

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

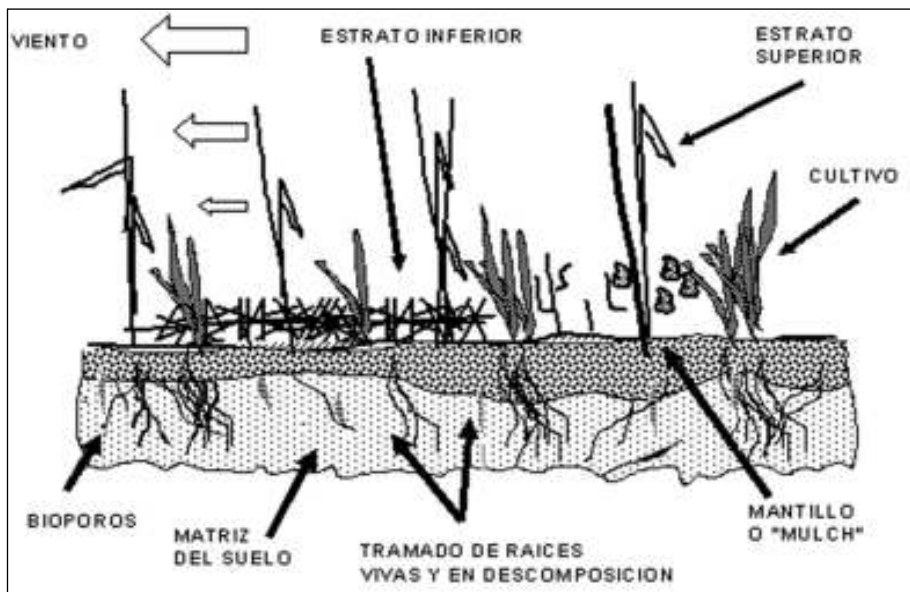


Figura 1: El ambiente del suelo bajo siembra directa permanente.

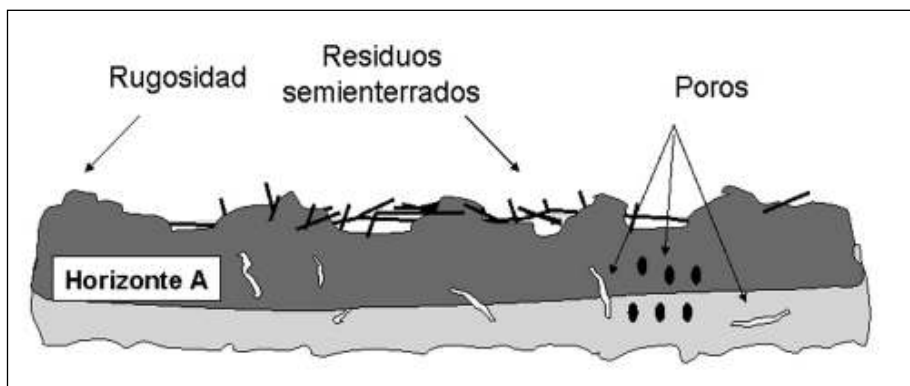


Figura 2: El ambiente del suelo bajo labranza.

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^a dentro de una rotación agrícola Trigo/soja 2^a-Maíz-Soja 1^a 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⁻¹) 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^a- maíz - soja 1^a 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⁻¹ de semilla y un distanciamiento entre surcos de 19 cm. Se fertilizó con 70 Kg ha⁻¹ de superfosfato simple + 70 Kg ha⁻¹ de yeso, incorporado a la siembra totalizando 6 Kg ha⁻¹ de fósforo y 27 Kg ha⁻¹ de azufre.

