la campaña 80/81, a 27,8 millones de ha en la campaña 06/07 (Ramírez y Portsmann, 2007). El

sistema de producción difundido en la zona es la agricultura continua. Según datos de la SAGPyA, (2011), la superficie ocupada por el cultivo de soja se incrementó en toda la superficie agrícola de la Argentina, en el período comprendido entre las campañas 1969/70 y 2010/11. En el mismo período, el área sembrada con maíz y trigo disminuyó (SAGPyA, 2009).

Teniendo en cuenta los limitados aportes de rastrojos del cultivo de soja, junto con su baja relación C:N, el aumento de su presencia en las secuencias de cultivos agrícolas afectaría la conservación de los contenidos de materia orgánica (MO) y el mantenimiento de adecuados niveles de



**Figura 1:** Evolución de la superficie de soja/maíz durante los últimos 5 decenios de Buenos Aires (BA), Chaco (Chac), Entre Ríos (ER), La Pampa (LP), San Luis (SL), Santa Fé (SF), Santiago del Estero (SE). \*datos obtenidos de la página SAGPyA, 2011.

TIPO DE SUELO	Semiárida	Subhúmeda	Húmeda
Balance de carbono	XX	XX	XX
Eficiencia en el uso del agua	XX	X	
Reducir lixiv. de nutrientes móviles		X	XX
Control de la erosión eólica	XX	X	
Control de la erosión hídrica		X	XX
Encostramiento	XX	XX	XX

**Tabla 1:** Principales efectos buscados al incluir cultivos de cobertura durante los barbechos largos en distintos tipos de suelo de la región pampeana.

Especies	Semiárida	Semiárida (riego)	Subhúmeda	Húmeda
Centeno	740-7480		3900-11300	
Avena			2200-8761	2760-5376
Raigras			1100-4000	2680-5429
Cebadilla				1600-3980
Cebada				2573-4954
Trigo			5516-8009	7500-9500
Triticale	2000		11000-20015	
Avena+Vicia				3464-11500
Vicia villosa		1980-5580	7304-7694	
Vicia sativa			3163-5740	1827-5933
Melilotus				1000-3000
Nabo				1293-5473
Colza				1130-6091

**Tabla 2:** Especies utilizadas como CC y productividad (Kg ha<sup>-1</sup>) de las mismas en función de zonas agroclimáticas (Semiáridas: suelos CRA: 50-80 mm y precipitaciones <700 mm; Subhúmeda: suelos CRA 100 y 200 mm y precipitaciones >700 y <900 mm; Húmeda, suelos CRA >200 mm y >900 mm precipitación).

cobertura (Rufo, 2003), lo cual podría llevar en el largo plazo al empobrecimiento de los suelos.

Una alternativa para incrementar el aporte de residuos en sistemas de agricultura continua con alta participación de soja es la incorporación de cultivos de cobertura (Tabla 1).

### Especies utilizadas y productividad de las mismas provenientes de los resultados presentados en este libro:

La generación de biomasa depende en gran medida de la especie y del cultivar utilizado (Carfagno, 2008). En estos trabajos se demostró que la producción de biomasa de las gramíneas fue claramente superior al de las leguminosas (Tabla 2), tal como los resultados obtenidos por varios autores (Neal et al., 2011; Zendonadi dos Santos et al., 2011) quienes comparando diversas especies invernales gramíneas y leguminosas, también encontraron que las primeras duplicaron en producción a las segundas. La biomasa estuvo

positivamente correlacionada con ambos componentes que la definen (eficiencia de uso de agua, EUA), aunque ésta última explicó en mayor medida las diferencias en MS encontradas entre los cultivos.

La fertilización nitrogenada produjo en gramíneas, aumentos en la biomasa influenciando sobre los componentes que los definen: uso consuntivo, eficiencia en el uso del agua y tasa de crecimiento. La fertilización fosforada en las leguminosas no provocó diferencias significativas en la biomasa producida, ni en sus componentes.

