
*PRÁCTICAS DE MANEJO QUE
CONDICIONAN LA EFICIENCIA
HÍDRICA DEL BARBECHO EN EL
SUDOESTE BONAERENSE*



ANDRÉS KRIGER

DOCENTE TUTOR:

DR. MATIAS DUVAL

DOCENTES CONSEJEROS:

MSc. MARIANA BOUZA

DR. MAXIMILIANO GARAY

Dto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

2021

PREFACIO

Este trabajo es presentado como parte de los requisitos para cumplir con el trabajo de intensificación de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Sur.

Agradecimientos

Quiero dejar expreso mi agradecimiento a las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

Al Dr. Matías Duval por brindarme sus conocimientos, experiencia, y por su compromiso y paciencia con este trabajo.

A la MSc. Mariana Bouza y al Dr. Maximiliano Garay por sus aportes y correcciones.

Al Ing. Agrónomo Emiliano Rodríguez y a los técnicos Luciano Rodríguez y Martín De Lucia, por su colaboración en la realización del ensayo a campo y las tomas de muestras.

A mi familia, especialmente a mis padres, hermano y mi novia, por su apoyo incondicional, consejo y compañía y por haberme brindado los medios necesarios para realizar mi sueño de concretar esta hermosa carrera.

A mis amigos, los de la infancia y los conseguidos en el transcurso de este tiempo de formación, por hacer más llevadera y entretenida esta experiencia.

Al departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur y a todos sus docentes por la educación brindada y los medios necesarios.

Resumen

En los sistemas agrícolas y ganaderos de secano, la principal pérdida de agua es la evaporación estimándose que entre el 50 y 70% de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo. Estas pérdidas transcurren principalmente durante el período de barbecho generando controversias sobre la eficiencia de dicha práctica para conservar el agua en regiones semiáridas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción de biomasa de especies invernales usadas como cultivos de cobertura (CC) y como estas afectan la dinámica del agua en el perfil de suelo. El estudio se realizó sobre un suelo Haplustol éntico en donde se sembraron diferentes CC; centeno (C), centeno + vicia (C + V), avena (A), avena + vicia (A + V), vicia (V) y barbecho sin CC (B). A su vez, cada parcela se dividió a la mitad aplicándose como factor secundario el manejo ganadero (pastoreo y no pastoreo). Se determinó la producción de biomasa aérea y el contenido hídrico del suelo en 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm a la siembra y secado de los CC y siembra del cultivo de verano (maíz). Se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA), costo hídrico (CH) y eficiencia de barbecho (EHB). Al momento de la siembra del maíz se determinó el porcentaje de cobertura en cada tratamiento y se midió la producción total de materia seca del maíz al finalizar su ciclo. Las gramíneas puras o consociadas presentaron menor agua útil que B al momento de su supresión ($p < 0,05$). La inclusión de un CC hizo que el CH variara entre 0 y 21 mm, con mayores consumos en el caso de aquellos tratamientos que incluían gramíneas para todas las profundidades evaluadas. Sin embargo, luego de la finalización de los CC, las precipitaciones (106 mm) permitieron recargar parte del perfil, no encontrándose diferencias significativas en el agua útil para los primeros 40 cm a la siembra del maíz. Durante dicho período los CC conservaron el agua almacenada de forma más eficiente ($EHB > 40\%$) en relación con B (32%), debido a la biomasa lograda alcanzó 4146, 4100, 3184 y 2841 kg/ha de materias seca para C, C+V, A y A+V, respectivamente. Para las condiciones planteadas en este estudio, C fue el tratamiento con mayor producción de biomasa con una EUA de 36 kg MS/mm. En general, la menor cantidad de residuos remanentes en los tratamientos pastoreados disminuyó la EHB, ya que la biomasa residual fue uno de los parámetros que mejor explicó la dinámica hídrica en el perfil del suelo. La producción de MS de maíz fue mayor sobre los tratamientos C y B (2627 y 2391 kg MS/ha) diferenciándose significativamente de V y A con los menores valores (1872 y 1809 kg MS/ha). Los bajos rendimientos obtenidos estuvieron asociados principalmente a la escasez e irregularidad de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo no observándose diferencias entre C y el barbecho tradicional.

Índice

Introducción	1
Materiales y métodos	5
Sitio de estudio	5
Tratamientos y manejo	6
Determinaciones	7
Análisis de los datos	10
Resultados y discusión	11
Condiciones climáticas del año en estudio	11
Dinámica hídrica en el perfil	11
Producción de biomasa aérea de los cultivos de cobertura	14
Efecto del pastoreo sobre la materia seca y porcentaje de cobertura remanente	16
Eficiencia de barbecho	19
Producción de MS de maíz	23
Conclusión	25
Bibliografía	27
Anexo	31

Introducción

La actividad agrícola en la Región Pampeana, orientada principalmente a la producción de soja, maíz, trigo y girasol, ha experimentado profundas transformaciones a partir de la década del noventa; pasando de sistemas mixtos de producción con 4-5 años de pasturas perennes seguido de 4-8 años de cultivos anuales a secuencias continuas de cereales y oleaginosas (De Batista *et al.*, 1992). Además, se han registrado cambios importantes en la tecnología que resultó en aumentos de la productividad de los cultivos debido a mejores cultivares con mayor índice de cosecha (Satorre, 2003; Scianca, 2010). Ambos procesos han provocado que la reposición del carbono y de nutrientes al suelo disminuyera en los actuales sistemas agrícolas.