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

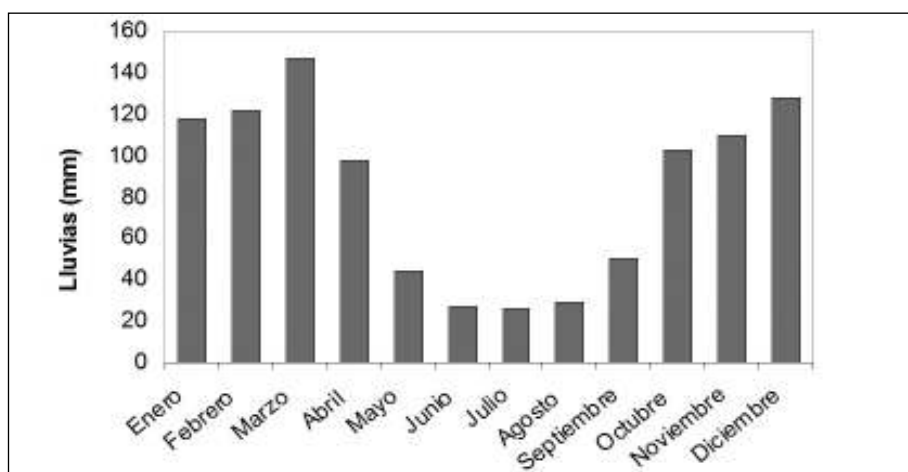


Figura 1: Distribución mensual de las precipitaciones - Las Parejas (Santa Fe).

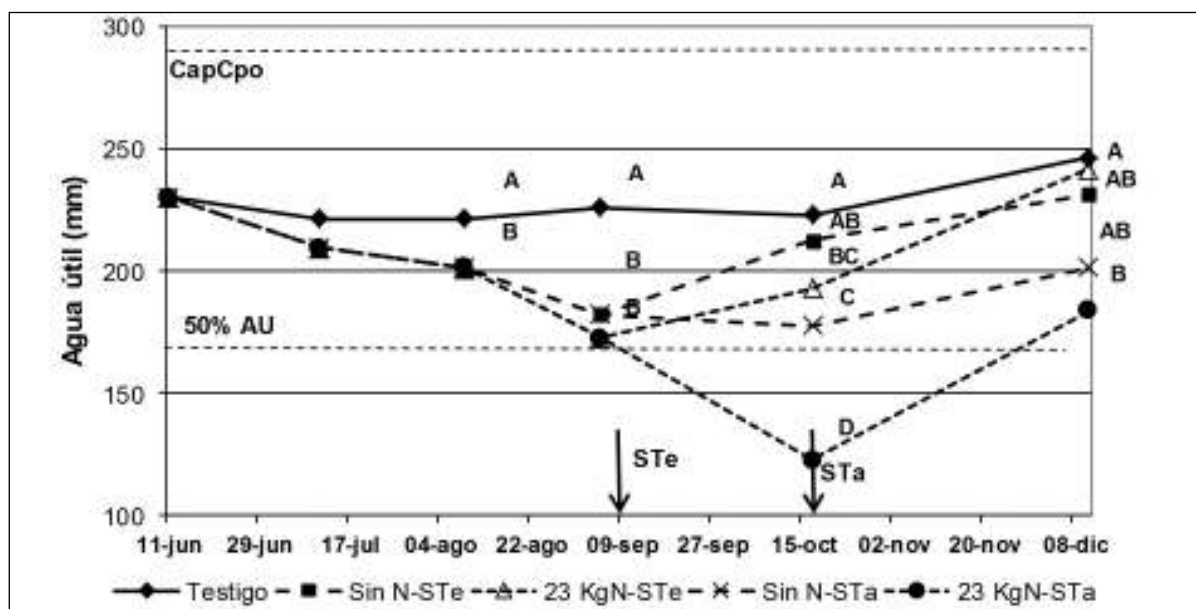


Figura 2: Evolución del agua útil o - 200 cm durante el barbecho para los distintos tratamientos.

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⁻¹), 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⁻¹.

