

Cultivos de cobertura para maíz en el centro-sur bonaerense

Fernando Ross*

- Durante las últimas campañas, los cultivos de cobertura (CC) han cumplido un rol estratégico cuando la rotación no es suficiente para alcanzar un nivel de cobertura adecuado.
- Este trabajo evaluó los efectos del momento de supresión del CC avena-vicia sobre la dinámica del agua en el suelo, el balance hídrico y el rendimiento del maíz.
- La supresión en septiembre del CC avena-vicia, sembrado entre fines de febrero e inicios de marzo, logró un nivel de cobertura adecuada y permitió acumular el óptimo de agua útil a la siembra del cultivo de maíz, condiciones que permitieron maximizar su rendimiento.

Introducción

Tres Arroyos se encuentra dentro de la región subhúmeda del centro-sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina), con una precipitación promedio de 758 mm anuales (EEAI INTA Barrow) siendo el agua la principal limitante para la producción de cultivos en secano. El avance tecnológico en el cultivo de maíz ha permitido que este cultivo compita e incluso se destaque dentro de las opciones de cultivos de verano en los suelos someros de la región. El mejoramiento genético del cultivo determinó una mayor tolerancia ante situaciones de estrés. Sin embargo, la interacción entre la genética y el manejo son los pilares del éxito del cultivo en la región. Entre las prácticas de manejo se destaca la fecha de siembra tardía con ajuste de la densidad, el manejo de la nutrición, los avances en el control de malezas, control de insectos y todos los beneficios de la siembra directa.

En sistemas de cultivo bajo siembra directa producir biomasa y lograr elevados niveles de cobertura es esencial para sostener su productividad y sustentabilidad. Los CC cumplen esa función cuando la rotación agrícola no es suficiente para alcanzar un nivel de cobertura adecuado. Otro beneficio significativo de los CC proviene del nitrógeno (N) fijado por especies de la familia leguminosas. El aporte de N vía fijación biológica por el CC permite disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados en cultivos de gramíneas como el maíz o el sorgo. Además, la presencia de cobertura verde retardará la emergencia y competirá con las malezas por la reducción en la temperatura y la extinción de luz en la superficie del suelo. Los beneficios adicionales sobre patógenos y plagas mencionados en la literatura no serán abordados en este trabajo.

La presencia de cobertura sobre el suelo determina una mejora notablemente en la economía del agua. Numerosos trabajos mencionan incrementos en la tasa de infiltración del agua por la presencia de CC (Miller et al., 1990; Folorunso et al., 1992). Por otro lado, también se reduce la temperatura en la superficie del suelo y con ello la pérdida de agua por evaporación. Además, la cobertura genera rugosidad sobre la superficie del suelo

limitando la acción del viento sobre la evaporación y la erosión. Sin embargo, estos efectos sobre la economía del agua son máximos en las capas superiores del suelo haciéndose nulos por debajo de 40 cm desde la superficie. Por estas razones, es esperable que los beneficios en la economía del agua por la presencia de cobertura fuesen más importantes cuando menor es la profundidad efectiva del suelo.

Por otro lado, los beneficios en la economía del agua serán mayores cuanto mayor sea la biomasa aportada. Sin embargo, la biomasa aportada por el crecimiento de los CC supone un costo hídrico. Entonces, los beneficios aportados por los CC tienen un costo que va más allá de su implantación y cuidado. Para que la reducción del agua en el perfil no signifique una menor productividad del cultivo principal debemos conocer los principales aspectos de su dinámica en el suelo. En este trabajo propusimos evaluar los efectos del momento de supresión (MS) del CC avena-vicia sobre: a) la dinámica del agua en el suelo y el balance hídrico del cultivo principal (maíz), b) el rendimiento del cultivo de maíz, y c) la respuesta a la fertilización nitrogenada del maíz.

Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en la Chacra Experimental Integrada de Barrow en un Paleudol petrocálcico, cuya característica principal es la presencia de una capa de carbonato de calcio limitando la profundidad efectiva a 60 cm. Se establecieron experimentos en las campañas agrícolas 2012/13, 2013/14, 2014/15 y 2015/16. La ubicación de los experimentos difirió entre años (**Tabla 1**) por lo cual los resultados y el análisis no son de carácter acumulativo.

La siembra de maíz se realizó con una sembradora experimental neumática Baumer, con surcos distanciados a 52.5 cm, con una densidad de 4 semillas m⁻². Se fertilizó con 70 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico [18-46(20P)-0] a la siembra.

Para cada año la supresión del cultivo de cobertura se realizó en tres momentos a partir de mediados de agosto

* EEA INTA Barrow, Ruta 3 km 488, Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina
Autor de contacto. Correo electrónico: ross.fernando@inta.gob.ar

Tabla 1. Detalles generales de manejo de cultivos de cobertura y maíz en los experimentos realizados entre las campañas 2012/13 a 2015/16. Chacra Barrow, Buenos Aires. CC: cultivo de cobertura; FS: fecha de siembra.

Campaña	CC	FS CC	Híbrido Maíz	FS Maíz
2012/13	40 kg ha ⁻¹ de vicia + 20 kg ha ⁻¹ de avena	30/3/2012	DK6610	14/12/2012
2013/14	40 kg ha ⁻¹ de vicia + 20 kg ha ⁻¹ de avena	3/3/2013	DK6610	25/11/2013
2014/15	15 kg ha ⁻¹ de avena + 30 kg ha ⁻¹ de vicia + 3 kg ha ⁻¹ de colza + 35 kg ha ⁻¹ de centeno	15/3/2014	DK670	25/11/2014
2015/16	40 kg ha ⁻¹ de vicia villosa y 20 kg ha ⁻¹ de avena	15/2/2015	DK692 y AX870	23/11/2015

Tabla 2. Esquema de tratamientos de cultivos de cobertura, momento de supresión y dosis de N en maíz. Campañas 2012/13 a 2015/16. Chacra Barrow, Buenos Aires.

Antecesor	Momento de supresión	Fenología	Dosis de N, kg ha ⁻¹
Barbecho ¹	sin	sin	0 80
CC (Av+Vi)	20-Ago	Veget	0 80
CC (Av+Vi)	20-Sep	Veget	0 80
CC (Av+Vi)	20-Oct	Fin de floración	0 80

¹ Periodo de descanso

hasta mediados de octubre (**Tabla 2**). Para suprimir el cultivo de cobertura se aplicó glifosato, atrazina y 2,4 D. Además, se evaluó la fertilización con N, 0 N vs. 80 kg N ha⁻¹ aplicados al voleo en preemergencia del maíz como urea (46-0-0). Se utilizó un diseño anidado con cuatro repeticiones dispuestas en bloques completamente aleatorizados, ubicando el MS en la parcela mayor y la fertilización con N en la parcela menor. El facto MS contó con cuatro niveles, considerando tres momentos de aplicación de glifosato más un tratamiento control (barbecho).

A la siembra del cultivo de maíz se midió la biomasa (kg base seca ha⁻¹) presente sobre la superficie del suelo (cobertura) y la disponibilidad de agua por el método gravimétrico hasta el manto de carbonato de calcio (0-60 cm). La lámina de agua útil se estimó a partir de las mediciones gravimétricas efectuadas y los valores de densidad aparente detallados en la carta de suelos de la serie Tres Arroyos (SiSINTA, 2017), perfil representativo del suelo bajo estudio. La eficiencia de almacenaje de las precipitaciones se calculó como el cociente entre el agua disponible en el suelo a la siembra y las precipitaciones acumuladas desde la supresión hasta la siembra del maíz (para el testigo se consideró como inicio el día 1-jun).