### Por qué incluir un cultivo de cobertura en la rotación?

#### a) Aportar cobertura y fijar carbono (C):

Uno de los indicadores más utilizados para evaluar los cambios en la calidad de los suelos es la MO. La importancia de la misma no radica tan solo en la cantidad sino también en su calidad

(estructura y composición) y distribución de fracciones individuales (ácidos húmicos, polisacáridos) que son importantes para mantener la fertilidad y estructura del suelo (Ding et al., 2005).

El aporte de C por parte de los residuos de cultivos es el principal factor que afecta la MO (Hendrix et al., 1998) y consecuentemente las propiedades edáficas relacionadas con el coloide orgánico. Wander y Traina, (1996) comprobaron que los contenidos de MO fueron significativamente mayores cuando se incorporaron CC a la rotación. Por su parte Ding et al., (2005) comprobaron que la inclusión de CC afectó positivamente y en mayor grado las fracciones livianas de la MO.

Algunos trabajos presentados evaluaron el

impacto de la introducción de CC sobre la MO o CO del suelo mostrando en su mayoría un efecto positivo sobre esta variable.

Los cambios en las distintas fracciones de la MO estuvieron ligados al aporte de C al sistema, por lo que el impacto de la inclusión de CC sobre diferentes compartimentos de la MO será mayor en la medida que este forme parte de una secuencia en la que también se incluyan gramíneas de verano (Tabla 3). La inclusión de CC en un planteo de monocultivo de soja será proporcional a la producción de MS que realice, pero es probable que no sea suficiente para enriquecer pools más lábiles de MO a mayores profundidades, al menos en el corto plazo.

Especies	Semiárida	Subhúmeda	Húmeda
Centeno Avena Raigras		Efecto positivo en estas especies sobre el C respecto del testigo	
Trigo			Efecto positivo por la incorporación de CC sobre las secuencias S/S
Triticale	Efecto positivo sobre las fracciones joven y vieja de C		

**Tabla 3:** Aporte de carbono o materia orgánica (%) por los CC en diferentes zonas.

**Tabla 4:** Captura de N ( $Kg\ ha^{-1}$ ) en biomasa del cultivo de cobertura en diferentes especies y zonas evaluadas.

Especies	Semiárida (riego)	Húmeda
Centeno		
Avena		30-117
Raigras		33-100
Cebadilla		29-98
Cebada		26-106
Avena +Vicia		18-117
Vicia villosa	79-205	
Vicia sativa		56-188
Melilotus		
Nabo		17-131
Colza		40-172

#### b) Capturar nutrientes móviles como nitrógeno (N) y azufre (S):

La captura de  $NO_3$  durante el largo periodo de barbecho que tiene lugar entre cultivos de verano (marzo-octubre) es otro de los objetivos perseguidos al establecer CC, minimizando la lixiviación durante el otoño, principalmente en suelos arenoso franco y franco arenoso de la Planicie Medanosas (Fernández et al., 2005). En relación con este objetivo, Strock et al., (2004) reportaron que las pérdidas de N de  $NO_3$  por lixiviación en un suelo moderadamente drenado se redujeron en un 13 % en una rotación maíz-soja cuando un cultivo de centeno se implantó durante el periodo de barbecho. Nyakatawa et al., (2001) comprobaron sobre un Paleudult típico entre 23 y 82 %

menos de NO<sub>3</sub> bajo CC que bajo barbecho desnudo. Similares resultados fueron obtenidos por Quiroga et al., (1999) quienes trabajando sobre Haplustoles énticos determinaron entre 70 y 83% menos de NO<sub>3</sub> bajo verdeo de invierno. Este efecto puede resultar de suma importancia si consideramos que al incrementarse la proporción de residuos con menor relación C/N (soja) puede resultar menor la inmovilización por parte de microorganismos. La relación C/N de los rastrojos fluctúa entre 30/1 (leguminosas) y 80/1 (gramíneas), dependiendo directamente del cultivo en cuestión (Tisdale, 1991).