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

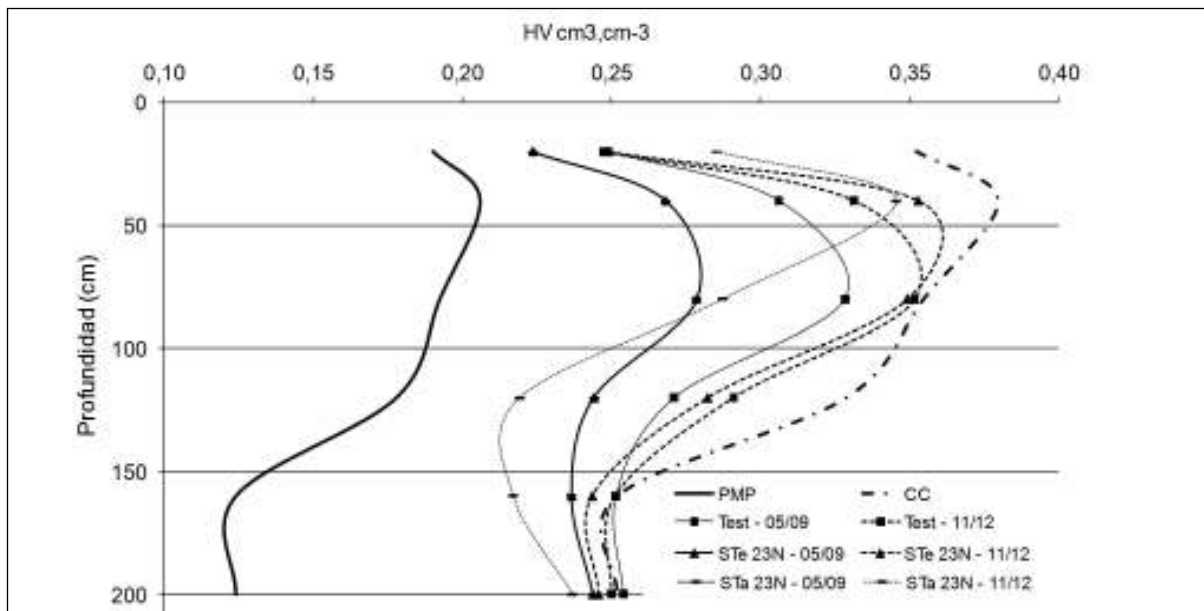


Figura 3: Comparación Con N: secado temprano (05/09) vs tardío (17/10).

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

Tratamiento	H ^v volumétrica inicial (mm)	H ^v 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 ^v vol final (mm)	MS aérea (Kg.ha ⁻¹)	EUA* (Kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)	Dif con Test (mm)	EUA** (Kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)
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° Vol) inicial y final y eficiencia de barbecho con y sin la corrección por la evapotranspiración real (ET_r) 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⁻¹ 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⁻¹.mm⁻¹ 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⁻¹.mm⁻¹. Por ejemplo, el tratamiento de secado temprano sin N tuvo una producción de 2769 Kg ha⁻¹ 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⁻¹.mm⁻¹.

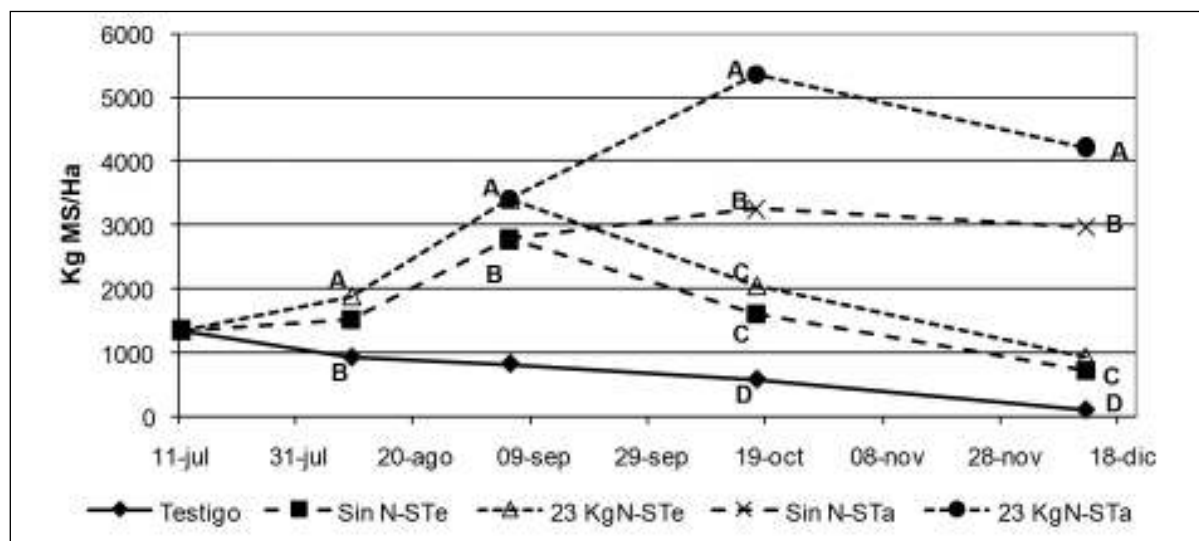


Figura 4: Evolución de la producción de materia seca aérea de avena durante el barbecho.