En las rotaciones agrícolas bajo siembra directa, los cultivos de maíz y trigo proveen a los suelos importantes cantidades de rastrojos luego de la cosecha. El cambio hacia sistemas más simplificados, con predominio del cultivo de soja desplazando al maíz, generando la ausencia de cobertura, que comienza a visualizarse como una limitante para estos sistemas de producción. La expansión de estos sistemas productivos, potenciaron los problemas de degradación ya existentes, como la pérdida de materia orgánica y la disminución de la estabilidad estructural, que traen como consecuencia mermas en los rendimientos y un aumento en la susceptibilidad a la erosión, comprometiendo la sostenibilidad del agro-sistema.

En los últimos años el uso de cultivos de cobertura (CC) o cultivos de servicios se ha generalizado como una alternativa agronómica para incrementar el aporte de residuos, proveyendo de condiciones favorables para el sostenimiento de la productividad de los suelos bajo prácticas agrícolas continuas (Schipanski *et al.*, 2014). Los CC son especies que se establecen entre dos cultivos de cosecha y generalmente no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando los residuos en superficie, luego de interrumpir su crecimiento mediante la aplicación de un fitosanitario específico (Eiza & Carfagno, 2009). Estos cultivos son sembrados con el objetivo de mejorar aspectos del suelo o los cultivos que se realizan en la rotación con fines productivos (Lu *et al.*, 2000; Duval *et al.*, 2015). Entre ellos podemos encontrar un amplio abanico de beneficios: mejorar el

balance de carbono, fijar nitrógeno, atenuar las pérdidas por erosión eólica e hídrica, disminuir la presión de malezas y el uso de herbicidas, mejorar la captación de agua, reducir riesgos de salinización por ascenso capilar desde las napas, reducir la evaporación incrementando la eficiencia de conservación y disponibilidad de agua en el perfil, disminuir la lixiviación de nutrientes, disminuir la susceptibilidad a la compactación, mejorar el anclaje del residuo de cosecha, mejorar la actividad biológica, entre otros (Álvarez *et al.*, 2013).

En zonas templadas, las especies más utilizadas como CC son fundamentalmente gramíneas y leguminosas. Las gramíneas más utilizadas son centeno (*Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), avena (*Avena sativa* L.), triticale (*x Triticosecale Wittm.*) y raigrás anual (*Lolium multiflorum*). El centeno es la gramínea más tolerante al frío y al estrés hídrico y produce un abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno (Álvarez & Scianca, 2006). Las leguminosas mejor adaptadas como CC son las vicias (*Vicia villosa* y *Vicia sativa*) y los tréboles; blanco (*Trifolium repens*), de olor (*Melilotus sp.*), de alejandria (*T. alexandrinum*) y encarnado (*T. incarnatum*), siendo la vicia villosa, la leguminosa más resistente al frío y la más adaptada (Ruffo & Parsons, 2004). En el sudoeste bonaerense (SOB) se presentan secuencias de cultivo, con predominio de los cereales de invierno, trigo y cebada, y en los últimos años ha aumentado la presencia de cultivos estivales, como el maíz, mediante la modalidad de siembra a bajas densidades (menor a 30000 plantas/ha) con el objetivo de diversificar la producción, cortar el ciclo de ciertas malezas problemáticas y mejorar la rentabilidad de la empresa agropecuaria. Estos sistemas agrícolas se caracterizan por presentar largos períodos de barbechos otoño invernales entre la cosecha del cultivo de fina y la siembra el cultivo de maíz generando una subutilización de recursos agua, luz y nutrientes a la vez que se pierde carbono a través de la respiración microbiana (Caviglia & Andrade, 2010). En este escenario, la realización de un CC durante el período de barbecho sería una estrategia de manejo que colaboraría principalmente a mejorar la economía del agua y colabora con la salud del suelo y el secuestro de carbono. Sin embargo, en regiones semiáridas como la del SOB las precipitaciones no

logran cubrir los requerimientos de uso consuntivo de los cultivos representando la principal limitante para la producción de los mismos (Díaz-Zorita *et al.*, 2002). En estas regiones, los CC pueden reducir la disponibilidad hídrica para el siguiente cultivo de grano programado en la rotación, debido a la demanda de agua para la producción de biomasa de los mismos (Salako & Tian, 2003; Nielsen & Vigil, 2005). Sin embargo, la evaporación es el principal factor de pérdida de agua, estimándose entre el 50 y 70 % de la precipitación anual que retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Quiroga *et al.*, 2003). Dichas pérdidas transcurren principalmente durante los barbechos generando controversia sobre la eficiencia de dicha práctica para conservar el agua en regiones semiáridas (Huang *et al.*, 2003). Álvarez & Scianca, (2006) destacan la baja eficiencia de los barbechos respecto a la retención de agua en el perfil, por lo que el costo hídrico de incluir un CC no sería de gran magnitud. Por otro lado, estudios de Fernández *et al.* (2005) en Haplustoles énticos, mostraron que, los CC reducen el contenido de agua disponible con relación a los testigos. Sin embargo, el tratamiento testigo no fue eficiente en almacenar agua ya que durante dicho periodo se perdieron 203 mm, dado que las precipitaciones ocurridas superaron ampliamente a la capacidad de retención de agua de esos suelos. Esta lámina excedente, fue utilizada por los CC para producir biomasa aérea y radicular, con el consiguiente aporte de materia orgánica al suelo.

La realización de un CC conlleva a una disminución en los contenidos de agua del suelo con respecto al barbecho, esta caída en los contenidos de humedad se conoce como costo hídrico (CH). El CH se encuentra entre 30 a 40 mm para leguminosas y 40 a 80 mm en gramíneas, dependiendo de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de los CC (Baigorria & Cazorla, 2010). Similares CH son reportados por otros autores sobre cultivos de verano en suelos de la Región Semiárida Pampeana (Fernández *et al.*, 2007). Sin embargo, esta fuente adicional de residuos vegetales mejora la captación y provisión de agua, a través de incrementos en la tasa de infiltración (Álvarez *et al.*, 2009), reducción de la temperatura en la superficie del suelo y disminución de la acción del viento sobre la evaporación y la erosión (Blanco-Canqui *et al.*, 2015). 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. Este efecto va a depender de las condiciones edafoclimáticas de la zona en estudio, por lo cual en regiones subhúmedas-semiáridas es importante elegir especies que tengan buena producción de biomasa con el menor consumo de agua posible, para mejorar la eficiencia en el uso del agua (EUA). Para este caso, el centeno es una de las especies con más flexibilidad para estos ambientes, siendo más tolerante a la sequía, más resistente al frío, aporta gran cantidad de materia seca, y es el más precoz permitiendo anticipar el secado (Fernández *et al.*, 2012).