Al respecto estudios muestran que además de la absorción por parte de los CC, el contenido de NO<sub>3</sub> también estuvo influenciado por la inmovilización de la fauna microbiana durante etapas tempranas de descomposición de los residuos (Sainju et al., 1993).

Boccolini et al., 2010, señala claramente que, vicia influencia sobre la dinámica del N desde las funciones microbiológicas de mineralización. Así los incrementos temporales en la actividad nitrificante potencial por la utilización de vicia podrían permitir una disminución en el uso de fertilizantes nitrogenados o aumentar los pools de N disponible del sistema (Tabla 4).

En definitiva en zonas húmedas el N que es retenido en la MO al finalizar el cultivo, o el que es retenido por la biomasa de un CC son formas de inmovilizar nitratos, evitando su lixiviación. Sin embargo, lo anterior es un efecto de corto plazo: rápidamente el N retenido se mineraliza y así puede, de todos modos, perderse por lixiviación. Esto ocurre si no existe una sincronización entre la liberación del N mineralizado y la absorción del mismo por vegetación (pudiendo ser cultivos, de interés económico, de cobertura o malezas), además de existir precipitaciones que facilitan su desplazamiento (Tabla 4).

Nos obstante en zonas semiáridas la liberación de nutrientes por parte del CC al cultivo sucesor podría reducir los requerimientos de fertilización nitrogenada y fosforada, Arguello et al., (2011). Este fenómeno refleja la dificultad de sincronizar la oferta de N por la mineralización de los residuos de los CC con los requerimientos del cultivo sucesor, tal lo señalado por Ranells y Wagger, (1996). La liberación de N durante el periodo de crecimiento del cultivo de verano por parte de los

residuos del CC además de incrementar la biodisponibilidad de N para el cultivo de maíz, permitiría reducir el riesgo de lixiviación de N que podría producirse en suelos de textura arenosas (Fernández et al., 2010).

**c) agua disponible al momento del secado del CC y eficiencia en el uso del agua (barbechos largo):**

Fernández et al., (2005) y Duarte, (2002) trabajando sobre Haplustoles comprobaron que en años con precipitaciones normales durante barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua (CRA) los CC aumentaron la eficiencia del uso del agua para capturar carbono, con respecto al testigo (sin CC) (Tabla 5).

Esto debido a que normalmente las precipitaciones exceden durante un barbecho largo la CRA y consecuentemente una parte sustancial de la misma se pierde infiltrándose en profundidad. Pero, se reconoce que el consumo hídrico de estos durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente. Al respecto, Fernández et al., (2005) comprobaron

**Tabla 5:** Agua disponible (mm) al momento del secado del CC para las diferentes especies y zonas evaluadas.

Especies	Semiárida	Subhúmeda	Húmeda
Centeno	36-50	10-120	
Avena		9-90	96-116
Raigras		10-90	81-100
Cebadilla			107-114
Cebada			86-119
Avena +Vicia		60-81	55-139
Triticale		56-60	
Vicia villosa		100	
Vicia sativa		36-78	75-103
Nabo			93-129
Coiza			97-139
Testigo		40-170	125-170

**Tabla 6:** Eficiencia de barbecho (%) al momento del secado del CC para los testigo y promedio de especies y zonas evaluadas.

VARIABLE	Semiárida	Subhúmeda
Eficiencia de barbecho	12-17	16-19
Eficiencia de barbecho cubierto		74-110



una reducción importante en los contenidos de agua por efecto de CC, principalmente Ray grass.

Por otra parte Álvarez et al., (2005) en Hapludoles típicos del Noroeste bonaerense no encontraron diferencias en rendimiento de soja establecida sobre CC con diferentes largo de barbecho, comprobando además bajas eficiencias de barbecho (11%) en todos los tratamientos evaluados (Tabla 6).