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⁻¹, es decir, 26 kg MS ha⁻¹ por kg de N aplicado. Para la segunda fecha de secado las diferencias entre estos tratamientos fueron mayores (2100 Kg ha⁻¹), lo cual corresponde a 91 Kg ha⁻¹ 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.

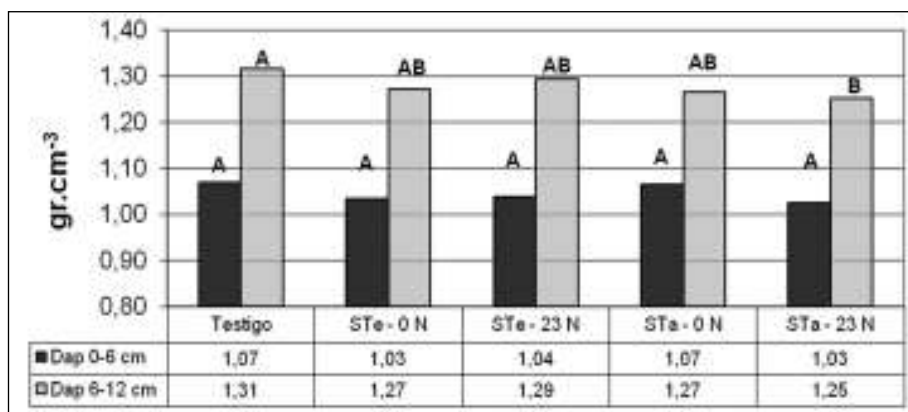


Figura 5: Densidad aparente (Dap) medida a los 0-6 cm y 6-12 cm luego del CC.

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



Foto 1: Macroporos de raíces.

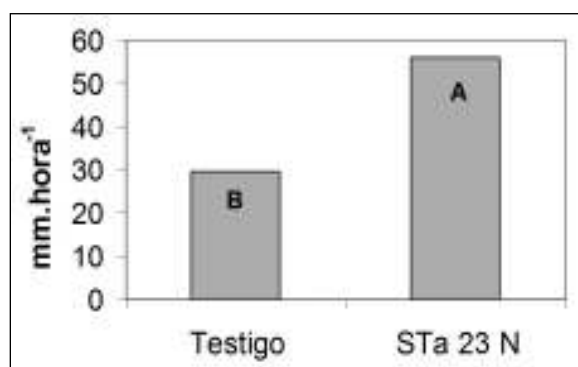


Figura 6: Infiltración en suelo saturado al 01-05-07 en dos tratamientos contrastantes ($p < 0,05$).

STa: Secado tarde - 23N: Con agregado de 23 kg.ha⁻¹ 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⁻¹ a 56,1 mm hora⁻¹. 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⁻¹, lo que resultó en una eficiencia de conversión de 71,3 Kg. MS mm⁻¹ de agua adicional consumida. Estas diferencias sólo pueden explicarse por el bajo contenido de nitrógeno inicial del suelo (42 Kg ha⁻¹), 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⁻¹ 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⁻¹ 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⁻¹ en 137 a 179 días de ciclo respectivamente. Quiroga et al., (2007), midieron producciones de avena de 3500 a 5500 Kg ha⁻¹ de MS en 131 días de ciclo en 30 de Agosto (Prov. Bs. As.) y 1100 a 1400 Kg ha⁻¹ 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⁻¹ y 4921 Kg ha⁻¹ 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⁻¹ en Illinois, USA.

El uso de bajos niveles de fertilización nitrogenada (23 Kg ha⁻¹) 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⁻¹ 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⁻¹.Kg N⁻¹, 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⁻¹, 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 seco, 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⁻¹ 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⁻¹ en el sur y en el oeste de la provincia con texturas arenosas, a 110 - 125 mm m⁻¹.