Los datos meteorológicos se tomaron en una estación ubicada entre 600 y 2000 metros de los sitios experimentales. Las condiciones meteorológicas resultaron contrastantes entre años. Las precipitaciones durante la estación de crecimiento del CC resultaron abundantes en los años 2012 y 2014 (**Tabla 3**). En cambio, durante el

año 2015 la recarga hídrica invierno-primaveral resultó intermedia y escasa para el 2013. En el 2013, para el periodo siembra a cosecha de maíz se observó un elevado estrés hídrico producto de la escasez de precipitaciones y de una elevada demanda atmosférica. Para el resto de los años, las diferencias entre precipitaciones y evapotranspiración potencial (ETP) resultaron normales para la zona. Sin embargo, se destaca una reducida ETP en el año 2012 producto del retraso en la fecha de siembra respecto de los demás años.

Se calcularon los balances hídricos para el cultivo de maíz mediante el programa CropWat (FAO, 1992). El análisis estadístico se realizó con el programa INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2013).

Resultados y discusión

Momento de supresión: cobertura y agua acumulada a la siembra de maíz

Para todos los años evaluados retrasar el MS del CC determinó un incremento en la cantidad de biomasa en superficie al momento de siembra del cultivo de maíz. Sin embargo, la biomasa acumulada difirió entre años (**Figura 1**), especialmente en el año 2013, donde las precipitaciones resultaron escasas y la acumulación de cobertura resultó significativamente inferior al resto de las campañas. En el año 2014, los niveles de cobertura acumulados resultaron elevados; no obstante, producto de que se realizó un CC polifítico (ver Materiales y métodos), la prevalencia de la vicia dentro de la biomasa

Tabla 3. Precipitaciones entre cuatro momentos de supresión y siembra del maíz (para el tratamiento testigo se contabilizó desde el 1-junio), y durante la estación de crecimiento del maíz , y evapotranspiración potencial (ETP), en cuatro campañas agrícolas.

Campaña agrícola	Momento de supresión	----- Precipitaciones, mm -----		ETP, mm
		Supresión-Siembra	Cultivo (maíz)	
2012/13	Sin CC	428		
	Agosto	335		
	Septiembre	263	319	540
	Octubre	220		
2013/14	Sin CC	148		
	Agosto	114		
	Septiembre	68	348	683
	Octubre	20		
2014/15	Sin CC	490		
	Agosto	426		
	Septiembre	240	428	665
	Octubre	150		
2015/16	Sin CC	252		
	Agosto	165		
	Septiembre	82	403	619
	Octubre	23		

total del CC resultó menor respecto al resto de las campañas (dato no mostrado).

Cuando la supresión se realizó a fines de octubre, la biomasa incluyó parte de órganos reproductivos e incluso semillas viables. Este es un importante detalle a considerar ya que no es el objetivo por el cual se implantan los CC y para ese tratamiento luego se debieron realizaron controles químicos de “guachos” dentro del cultivo de maíz.

La cobertura y el agua acumulada son aspectos esenciales a balancear en los CC. A medida que aumenta la biomasa por extender el periodo de crecimiento del CC, mayor será el consumo de agua del suelo y menor el tiempo de barbecho para la reposición. Este trabajo no resultó una excepción, al igual que en trabajos previos retrasar el MS determinó incrementos en el nivel de cobertura (**Figura 1**) y una marcada reducción de las precipitaciones acumuladas entre supresión y siembra de maíz (**Tabla 3**). Sin embargo, la disponibilidad de agua en el suelo se asoció con las precipitaciones acumuladas en el barbecho según un modelo cuadrático-plateau (**Figura 2**). A medida que entre supresión y siembra se acumularon hasta 149 mm de precipitación, el agua útil en el suelo se incrementó linealmente hasta los 100 mm (**Figura 2**). Estos 100 mm de agua útil representan la máxima capacidad de almacenaje de suelos con 60 cm de PE. En cambio, cuando las precipitaciones acumuladas entre supresión y siembra superaron los 149

mm, el excedente no tuvo donde alojarse perdiéndose del sistema y reduciendo notablemente la eficiencia del barbecho. Por lo tanto, debemos considerar que en suelos limitados en profundidad efectiva los barbechos extensos son notablemente ineficientes. Además, los excedentes hídricos escurren superficialmente causando anegamientos en el lote. Debemos considerar que los barbechos largos contribuyen sustancialmente con las inundaciones en la cuenca cuando se registran precipitaciones de magnitud.