#### d) Mejorar la eficiencia de uso de agua:

La eficiencia de uso de agua relacionada con la producción de materia seca o rendimiento con la evaporación o uso consuntivo (Tabla 7). La eficiencia de uso de agua, varía entre tipo de especies, composición de biomasa y características de uso de agua. Además varía en función de la demanda atmosférica (Andrade y Gardiol, 1994). El incremento de productividad de la tierra es clave como herramienta para responder a una demanda creciente de alimentos y mejorar la ecuación económica del productor agrícola. La implementación de más de un cultivo por año fue uno de los cambios de mayor impacto sobre la rentabilidad de la empresa agropecuaria de la región pampeana porque permite un uso más eficiente de los recursos (radiación, temperatura y lluvias) con el consiguiente efecto en la productividad del suelo (Caviglia, 2009).

#### e) Costo Hídrico de incluir un CC:

Definido como la diferencia entre la especie evaluada y el testigo del ensayo, normalmente rastrojo de un cultivo de verano.

En función de los trabajos presentados en este libro sería más adecuado hablar de CH que de UC del cultivo, ya que lo que se observa al momento del secado del cultivo de cobertura son diferencias entre 0 y 100 mm con el testigo, los cuales no coinciden con los UC citados en el mismo. Unas de las explicaciones posibles sería la baja eficiencia de barbecho de los testigos o secuencias de cultivo sin CC. Estos resultados son confirmados indirectamente en (centro Córdoba, Bueno Aires; Santa Fé, San luís, La Pampa) (Tabla 8).

#### f) Control de malezas:

Los CC pueden reducir la densidad y biomasa de malezas en sistemas de siembra directa. La

habilidad de los cultivos de cobertura para suprimir el crecimiento de las malezas esta relacionado con la cantidad de biomasa que los mismos producen (Liebman y Davis, 2000) y/o con la liberación de sustancias inhibitorias (Mohler y Teasdale, 1993; Teasdale, 1996). Existen numerosos mecanismos responsables del efecto de los CC sobre las poblaciones de malezas entre los que se destacan la reducción en la intersección de luz (efecto de sombreo), consumo de agua, competencia por nutrientes, cambios en la temperatura del suelo o impedimentos físicos a la emergencia de las plántulas (Fisk et al., 2001). En algunos casos esto permitiría disminuir el número de aplicaciones de herbicidas previo a la siembra del cultivo que sigue en la rotación y o disminuir las dosis de postemergencia (Teasdale, 1996). También los CC pueden contribuir de manera significativa en el control de malezas en planteos de agricultura orgánica. En estudios realizados en otras regiones se reportan reducciones de la población de malezas entre 30 y 90 % dependiendo del sitio y año considerado (Mischler et al., 2010; Zotarelli et al., 2009).

#### Efecto rotación:

Ruffo, (2003) propone la inclusión de CC en la rotación maíz/leguminosa/soja/ gramínea para sistemas de producción de la Región Pampeana. En este caso la rotación recomendable puede ser centeno o avena/ soja-vicia o trébol/maíz. La presencia de una gramínea invernada sembrada luego

**Tabla 7:** Eficiencia de uso de agua (kg MS mm<sup>-1</sup>) al momento del secado de los CC en las diferentes especies y zonas evaluadas.

Especies	Semiárida	Subhúmeda	Húmeda
Centeno	20-80	16,-52,8	37-54
Avena		12-185	
Raigras		5,2-21,8	
Triticale	15-19	56-81	
Vicia villosa		40-45	
Vicia sativa		18-26	

**Tabla 8:** Costo hídrico (mm) en las diferentes zonas de producción.

VARIABLE	Semiárida	Subhúmeda	Húmeda
Costo hídrico	15-30	10	60-110

de la cosecha de maíz es útil para absorber nitratos residuales, aportar C e incrementar la cobertura de suelo durante el período invernal. La inclusión de una leguminosa entre la soja y el maíz aporta C, genera cobertura y reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado para el maíz.