Estudios de Islam *et al.* (2006) realizados bajo un clima semiárido y precipitaciones limitadas en California, Estados Unidos, concluyeron que la terminación temprana de los CC no reduce la disponibilidad de agua y, la cobertura aportada protege a la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia.

Se hipotetiza que la incorporación de CC al sistema podría mejorar la captura de agua de lluvia en comparación con los barbechos largos encontrados entre un cultivo de invierno y otro de verano.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la viabilidad de la inclusión de distintas especies de CC en el sudoeste bonaerense.

Los objetivos específicos consistieron en medir la producción de materia seca de los CC utilizados, cuantificar el consumo de agua, medir la eficiencia de barbecho y registrar los rendimientos de materia seca del cultivo de cosecha posterior.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental Napostá, convenio UNS y MDA-PBA, en el km 35,5 de la RN N°33, partido de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires ($38^{\circ} 26' 30''$ LS, $62^{\circ} 15' 59''$ LW; 150 msnm). (Figuras 1a y 1b). El establecimiento cuenta con 711 ha y se ubica en el Dominio Morfoestructural del Positivo de Ventania (nivel de planación general) (Amiotti *et al.*, 2014).

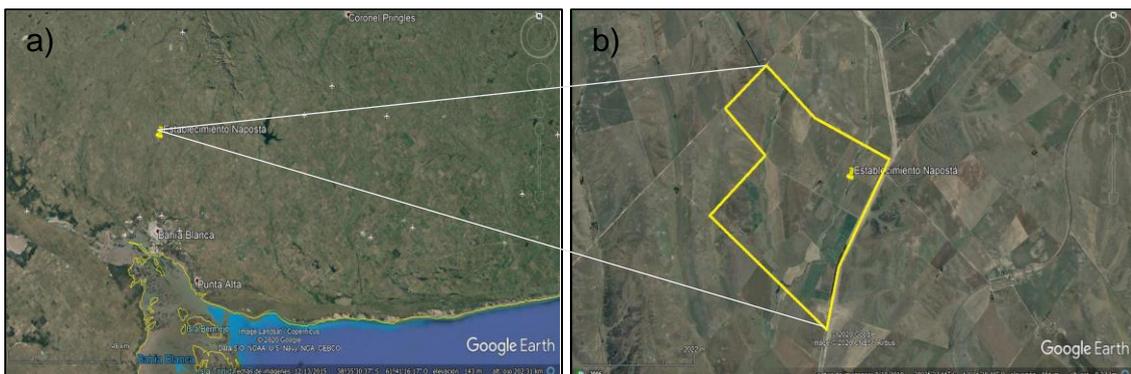


Figura 1. a) Localización del campo Napostá en el Sudoeste Bonaerense y **b)** Delimitación del Establecimiento Napostá. Fuente Google Earth.

El clima de la región es templado, con estaciones térmicas bien diferenciadas. La temperatura media anual es de $15,4^{\circ}\text{C}$, siendo la temperatura media del mes más cálido (enero) de $23,3^{\circ}\text{C}$ y del mes más frío (julio) de $8,2^{\circ}\text{C}$. Desde el punto de vista térmico el área es apta para el cultivo de pasturas perennes y cultivos de invierno y verano.

Las lluvias otorgan a la zona un carácter subhúmedo o de transición. La precipitación media anual es de 562 mm (1860-2016) (Figura 4). El verano (182 mm) y la primavera (172 mm) evidencian valores similares de precipitaciones representando el 63% de la precipitación anual, mientras que en otoño (112 mm) e invierno (95 mm) ocurren el 20% y 17% de la precipitación anual, respectivamente. Los meses más cálidos son los que presentan los mayores desbalances de agua, esto es debido a las marcas térmicas más elevadas, a la mayor duración del día y a la importante velocidad del viento (Mormeneo & Díaz., 2003).

El suelo clasifica como Haplustol éntico, franco grueso, mixto, térmico de acuerdo al Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010), con una secuencia de horizontes Ap-A2-AC-C-Ck₁-2Ck₂-3Ck₃ (Tabla 1 y Figura 1, Anexo). La capacidad de uso de estas tierras es de IIIe (Klingebiel & Montgomery, 1961) presentando como limitantes principales la alta susceptibilidad a la erosión eólica y condiciones climáticas desfavorables (Índice de Thornthwaite 0 y -20).

Tratamientos y manejo

Este trabajo se realizó durante el 2019 sobre un lote bajo siembra directa. El mismo presentaba más de 10 años de historia agrícola con cereales de invierno siendo trigo el cultivo antecesor.

Los tratamientos evaluados fueron; centeno (C), avena (A), vicia (V) y sus consociaciones (A+V y C+V) y un barbecho químico (control) considerado como testigo. A su vez dichos tratamientos se dividieron en 2 subparcelas, a los cuales a una mitad se le aplicó un pastoreo hacia el final del ciclo y a la otra mitad permaneció sin pastorear. El pastoreo fue llevado a cabo con 40 animales, los cuales estuvieron sobre la parcela solamente un día.