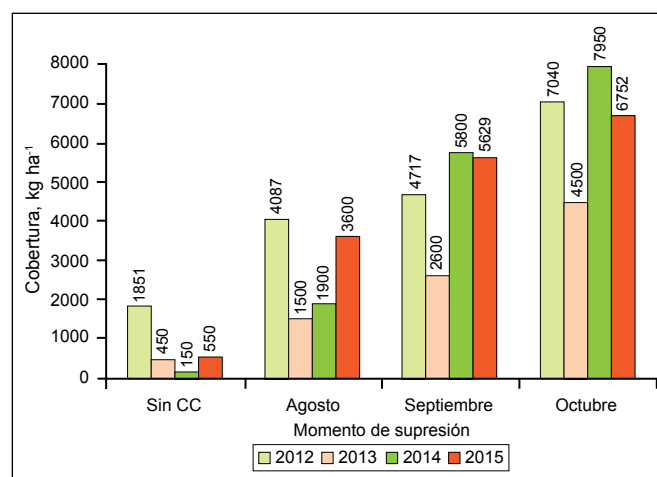


Figura 1. Promedio de biomasa aérea del cultivo de cobertura (cobertura) al momento de siembra del cultivo de maíz en función del momento de supresión, para las cuatro campañas evaluadas.

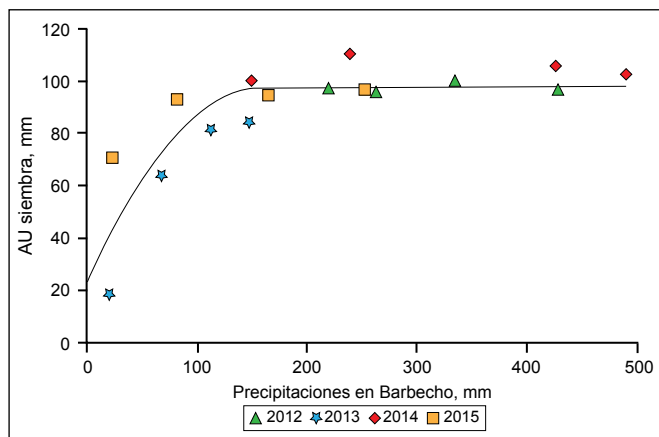


Figura 2. Milímetros de agua útil en el suelo (0-60 cm) a la siembra del maíz en función de las precipitaciones ocurridas durante el barbecho (entre el momento de supresión y la siembra de maíz).

Entre las campañas 2013/14 y 2015/16 hubo diferencias notables en la tendencia de reposición del agua útil del suelo (**Figura 2**). Considerando el MS de octubre, para una lluvia similar durante el periodo de barbecho (20 mm en 2013 vs. 23 mm en 2015; **Tabla 3**) se midieron a la siembra del maíz 19 mm de AU en 2013 vs 75 mm en 2015 (**Figura 2**). Esta diferencia se debe principalmente al estado hídrico del suelo al momento de supresión. Las mayores precipitaciones previas al MS de octubre del año 2015 (**Tabla 3**) determinaron un incremento del agua útil del suelo a la siembra del maíz respecto de 2013. Esto nos indica que debemos considerar el agua útil del suelo al MS para tener una mejor estimación de las precipitaciones necesarias para reponer la humedad del suelo a la siembra del maíz.

Rendimiento del maíz y tratamientos

El MS afectó significativamente el rendimiento del cultivo de maíz, del mismo modo que afectó el agua disponible a la siembra (**Tabla 4**). Además, el rendimiento difirió entre los años evaluados y el MS presentó interacción con Campaña ($p < 0.15$). Por otro lado, la fertilización nitrogenada solo resultó significativa en interacción con la variable Campaña (**Tabla 4**). Debido que estas interacciones determinan cambios en la magnitud y dirección de la respuesta se procederá a realizar un análisis desglosado por campaña.