En una rotación trigo - soja 2<sup>o</sup>/ maíz / soja 1<sup>o</sup>, el mismo autor señala que los CC pueden ser incluidos entre el maíz y la soja de 1<sup>o</sup> y/o entre la soja 2<sup>o</sup> y el maíz. Al igual que para la rotación anterior puede resultar recomendable incorporar una gramínea entre el maíz y la soja 1<sup>o</sup> y una leguminosa entre soja 2<sup>o</sup> y el maíz.

La información referida a CC es muy escasa en la región, resultando pertinente su evaluación no solo en cuanto a la influencia en las propiedades de suelo, sino también en la respuesta de los cultivos componentes de la rotación.

Resultados preliminares de experiencias conducidas en la EEA INTA General Villegas (Álvarez et al., 2006) y en la EEA INTA Anguil (Fernández et al., 2005) muestran que “los CC pueden realizar un significativo aporte al balance de C en sistemas agrícolas continuos. No obstante se han comprobado diferencias en la eficiencia de captación de carbono y de nitrógeno entre distintas especies y cultivares utilizados como CC, y en la influencia que estos poseen en diferentes condiciones de sitio (tipo de suelo, precipitaciones). Al respecto en la Tabla 1 se indican alguno de los efectos buscados con la inclusión de CC en suelos de distintas características.

La falta de efecto de los CC sobre algunas propiedades físicas del suelo, que son comúnmente sensibles a cambios en el manejo, como por ejemplo, estabilidad estructural o distribución de tamaño de poros podría atribuirse al momento de la rotación en el cual se realizó el muestreo (siembra de CC). En Manfredi, se observó efecto positivo de la rotación Soja/ Maíz/ CC sobre la Soja /Soja ambas en siembra SD. Sobre la estabilidad de agregados en los primeros 5 cm de suelo y en la infiltración.

La mineralización del P de los residuos siguió patrones similares a los de la descomposición. Sin embargo, las tasas de mineralización tuvieron un ordenamiento diferente al de las tasas de descomposición, sugiriendo que los procesos de descomposición y mineralización de P son diferentes, aunque están estrechamente asociados. Los CC

liberaron el 64 % del P que absorbieron durante su crecimiento en el período Diciembre-Marzo (valor promedio para las tres especies estudiadas).

Estos resultados concuerdan con Waggener, (1989) quien encontró que después de 8 semanas del secado de los CC, el 50 % del N proveniente del residuo de un cultivo de centeno fue liberado para el cultivo subsiguiente. Al respecto Fernández et al., (2012) en la región semiárida pampeana, hallaron valores superiores, comprobaron que el 80 % del N del CC fue liberado desde el secado en julio a la cosecha del maíz.

En las regiones semiáridas-subhúmedas dentro de las especies estudiadas, el centeno fue la que mostró mejor adaptación a las condiciones del sitio, en términos de producción de biomasa y mantenimiento de la cobertura del suelo. Este aspecto es de suma importancia, tanto desde un punto de vista ambiental como productivo: el aporte de residuos es la fuente de MO de los suelos que permite conservar su capacidad productiva y simultáneamente, mantener el suelo cubierto, reduciendo las pérdidas de agua por evaporación e incrementando la eficiencia de uso de las precipitaciones.

Es importante resaltar que los períodos analizados en la mayoría de las contribuciones de este libro se caracterizaron por una marcada sequía en algunos años, lo cual pudo haber condicionado los resultados de diferencias significativas sobre propiedades de suelo o rendimiento de los cultivos.

El efecto sobre el rendimiento, la mayoría de los trabajos ha sido igual o superior al testigo. Solo en algunos casos donde las lluvias fueron muy inferiores a lo normal se comprobaron menores rendimientos sobre coberturas, que sobre el testigo.