El 20 de marzo, se inició el barbecho químico, con 1,5 L/ha de glifosato, 0,250 L/ha de 2,4 D y 0,100 L/ha de Picloram. El 25 de abril, se llevó a cabo una segunda aplicación, previo a la siembra, con 1,5 L/ha de glifosato y 0,250 L/ha de 2,4 D. Posteriormente, los CC se sembraron el 29 de abril bajo el sistema de siembra directa, con una densidad de 60 kg/ha (C y A), 20 kg/ha (V) y 50+12 kg/ha (A+V y C+V), sin fertilización nitrogenada ni fosforada. Se utilizó una sembradora de granos finos marca Juber 3500, con abresurcos de doble disco espaciados a 0,175 m (Figura 2).



Figura 2. Siembra de los cultivos de cobertura bajo sistema de siembra directa.

Al momento de la siembra, el contenido de agua útil era de 45 mm en 0-100 cm. El ciclo de los CC se interrumpió químicamente el 4 de octubre a través de la aplicación de 1,5 L/ha de glifosato + 0,100 L/ha de dicamba + 0,250 L/ha de 2,4-D.

El maíz (*Zea mays* L.) fue sembrado el 8 de noviembre, con una distancia entre surcos de 0,70 m y una densidad de 25000 plantas/ha. El material genético utilizado fue un híbrido SyN840 viptera 3.

Determinaciones

Se determinaron las constantes hídricas: capacidad de campo (CC) sobre muestras de suelo tomadas sin disturbar con cilindros de 4 cm de alto y 5,65 cm de diámetro y punto de marchitez permanente (PMP) sobre el suelo tamizado por 2 mm (Tabla 2, Anexo). Las muestras se tomaron en cada horizonte del perfil hasta los 100 cm, con 3 repeticiones por profundidad, y en 3 sectores de la superficie destinada al ensayo. Las muestras de suelo fueron saturadas por capilaridad desde la parte inferior durante un período de 48 horas usando agua corriente a temperatura ambiente. A partir del estado de saturación previo al inicio de las mediciones, se determinó el contenido hídrico (Θ) siguiendo la metodología de humectación indicada por Klute (1986). Luego, las muestras fueron sometidas al potencial de interés. Para ello se aplicó una presión de 33 kPa, equivalentes a -3,3 m de carga hidráulica (h), empleando el equipo clásico de olla de presión. Posteriormente, las muestras no disturbadas se secaron en estufa a 105°C, hasta peso constante. Sobre las muestras tamizadas por 2 mm

se realizó la determinación del PMP a través de membrana de presión (1500 kPa) (Richards, 1947), utilizando anillos de 5 cm de diámetro por 1 cm de altura. Se realizaron las curvas de retención hídrica y se calculó el contenido de agua a capacidad de campo, PMP y capacidad de agua útil (CAU) (Tabla 2, anexo). La densidad aparente (δ_{ap}) se determinó mediante muestras sin disturbar por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). En el laboratorio se registró el peso inicial y luego se llevó a estufa (105 °C) hasta peso constante para su posterior pesado en seco. Por último, se calculó la densidad aparente por diferencia de peso (Ec. I).

$$\delta_{ap} = \frac{SSE}{\text{Volumen del cilindro}} \quad \text{Ecuación I}$$

Donde SSE es el peso del suelo seco a estufa.

Se determinó el contenido de humedad del suelo por método gravimétrico en 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm de profundidad a la siembra, secado de los CC y siembra de maíz. A la siembra (muestreo inicial) las muestras de suelo fueron tomadas por bloques. Posteriormente los muestreos se realizaron en cada parcela (Figura 3). Las muestras extraídas se pesaron en húmedo, luego se llevaron a estufa a 105 °C hasta peso constante, luego se pesaron en seco, y la diferencia obtenida entre húmedo y seco, representó el contenido hídrico de la muestra. Posteriormente se calculó agua útil (AU) hasta los 100 cm de profundidad considerando la δ_{ap} y las constantes hídricas (PMP y capacidad de campo).

Por otra parte, para evaluar el balance hídrico, se registraron las precipitaciones diarias desde la siembra de los CC hasta la siembra de maíz. Los datos de lluvia se obtuvieron de la EMA Naposta, estación meteorológica automática marca Davis vantage pro2, ubicada dentro del campo experimental.

Se calculó el uso consuntivo (UC) mediante la suma del contenido de AU al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de los CC, a la cual se le restó el contenido de AU al momento de finalizar el ciclo de los CC (Ec. II).

$$UC \text{ (mm)}=AU_i +PP-AU_f$$

Ecuación II

Dónde AU_i y AU_f es el contenido de agua útil en el suelo a la siembra y secado de los CC (mm) respectivamente y PP son las precipitaciones acumuladas en el período de crecimiento de los CC (mm).

Se calculó la eficiencia en el uso de agua (EUA) mediante el cociente entre materia seca aérea total (MS) producida y su UC (Ec. III).

$$EUA \text{ (kg MS/mm)}=\frac{MS}{AU_i+PP- AU_f}$$

Ecuación III

Se determinó el consumo de agua (CH) de los CC a partir de la diferencia entre el AU de los diferentes tratamientos con respecto al testigo (barbecho) al momento en que se suprimieron los CC.

La eficiencia hídrica de barbecho (EHB) entre la supresión de los CC y la siembra de maíz, se calculó mediante la siguiente ecuación (Mathews & Army, 1960).

$$EHB=\frac{AU \text{ final barbecho}-AU \text{ inicio barbecho}}{PP \text{ durante el barbecho}} * 100$$

Ecuación IV

La producción de MS de los diferentes CC se determinó al momento de secado de los mismos. Se extrajo una muestra de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) de cada parcela, las cuales se llevaron a estufa eléctrica (40 °C) hasta lograr un peso constante.