Tabla 4. Análisis de la varianza del rendimiento de maíz en función de los factores estudiados (MS: momento de supresión; N: dosis de nitrógeno; y Campaña), y sus interacciones. F.V. = fuente de variación, gl = grados de libertad del error, valor-p = nivel de significancia.

F.V.	gl	valor-p
Modelo	31	<0.0001
MS	3	<0.0001
N	1	0.4557
Campaña	3	<0.0001
MS*N	3	0.8926
MS* Campaña	9	0.1211
N* Campaña	3	0.0063
MS*N* Campaña	9	0.6142

Durante 2012, 2014 y 2015 se obtuvieron excelentes rendimientos en el cultivo de maíz en secuencia con CC, superando notablemente otras experiencias locales con suelo desnudo (Ross, datos no publicados). En cambio, en el ciclo 2013, el rendimiento con CC resultó inferior producto de la escasez de precipitaciones y una elevada ETP (**Tabla 3**). En promedio, el mejor rendimiento del cultivo de maíz se obtuvo sobre cultivo de cobertura con supresión en la segunda quincena de septiembre (**Tabla 5**). La supresión del cultivo de cobertura en septiembre superó significativamente al testigo sin CC en 416 kg ha⁻¹. Además, se observó una marcada reducción en el rendimiento cuando la supresión se realizó entre mediados y fines de octubre.

Para el promedio de las campañas evaluadas el agregado de N no produjo incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de maíz (**Tabla 6**). Sin embargo, en el año 2014, la adición de 80 kg N ha⁻¹ incrementó significativamente el rendimiento de maíz. Es probable que la biomasa y la fijación biológica de la vicia fuese menor que en el resto de los años, en particular porque compartió el espacio con más especies (Materiales y métodos). Además, probablemente haya ocurrido una mayor inmovilización de N por las otras

Tabla 5. Rendimiento del cultivo de maíz (kg ha⁻¹) en función de la campaña y del momento de supresión. Letras diferentes indican diferencias significativas entre momentos de supresión dentro del año o en el promedio de los mismos ($p < 0.05$). (kg ha⁻¹)

MS	Campaña				Promedio
	2012	2013	2014	2015	
Sin CC	8472a	4961a	8003bc	8873b	7577b
Agosto	8613a	4685a	8134ab	9858a	7793ab
Septiembre	8855a	4588a	8549a	9742a	7993a
Octubre	8297a	2705b	7540c	8695b	6809c
Error estándar					
MS	108	122	84	238	138

Tabla 6. Rendimiento del cultivo de maíz (kg ha⁻¹) en función de la campaña y de la fertilización nitrogenada. Letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0.05).

N	Año			
	2012	2013	2014	2015
0	8701b	4339d	7694c	9214a
80	8479b	4130d	8418b	9370a
Error estándar				
MS	122	238	84	108

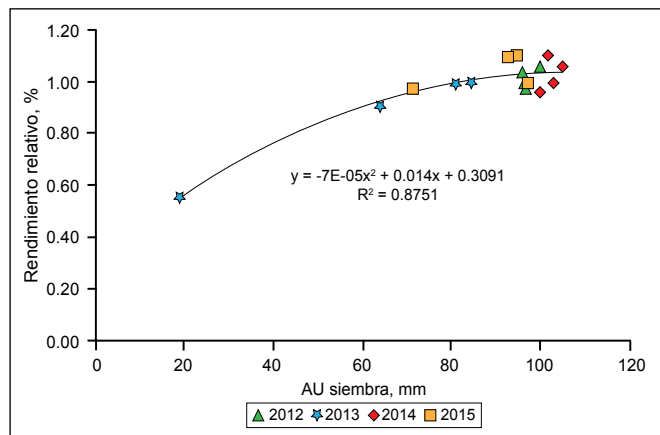


Figura 3. Rendimiento relativo del maíz con CC respecto al tratamiento sin CC en función del agua útil a la siembra del cultivo.