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⁻¹ (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

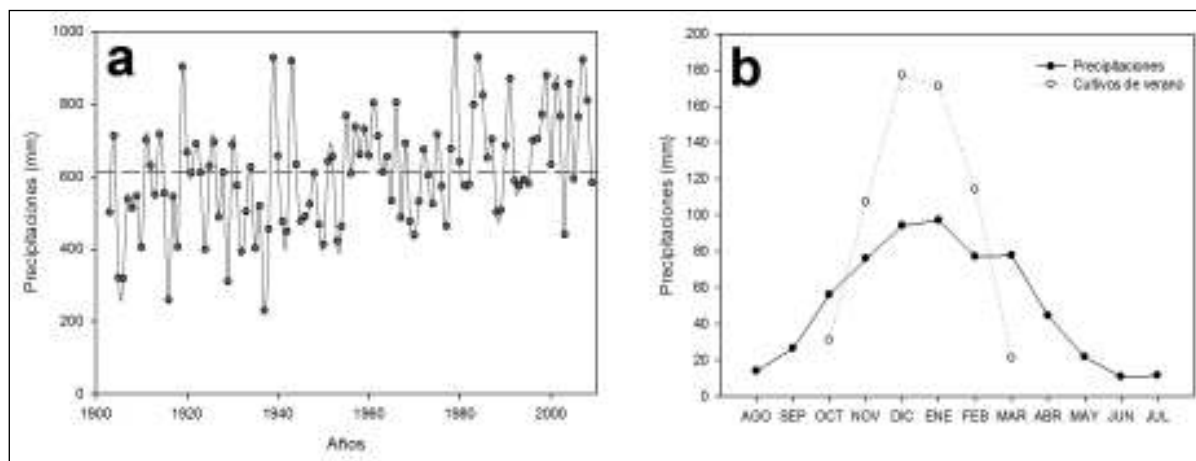


Figura 1: a) Precipitaciones anuales, la línea rayada indica el promedio y b) Precipitación media mensual (1903-2009) y requerimientos hídricos de los cultivos de verano, en Villa Mercedes.

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⁻¹. (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⁻¹ 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⁻¹. 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⁻³ en VM y de 1,4 g cm⁻³ 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).

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

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

Donde AU_i 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⁻¹. 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.

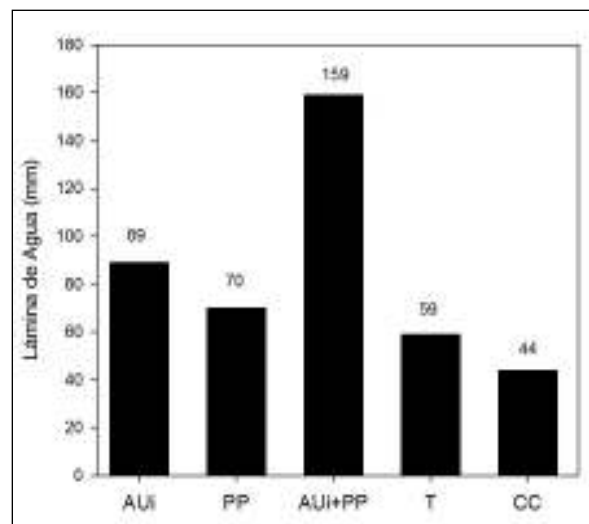


Figura 2: Agua útil inicial (AU_i), precipitaciones durante la experiencia (PP), agua útil inicial más el aporte de las precipitaciones (AU_i+PP), agua útil al finalizar el ensayo en el testigo (T) y en cultivo de cobertura (CC). Ensayo Villa Mercedes.

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⁻¹ 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