Previo a la siembra del maíz, se determinó la cobertura de residuos (Mg/ha y %). Para el muestreo de residuos se utilizó un marco de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), igual al utilizado en la determinación de MS, tomándose 2 muestras por parcela (pastoreado y no pastoreado). Previo a recolectar el residuo, se obtuvo una fotografía del marco conteniendo los residuos, a una altura de 1,2 m, perpendicular a la superficie del suelo. La fotografía se obtuvo con una cámara digital de 10 “megapíxeles”, con “flash” para aumentar el contraste entre los residuos y el suelo. Dichas fotografías, posteriormente, fueron procesadas por el software CobCal (Ferrari *et al.*, 2008), para estimar % de cobertura. Una vez

tomada la fotografía, se recolectaron los residuos. Las muestras se llevaron a estufa eléctrica (40 °C) hasta peso constante y luego se determinó la MS de los residuos.

En el cultivo de maíz se midió la producción de MS (planta entera) cosechando 5 metros lineales por tratamiento (2 muestras de 2,5 m lineales) tanto para el sector pastoreado como el no pastoreado. Las muestras fueron llevadas a estufa (40 °C) hasta peso constante.

Análisis de los datos

El diseño experimental fue en bloques divididos completos aleatorizados con 4 repeticiones con un tamaño de parcela de 7,5 m de ancho por 25 m de largo (Figura 3), además cada bloque se encontraba dividido a la mitad en pastoreado y no pastoreado. Los datos fueron analizados con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016), mediante ANOVA y las comparaciones de medias se realizaron a través del test LSD de Fisher, con un nivel de significancia del 5%.

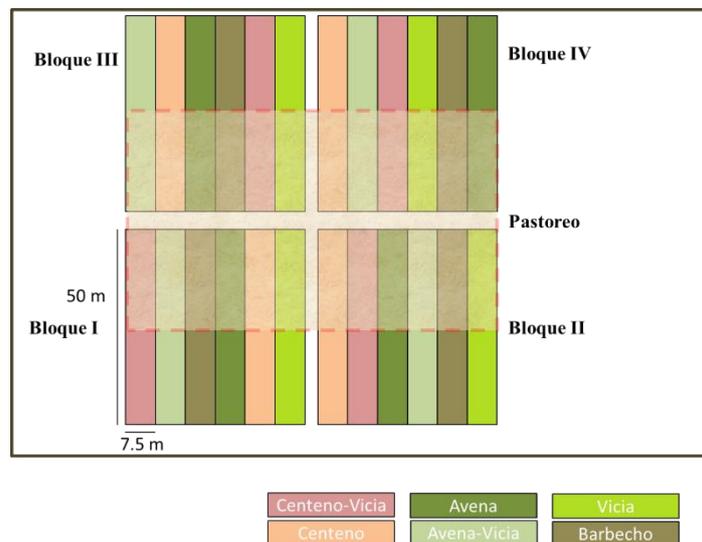


Figura 3. Diseño experimental y distribución de los tratamientos.

Resultados y discusión

Condiciones climáticas del año en estudio

Las lluvias acumuladas en el 2019 (496 mm), año en que se llevó a cabo el ensayo, fueron inferiores a la anual media climática para la zona (562 mm), representando un 11,7% inferior al histórico (Figura 4). Para el período comprendido entre la siembra (29 de abril) y la supresión de los CC (4 de octubre), las precipitaciones fueron de 130 mm, un 37,5% menor que el acumulado histórico (206 mm) para ese período. Los meses con menor registro de lluvias fueron abril, julio y agosto, afectando el crecimiento y desarrollo de los CC como se detallará más adelante. Para el período entre la supresión y la siembra de maíz (8 de noviembre) las precipitaciones sumaron 106 mm, las cuales fueron un 71% superior que las acumuladas para ese período en la media histórica (62 mm).

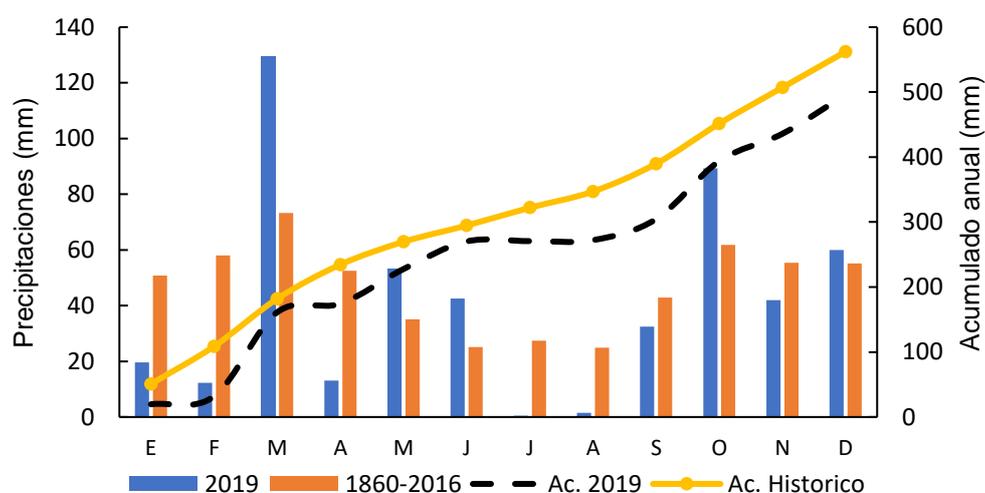


Figura 4. Distribución de la precipitación mensual durante 2019 respecto a la mensual media (1860-2016) y precipitación acumulada anual e histórica. Ac. 2019 y Ac. Histórico indican las precipitaciones acumuladas en 2019 y el promedio histórico respectivamente.

Dinámica hídrica en el perfil

El agua útil (AU) inicial de la cual se partió en este ensayo para las profundidades 0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 0-100 cm fue de 5,5, 7,5, 8,5, 23,3 y 45 mm,

respectivamente (Tabla 1). Comparado con la capacidad de retención hídrica del perfil (146 mm), el AU inicial representó el 30,8% de dicha capacidad.