En síntesis: Los sistemas agrícolas actuales involucran prácticas tendientes a mantener y aumentar la productividad de los cultivos. Éstas consisten en incrementar la cantidad de residuos de cultivos en superficie mediante labranzas conservacionistas, y manejo eficiente de nutrientes y agua. El impacto que produce un cambio de uso de suelo es de magnitud variable según el clima y tipo de suelo. La evaluación de propiedades edáficas más sensibles a los efectos del manejo permite, anticipar el sentido de los cambios que ocurrirán en los suelos (degradación, conservación o recuperación). La magnitud de estos cambios

**Tabla 9:** Presenta los sitios, precipitaciones y temperaturas medias históricas, tipo de suelo y objetivos y autores de los estudios presentados en esta publicación.

Sitio	precipitaciones	Textura (L+A)/suelo	objetivo	Autores
Paraná	1100/18	Argiudol acuílico Franco arcilloso	Presentar y discutir aspectos relacionados con la inclusión de CC invernales en los sistemas agrícolas del centro-oeste de Entre Ríos, en base a la experiencia de cuatro años de experimentación en la temática.	Caviglia y col.
Río IV	642/17	Haplustol éntico Franco limoso	Evaluar la introducción de los CC como práctica agroecológica a fin de mejorar las condiciones edáficas, aumentar la agrobiodiversidad y reducir la incorporación de insumos.	Alesandria y col.
Anguil	650/17	Haplustol éntico Franco arenoso	Evaluar el efecto sobre la productividad de maíz, eficiencia de uso de agua y nitrógeno	Fernández y col.
Pergamino	973/16.5	Argiudol típico Franco limosos	Evaluar la biomasa aérea producida, el Nm capturado y el consumo de agua al secado de diferentes CC en la rotación soja-maíz bajo SD en la Pampa Ondulada y 2) evaluar el efecto de los CC sobre el rendimiento de soja y maíz.	Restovich y col.
Manfredi	1100/17	Haplustol éntico Franco limosa	Evaluar la producción de biomasa aérea y el uso consuntivo de agua del triticale ( <i>x Triticosecale Wittmack</i> ) usado como cultivo de cobertura invernal y los efectos de la inclusión del mismo en sistemas de agricultura continua sobre propiedades edáficas en un Haplustol éntico de la RCC.	Basanta y col.
Las parejas/santa fe	940/17	Argiudol típico franco limoso	Evaluar la eficiencia de barbecho entre los cultivos de maíz y soja 1ª dentro de una rotación agrícola Trigo/soja 2ª - Maíz-Soja 1ª con y sin un CC de avena	Redly
Bs As UBA	1300/18	Argiudol vértico Franco arcillo	Analiza la capacidad del raigrás como CC para reducir el contenido de nitratos residuales, luego de un cultivo de maíz fertilizado con nitrógeno y sometido a estrés hídrico.	Rimski-Korsakov y col.