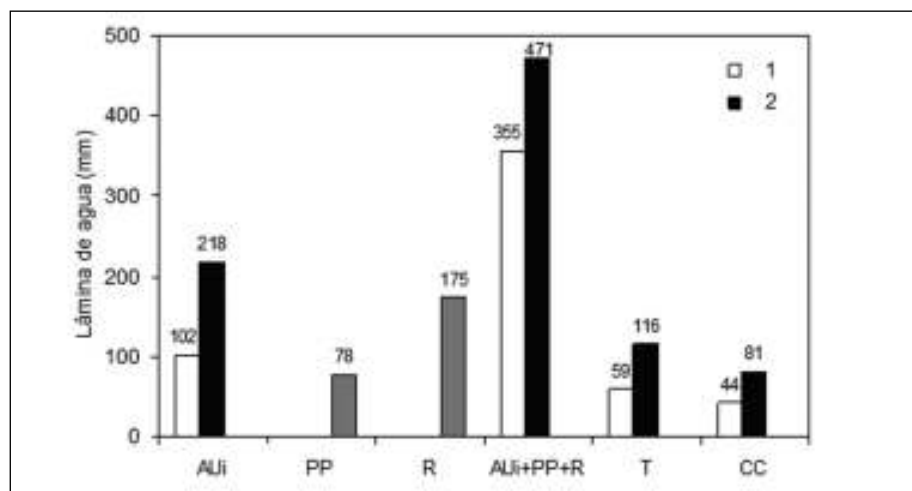


Figura 3: Agua útil inicial (AUi); precipitaciones (PP) y riego (R) durante la experiencia; agua útil inicial más el aporte de las precipitaciones y riego (AUi+PP+R); agua útil al finalizar el ensayo en el testigo (T) y en cultivo de cobertura (CC). Clasificado considerando el perfil hasta 1 (0-1) y 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⁻²). 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-NO₃-) 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⁻¹ y 95.000 pl ha⁻¹, en 2006 y 2007, respectivamente. En ambos años se aplicó fosfato diamónico a la siembra en dosis de 70 kg ha⁻¹. 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⁻¹ 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⁻¹), VMe (3,67 Mg ha⁻¹) y VTe (1,98 Mg ha⁻¹). Estos resultados concuerdan con Waggener (1989) y

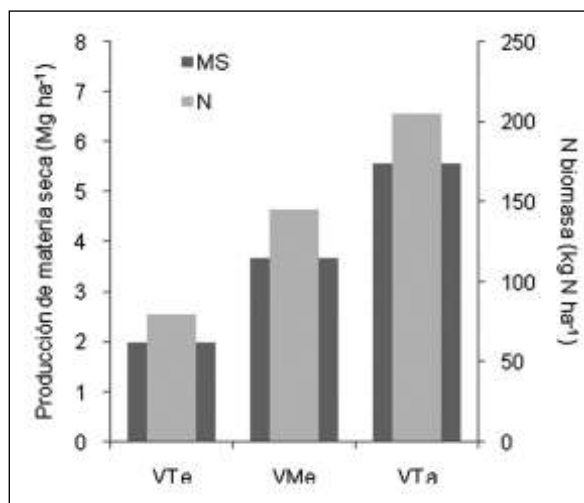


Figura 1: Producción de MS y N acumulado en la biomasa al momento del secado de los CC, promedio de ambos años de experiencia.

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⁻¹.

En 2006 la producción de biomasa de los CC de vicia fue mayor que en 2007 (4,5 Mg MS ha⁻¹ vs. 3,0 Mg MS ha⁻¹). 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⁻¹) que en 2007 (116 kg N ha⁻¹).

El contenido de N fue mayor en VTa (205 kg N ha⁻¹) que en VMe (145 kg N ha⁻¹) y VTe (79 kg N ha⁻¹). 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⁻¹ 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⁻¹ ha⁻¹.

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⁻¹ ha⁻¹.

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⁻¹. 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-