Tabla 1. Contenido de agua útil (AU) en tres momentos: siembra y supresión de los cultivos de cobertura (CC) y siembra del maíz.

Tratamiento	Profundidad cm	AU		
		AU inicial	AU final CC mm	AU siembra maíz
A	0-20	5,5	3,4 bc	23,4 b
A + V			2,2 c	24,5 ab
C			4,2 abc	27,1 a
C + V			4,2 abc	21,9 b
V			6,9 ab	22,7 b
B			8,2 a	21,8 b
A	20-40	7,5	3,0 b	19,2 a
A + V			2,2 b	18,9 a
C			2,8 b	20,7 a
C + V			2,2 b	17,7 a
V			4,8 b	21,2 a
B			9,3 a	21,1 a
A	40-60	8,5	3,3 bc	11,6 abc
A + V			2,3 c	8,6 c
C			2,2 c	13,3 abc
C + V			2,7 bc	9,9 bc
V			6,4 ab	15,3 ab
B			8,5 a	16,2 a
A	60-100	23,3	12,1 c	19,7 abc
A + V			13,8 bc	18 bc
C			7,8 c	13,9 c
C + V			16,5 bc	20,5 abc
V			23,9 ab	29,4 ab
B			27,4 a	30,9 a
A	0-100	45	21,9 c	73,4 ab
A + V			19,9 c	69,7 b
C			16,5 c	74,6 ab
C + V			25,6 bc	69,6 b
V			41,9 ab	88,3 ab
B			53,3 a	89,6 a

Para todas las Tablas y Figuras, A: Avena; A + V: Avena con Vicia; C: Centeno; C + V: Centeno con vicia; V: Vicia; B: Barbecho. Para cada profundidad, letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Al momento de secado de los CC, para todas las profundidades analizadas, el barbecho fue el tratamiento que más AU presentó (Tabla 1). El contenido de AU almacenado en el barbecho fue un 96%, 200%, 151% y 85% (valores promedios entre los CC), superior al almacenado en los CC para 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm, respectivamente.

Al igual que para las diferentes profundidades, en 0-100 cm, todas las gramíneas (puras o consociadas) tuvieron significativamente ($p < 0,05$) menor AU respecto al barbecho, no observándose diferencias significativas con la leguminosa (vicia) (Tabla 1). Aquellos tratamientos con gramíneas presentaron mayor consumo de agua llegando a obtener al momento del secado valores inferiores a los 30 mm de agua útil en 0-100 cm (20% de la capacidad de retención de agua útil). Este mayor consumo de agua por parte de los CC se traduce en lo se denomina un “costo hídrico” (CH), el cual no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las gramíneas puras y consociadas, con valores entre 28 y 40 mm. La vicia fue el que menor CH presentó (11 mm), diferenciándose significativamente de A, A+V y C (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los reportados en ambientes semiáridos que demuestran que el contenido de agua disminuye entre 30 y 100 mm al realizar un CC (Quiroga *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2012). Conocer el efecto de los CC sobre la dinámica del agua en el suelo es una herramienta fundamental para el manejo de los CC en regiones semiáridas. En este caso la fecha de secado de los CC es una herramienta clave para su inclusión en regiones con déficit hídrico. En tal sentido, Fernández *et al.* (2012) evaluando al centeno como CC, obtuvieron mayor AU en aquellos tratamientos con fechas de secado julio/agosto comparadas con el barbecho tradicional.

Tabla 2. Uso consuntivo (UC), costo hídrico (CH) y eficiencia en la utilización del agua (EUA) para los diferentes cultivos de cobertura.

Tratamientos	UC	CH	EUA
	mm		kg MS/mm
A	154 a	-31,9 a	20,8 b
A + V	117 b	-39,6 a	23,9 b
C	114 b	-36,8 a	36,0 a
C + V	105 bc	-27,8 ab	38,6 a
V	88 cd	-11,3 b	16,6 b
B	77 d	-	-

MS: Materia Seca. Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las precipitaciones ocurridas durante el período del barbecho, entre la supresión de los CC y la siembra del maíz, fueron de 106 mm (Figura 4) lo que permitió recargar el perfil en los primeros 40 cm para el caso de los CC (Tabla 1). En 0-

20 cm, el C almacenó 27 mm, diferenciándose significativamente del resto de los CC (excepto A+V) y B, mientras que para 20-40 cm no hubo diferencias significativas entre tratamientos, con valores entre 17 y 21 mm. Sin embargo, por debajo de los 40 cm, en general se midieron valores de AU inferiores a las del barbecho, con diferencias significativas con A+V y C+V para 40-60 cm, y A+V y C para 60-100 cm.

La recarga hídrica en los primeros 40 cm, ocurrida en los CC, permitió acumular en 0-100 cm entre 70 y 90 mm de AU, lo cual representa entre el 48-62% de la capacidad de retención de agua útil. Las consociaciones fueron las que presentaron menor contenido de AU respecto al barbecho (70 mm vs 90 mm), mientras que el resto de los tratamientos no presentaron diferencias significativas (Tabla 1).

Producción de biomasa aérea de los cultivos de cobertura

A la supresión de los CC se determinó la producción de MS aérea de las gramíneas puras y consociadas, siendo A+V la de menor producción de MS (2841 kg/ha) diferenciándose significativamente de C (4176 kg/ha). En promedio, C y C+V presentaron valores de 4100 kg/ha de MS aérea, mientras que para A y A+V fue de 3000 kg/ha (Figura 5). La leguminosa presentó diferencias significativas respecto a los tratamientos anteriores, con una producción de MS de 1434 kg/ha (Figura 5), tal como los resultados obtenidos por varios autores (Neal *et al.*, 2011; Restovich *et al.*, 2012) donde las gramíneas duplicaron en producción a la leguminosa.