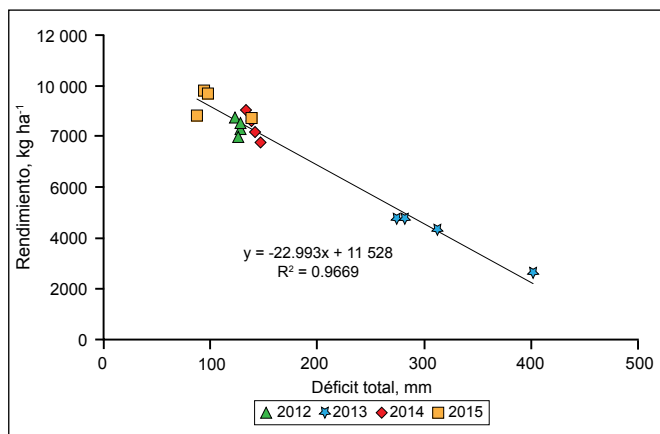


Figura 4. Rendimiento del cultivo de maíz en función del déficit hídrico estimado desde siembra a madurez fisiológica estimado según FAO (1992).

especies. De Sá Pereira et al. (2014) encontraron para el sudoeste bonaerense que la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz fue variable, con baja respuesta al agregado de N cuando el CC antecesor fue vicia, variable cuando fue barbecho y significativa cuando fue avena. Es altamente probable que con antecesor vicia el suelo logre aprovisionarse del N requerido por un cultivo de maíz de rendimiento intermedio (Ruffo y Parsons, 2004). Al igual que en este trabajo, en el sudoeste bonaerense se encontró una sustitución casi completa del agregado de N como fertilizante (80 kg N ha⁻¹) cuando el cultivo de maíz se realizó sobre un CC de vicia (De Sá Pereira et al., 2014).

Momento de supresión, balance hídrico y rendimiento del maíz

El rendimiento relativo del cultivo de maíz respecto del tratamiento sin CC se asoció con la disponibilidad hídrica a la siembra (**Figura 3**). Recordemos que estas variantes en la disponibilidad hídrica estaban determinadas principalmente por el MS (**Tabla 3, Figura 2**). Sin embargo, a medida que el agua útil a la siembra fue mayor el impacto sobre el rendimiento resultó menor. Podemos considerar que con niveles mayores a 90 mm de AU ya no hubo efectos sobre el rendimiento (**Figura 4**). Por lo tanto, conocer la disponibilidad hídrica a la siembra es un aspecto esencial a considerar para iniciar la siembra de maíz minimizando riesgos.

El rendimiento del cultivo de maíz se asoció con el déficit hídrico acumulado durante su estación de crecimiento (**Figura 4**). El estrés hídrico resultó moderado en las campañas 2012, 2014 y 2015. En cambio, en el 2013 el estrés fue muy intenso y redujo significativamente el rendimiento del cultivo. Debemos considerar que el programa de simulación utilizado (CROPWAT) es simple y no permite discriminar el efecto de la cobertura sobre el balance hídrico. Es decir, todos los tratamientos se simulaban bajo las mismas condiciones de suelo, solo variando la disponibilidad hídrica a la siembra. Sin embargo, si consideramos que el MS de septiembre rindió en promedio 416 kg ha⁻¹ más que el testigo (**Tabla 5**), mediante la ecuación de la **Figura 4** podemos deducir que el incremento en el uso de agua por el cultivo fue de 18 mm (416/23). Esta diferencia en el uso de agua es similar al incremento en el agua del suelo calculada para el periodo de barbecho entre suelo con cobertura versus suelo desnudo (Monzón y Sadras, 2006). Si bien, en términos absolutos este incremento en la disponibilidad de agua parece despreciable, llevado a la práctica produjo un incremento notable en el rendimiento. Por otro lado, en el año 2013 producto de la gran deficiencia de agua no hubo beneficios por la inclusión de CC. Entonces, si solo se consideran los años 2012, 2014 y 2015; la diferencia de rendimiento fue de 600 kg ha⁻¹ y el uso extra de agua por el cultivo de maíz sobre CC con supresión en septiembre resultó de 26 mm respecto del tratamiento sin CC. Según Monzón y Sadras (2006), las mayores diferencias de almacenaje en barbecho entre suelos desnudos y con cobertura ocurren en el rango de 60-250 mm. Es esperable que los beneficios de la cobertura durante el barbecho ocurran en igual magnitud durante las etapas iniciales del cultivo y permitan una mejora en el uso del agua por el cultivo. Trabajos previos donde se estimó el efecto de la cobertura sobre el rendimiento de maíz encontraron similares diferencias de rendimiento (Monzón et al., 2012). En ese trabajo se destaca que para producir una tonelada de maíz se necesitan 59.1 mm con cobertura versus 70 mm con suelo desnudo. Tomando esos datos obtenemos una diferencia de 986 kg ha⁻¹ producto de la presencia de cobertura. Podemos resumir que la fecha de supresión de fines de septiembre logró combinar una adecuada cobertura con la reposición hídrica del suelo