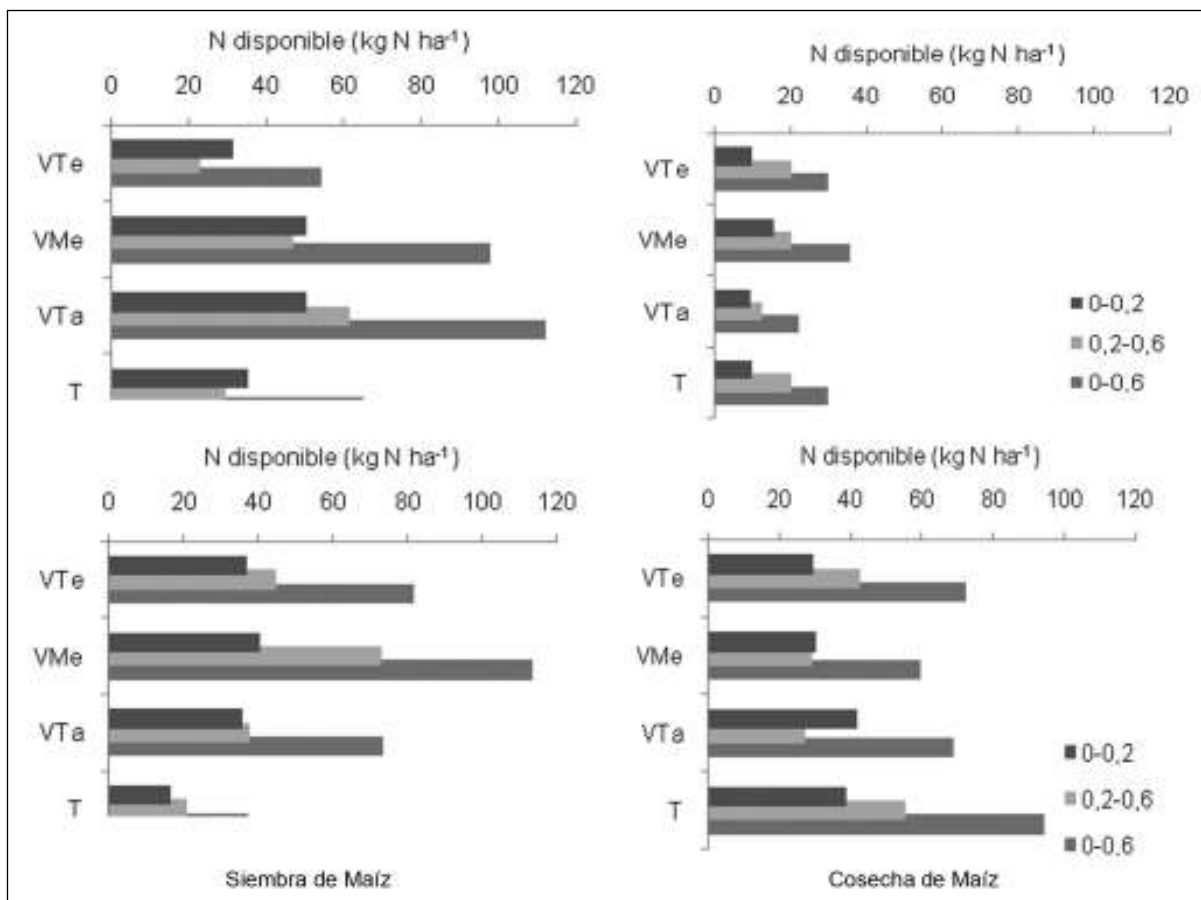


Figura 2: Nitrógeno disponible el momento de la siembra del maíz y a la cosecha del mismo, para los dos años de experiencia.

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

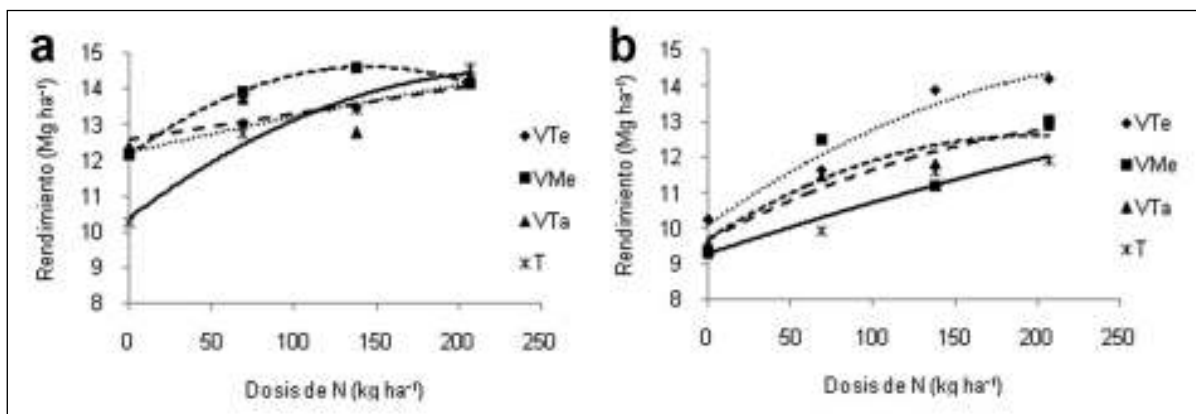


Figura 3: Rendimiento de maíz en función de las dosis de fertilizante nitrogenado agregado para los dos años de experiencia (a, 2006/07; b, 2007/08).