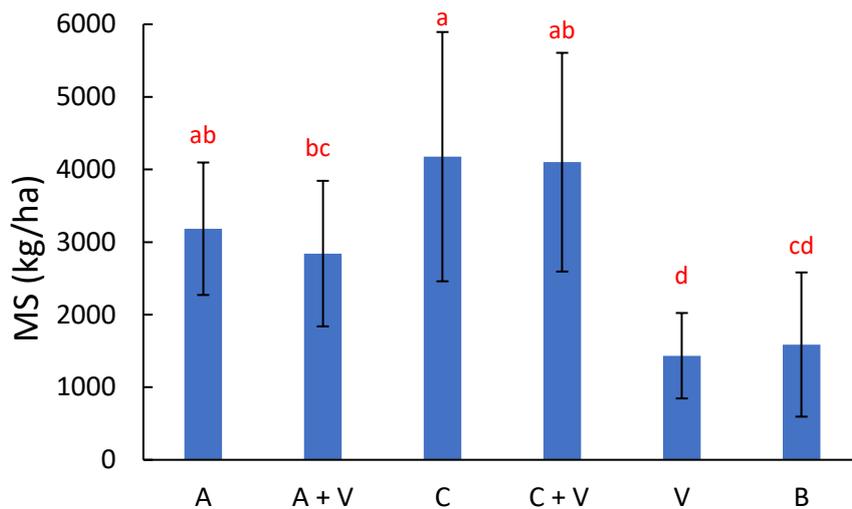


Figura 5. Producción de materia seca (MS) de los diferentes tratamientos al momento de supresión. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento ($p < 0,05$). Las barras verticales indican la desviación estándar.

La baja producción de MS de la vicia se corresponde con un lento crecimiento en etapas iniciales y un rápido crecimiento en primavera con el aumento de la temperatura (Sainju *et al.*, 1998). Este hábito de crecimiento distinto, en relación con las gramíneas, también influyó en la producción de MS. Respecto a la MS producida en el barbecho se corresponde con la presencia de malezas tales como; raigrás, avena fatua, entre otras, las cuales presentaron una producción de 1588 kg/ha. La diferencia de producción de MS de los distintos tratamientos, también se reflejó en la EUA, donde C y C+V presentaron valores de 36,0 y 38,6 kg MS/mm, respectivamente, diferenciándose significativamente de los demás CC, los cuales presentaron valores de EUA por debajo de 24 kg MS/mm (Tabla 2). Bajo similares condiciones edafoclimáticas, Frasier *et al.* (2009) obtuvieron valores de EUA de 35 kg de MS/mm/ha evaluado producción de centeno como CC.

El uso consuntivo (UC) presentó diferencias entre tratamientos (Tabla 2). El barbecho fue el de menor UC con 77 mm diferenciándose significativamente de las gramíneas puras o consociadas. Este consumo de agua se debió a la presencia de malezas espontáneas durante parte del período del barbecho. Entre los CC, el de menor UC fue la vicia con 88 mm. Los tratamientos C y C+V,

si bien presentaron mayor producción de MS, no condice con un mayor UC, siendo estos de 114 y 105 mm, respectivamente. Estos tratamientos reflejan la mayor eficiencia de producción de MS por mm por parte del centeno, mientras que A fue el tratamiento con mayor UC (154 mm) diferenciándose significativamente ($p < 0,05$) del resto de los tratamientos (Tabla 2).

Efecto del pastoreo sobre la materia seca y porcentaje de cobertura remanente

El consumo de MS por parte de los animales presentó un efecto diferencial según la especie, donde C y C+V fueron los tratamientos de menor consumo, dejando un remanente de MS del 94%, respecto a los mismos tratamientos no pastoreados, sin diferencias significativas entre los mismos (Figura 6). Este remanente cercano al 100%, se debe a la baja preferencia por parte de los animales por el centeno, el cual se encontraba en estado de encañazon.

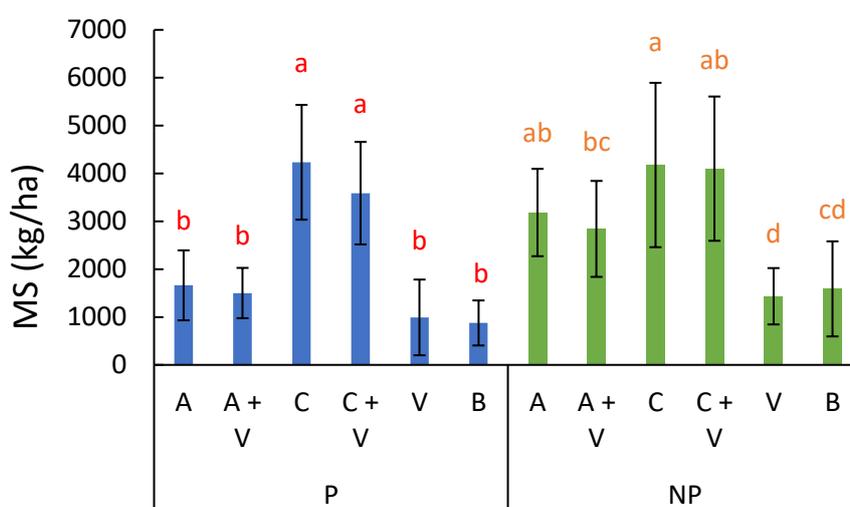


Figura 6. Materia seca (MS) remanente para los diferentes tratamientos pastoreados (P) y no pastoreados (NP). Para cada tratamiento de pastoreo, letras diferentes indican diferencias significativas entre CC.