al momento de la siembra del maíz incrementando el rendimiento respecto del testigo sin cobertura.

Consideraciones finales

Los propósitos actuales de incorporar CC en secuencia con maíz son: i) generar cobertura que permita minimizar la evaporación directa desde el suelo y entonces maximizar el uso de agua por el cultivo de maíz, ii) minimizar los requerimientos de fertilización nitrogenada, y iii) suprimir temporalmente la emergencia de malezas.

La supresión en septiembre de CC avena-vicia sembrado entre fines de febrero e inicios de marzo logró un nivel de cobertura adecuada y permitió acumular el óptimo de agua útil a la siembra del cultivo de maíz, condiciones que permitieron maximizar su rendimiento. En cambio, cuando la supresión se retrasó a octubre, el rendimiento del maíz se vio reducido principalmente por una menor disponibilidad hídrica a la siembra. Según los resultados, los objetivos del CC serían acumular aproximadamente 5 t ha⁻¹ biomasa y sembrar el maíz cuando se logre la recarga hídrica del suelo. Considerando el promedio histórico de precipitaciones de Barrow, el MS en septiembre combinaría todos los beneficios de los CC con la reposición del agua del suelo para siembras de fines de noviembre (media: 143 mm).

La siembra temprana del cultivo de cobertura (mediados a fines de febrero) es muy importante para el logro de los objetivos de un CC. De este modo se maximiza el crecimiento otoñal del CC y esto permite adelantar el MS si se esperan escasas lluvias durante la primavera.

Bibliografía

- De Sá Pereira, E., J.A. Galantini, A.R. Quiroga, y M.R. Landriscini. 2014. Efecto De Los Cultivos De Cobertura Otoño Invernales, Sobre El Rendimiento Y Acumulación De N En Maíz En El Sudoeste Bonaerense. *Cienc. Suelo* Vol. 32 No. 2.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, y C.W. Robledo. 2013. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAO. 1992. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage Paper No. 46. Rome.
- Folorunso, O.A., D.E. Rolston, y D.T. Prichardt Lovi. 1992. Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter cover crops. *Soil Technology*. Vol 5, issue 3, pp. 189-197.
- Miller, P.R., W.C. Graver, W.A. Williams, y B.A. Madison. 1990. "Cultivos de cobertura para la agricultura de California". University of California Davis. Agronomy progress Report No. 219.
- Monzón, J.P., y V.O. Sadras. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. *Field Crops Res.* 98(2-3):83-90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.010>.
- Monzón, J.P., V.O. Sadras, y F.H. Andrade. 2012. Modelled yield and water use efficiency of maize in response to crop management and Southern Oscillation Index in a soil-climate transect in Argentina. Vol. 130, 29 March 2012, pp 8-18.
- Ruffo, M.L., y A.T. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, No. 21.
- SiSINTA. 2017. Serie de suelos Tres Arroyos. Cartas de suelos de la República Argentina. INTA. Disponible en: <http://sisinta.inta.gob.ar/series/285>



Cultivo de Vicia