(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⁻¹, 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

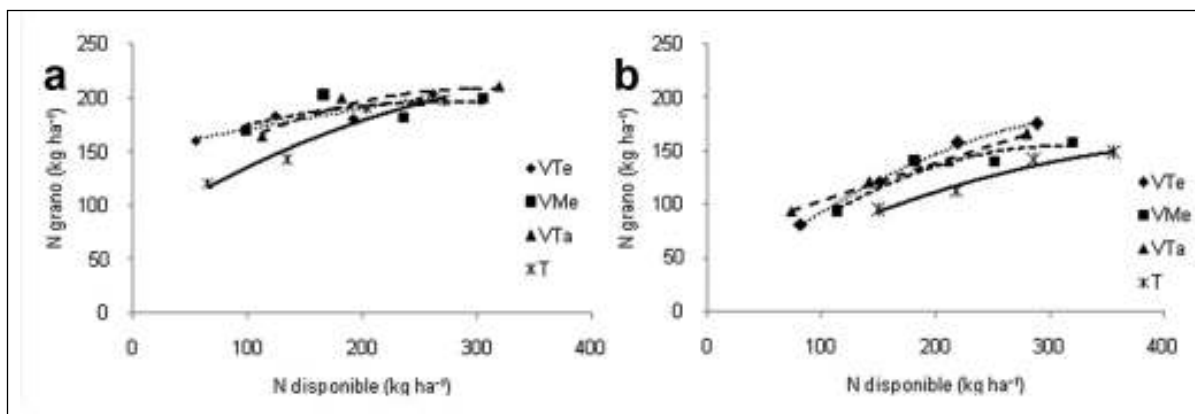


Figura 4: Contenido de N en el grano de maíz con antecesor CC de vicia y antecesor barbecho en los dos años de experiencia (a, 2006/07; b, 2007/08).

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.

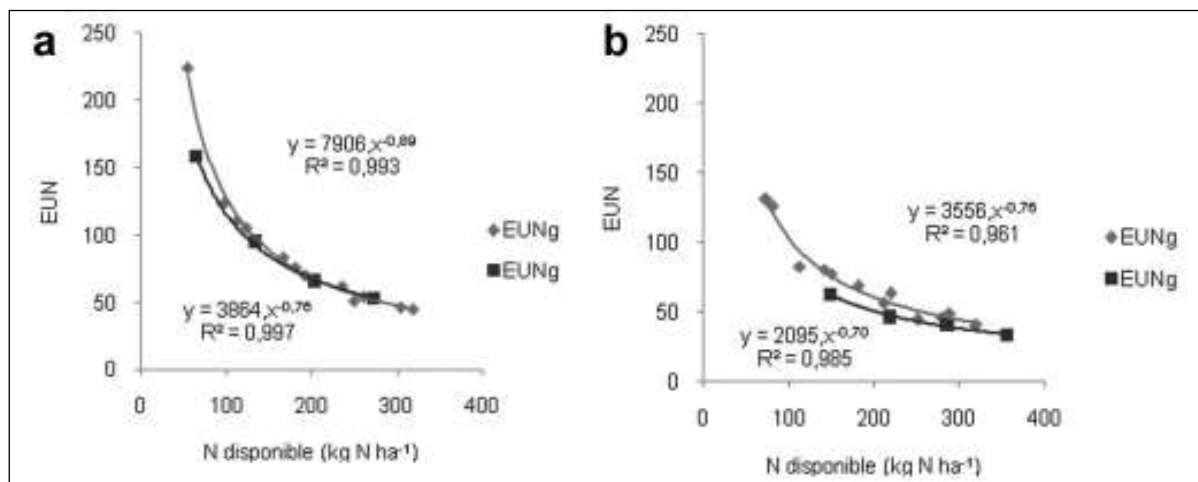


Figura 5: Relación entre la EUNg con antecesor CC de vicia, la EUNg con antecesor barbecho y el N disponible, en 2006-7 (a) y en 2007-8 (b).

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.