San Luis	600/17	Haplustol éntico Franco arenosa	Evaluar la eficiencia de almacenamiento de agua en barbechos invernales en dos ambientes representativos de los sistemas de producción del este de San Luis, y y Determinar el costo hídrico de la inclusión de CC invernales.	Saenz y Colazo
Oliveros	1100/18	Argiudol típico franco limoso	Evaluar los efectos a largo plazo de la descompactación mecánica y la inclusión de gramíneas en lotes degradados.	Salvagioti y col.
Coronel Suárez	770/14	Argiudol típico Franco	Evaluar el costo hídrico a la siembra del cultivo de verano al introducir previamente un CC y de simular la dinámica del agua a lo largo del ciclo de ambos cultivos.	Sa Pereira y col.
Gral. Villegas	820/17	Hapludol thapto argico Franco arenoso	Evaluar la producción de materia seca de distintas especies de gramíneas utilizadas como CC (ii) determinar su incidencia sobre los contenidos de agua útil y rendimiento del cultivo de soja posterior, (iii) evaluar el impacto de los CC sobre propiedades físicas y químicas del suelo y (iv) cuantificar las tasas de descomposición y de mineralización de fósforo de los residuos de los CC	Scianca y col.
Hilario Ascasubi	450/13	Haplustol petrocalcico/énticos Franco arenoso	Determinar el aporte de carbono y nitrógeno que realiza un CC de vicia villosa y la modificación que produce en el balance de agua y nutrientes para el cultivo siguiente a medida que se demora su secado.	Vanzolini y col.
Cañada de Gómez	1060/17	Argiudol acuicos/típico Franco limoso	El objetivo general del Evaluar el impacto de la inclusión de distintas especies de CC invernales sobre la productividad del cultivo de soja, en secuencias soja-soja y rotación.	Capurro et al.
Marcos Juárez	850/17.5	Argiudol típico Franco limosos	Evaluar el efecto de la incorporación de diferentes especies y manejo (fertilización, fecha se siembra y densidad) en el consumo de agua y la EUA.	Cazorla y col.

9 de julio	1200/17	Hapludol típico Franco arenoso	Evaluar la productividad, el uso y la eficiencia de uso de agua en sistemas de monocultivo de soja	Rillo y col.
Trenque Lauquen	921	Hapludol éntico Franco/Franco arenoso	Evaluar el efecto de la inclusión de CC y de sus momentos de secado, sobre la disponibilidad de agua del suelo, y evaluar la eficiencia de barbechos de distinta duración en ambientes Subhúmedos y Semiáridos de la Región Pampeana.	Carfagno y col.
Dorila	827	Haplustol éntico Franco arenoso		

medidos con indicadores físicos, químicos o biológicos depende del régimen hídrico de los suelos, y de los efectos del sistema de labranza y de la secuencia de cultivos. Es necesario considerar la magnitud del impacto de los sistemas de labranza y del clima sobre los procesos relacionados con el estado actual del suelo (estructura, capacidad de retención de agua, disponibilidad de nutrientes, etc), el cual daría pautas de manejos sustentables.

Por lo expuesto puede inferirse sobre la necesidad de considerar, en futuros estudios, cierto orden jerárquico entre los factores que inciden sobre la productividad de los cultivos y propiedades de Molisoles de las regiones semiárida, subhúmeda y húmeda pampeana. No resultaría conveniente realizar estudios sobre nutrición de los cultivos o evaluar los efectos del manejo (Ejemplo sistemas de labranza, rotaciones) sin considerar el régimen hídrico de los suelos. El mismo no sólo varía en la región a través del gradiente de precipitaciones (Este- Oeste) sino que es además fuertemente condicionado por el espesor y composición granulométrica de los suelos, pudiendo variar significativamente entre lotes de un mismo productor Fontana et al., (2006)

Estudios de esta naturaleza resultaran básicos para el desarrollo de una agricultura de precisión y manejo sustentables de los recursos en la región.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez C y C Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre las propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas: Jornada Profesional Agrícola 2006.
- Andrade FH y JM Gardiol. 1994. Sequía y producción de los

cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín técnico 132. EEA INTA Balcarce.

- Arguello J, J Saks, R Fernández y E Noellemeyer. 2011. Evaluación de la viabilidad de los cultivos de cobertura en la región semiárida pampeana. Tesis de grado, Fac de Agronomía UNLPam.
- Carfagno P. 2008. Cultivos de Cobertura en Agricultura de Secano en Región Pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de suelos INTA castelar. <http://www.insuelos.org.ar/informes/CultivoSecano.pdf>. Consultado 14/06/2010.
- Caviglia O. 2007. Intensificación de la secuencia de cultivos en Entre Ríos: balance de carbono y aprovechamiento de recursos. En Caviglia OP, Paparotti O.F., Sasal MC. 2007. (Eds.). Agricultura Sustentable en Entre Ríos. Ediciones INTA. Buenos Aires. p. 149-158. ISBN 978-987-521-253-4
- Ding G, Liu X, Herbert S, Novak J, Dula A y B Xing. 2005. Effect of cover crop management on soil organic matter. Geoderma. Article in Press.
- Duarte G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región humedad argentina. In Manual práctico para el cultivo de girasol. Edictores Díaz-Zorita M. y Duarte G., 2002. 313 pp.
- Fernández R, J Saks, J Arguello, A Quiroga y E Noellemeyer. 2010. Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la Región Semiárida Pampeana?
- 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 (en prensa)
- Fisk J, Hesterman O, Shrestha A, James J, Kells, Richard R Harwood, John M, Squire y C Craig. Sheaffe 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn Agronomy Journal 93:319-325.
- Fontana F, M Paturlane, M Saks y A Quiroga. 2006. Efecto del espesor de suelo sobre las propiedades edáficas y rendi-

miento de trigo en la región semiárida pampeana. Ed en Aspectos de la evolución y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Publicación técnica N° 66 de INTA Anguil. pp 15-22.

- Hendrix, PF, Franzluebbbers AJ y DV McCracken. 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 AS Davis. 2000. Integration of soil, crop, and weed management in low- external- imput farming systems. *Weed Res.* 40: 27-47.
- Mischler R, S Duiker, W Curran y D Wilson. 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. *Agron. J.* 102:355-362.
- Mohler CL y JR Teasdale. 1993. Response of weed emergence to rate of vicia villosa Roth and secale cereale L. residue. *Weed Res.* 33:487-499
- Neal J, Fulkerson W, Hacker R. 2011. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and déficit irrigation. *Aust. Agricultural Water Management* 98: 759-774.
- Nyakatawa E, Reddya K y K Sistani. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil. Till. Res.* 58: 69-79.
- Nyakatawaa E, Reddya K y K Sistani. 2001. Tillage, cover cropping, and poultry litter effects on selected soil chemical properties. *Soil. Till. Res.* 58: 69-79.
- Quiroga A, Ormeño O, Bono A, Rodríguez N, Montoya J y F Babinec. 1999. Aspectos del manejo de suelo y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. *Bol. Tec.* N° 63 EEA Anguil.
- Ramírez y Porsmann 2007. evolución de la superficie de los 4 cultivos en la región pampeana y extrapampeanas. CD.
- Ranells N y M Wagger. 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88, 777-782.

- Rufo ML. 2003: Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. *Actas XI Congreso de AAPRESID:* 171-176.
  - Sainju UM, Singh BP y W Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90: 511-518.
  - Satorre E. 2003 Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. *Las Ciento y Una “Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne. Bolsa de Cereales de Buenos Aires (Ed). Pp 37-38.*
  - Strock J, Porter P y M Russelle. 2004. Cover cropping to reduce nitrate loss through subsurface drainage in the northern U.S. Corn Belt. *J. Environ.Qual.* 33: 1010-1016
  - Teasdale JR. 1996. contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems *J. Prod: Agri.* 9: 475-479.
  - Teasdale I, Devine T, Mosjidis J, Bellinder R y C Beste. 2004. Growth and development of hairy vetch cultivars in the Northeastern United States as influenced by planting and harvesting date. *Agronomy Journal* 92:1266-1271.
  - Tisdale S. 1991. Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. México, Editorial Limusa.
  - Wagger M. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till Corn. *Agron. J.* 81: 533-538.
  - Zendonadi dos Santos N, Dieckow J, Bayer C, Molin R, Favaretto N, Pauletti V y J Piva. 2011. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. In *Southern Brazil Soil & Tillage Research* 111: 208-218.
  - Zotarelli L, L Ávila, JM Scholberg y BJR Alves. 2009. Benefits of vetch and rye cover crops to sweet corn under no-tillage. *Agronomy Journal*, 101(2):252-260.
-