Los restantes tratamientos pastoreados presentaron un remanente de MS significativamente ($p < 0,05$) inferior, sin diferencias significativas entre ellos, con valores inferiores a los 1700 kg/ha de MS. En estos casos, el remanente de MS

fue del 52%, 53%, 69% y 55%, para A, A+V, V y B respectivamente en comparación con las mismas parcelas sin pastorear (Figura 6).

El efecto de los tratamientos, asociado al hábito de crecimiento de las especies utilizadas, y el pastoreo, generaron diferentes cantidades de residuos remanentes, con valores mínimos y máximos de 303 y 6376 kg/ha, respectivamente. Al evaluar la cobertura de residuos a través del método de la fotografía (Cobcal), se observó una gran variabilidad en los datos obtenidos para cada tratamiento, con coeficientes de variación (CV) entre 21% y 103%, no encontrando diferencias significativas ($p>0,05$) por efecto del pastoreo o de los CC (Figura 7).

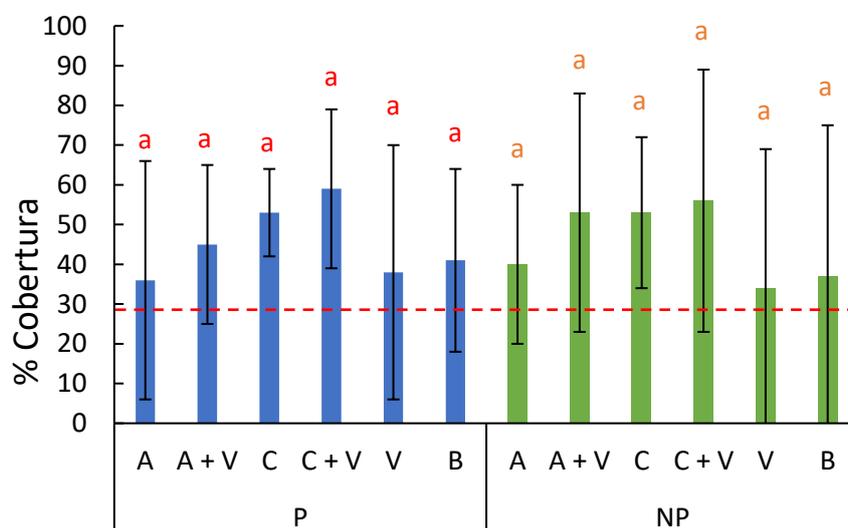


Figura 7. Porcentaje de cobertura de los tratamientos pastoreados y no pastoreados.

Esta gran variabilidad de los datos (Figura 7) podría deberse a la disposición de los residuos en el lote, el cual puede modificarse debido al pisoteo por los animales, donde distintos niveles de MS presentan niveles de cobertura similares. A modo de ejemplo, en la Figura 8, podemos observar cómo dos tratamientos, uno sometido a pastoreo y el otro sin pastorear, muestran una diferencia de 4748 kg MS/ha a favor del no pastoreado, sin embargo, las diferencias en los porcentajes de cobertura no lo reflejan (74% y 86%, para pastoreado y no pastoreado respectivamente).

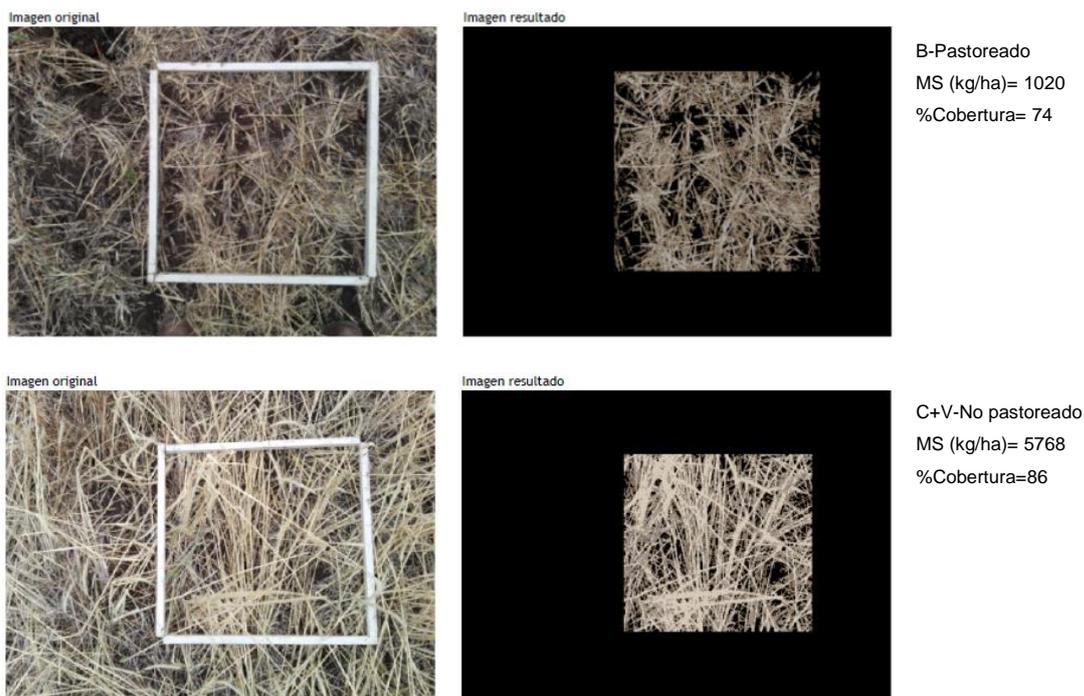


Figura 8. Efecto del pisoteo animal en la disposición de los residuos.

Sin embargo, todos tratamientos pastoreados y no pastoreados, presentaron niveles de cobertura por encima de 30% (Figura 7), el cual es uno de los requisitos necesario para ser considerado agricultura de conservación. Datos recopilados en la región durante 3 campañas sobre un total de 123 lotes bajo siembra directa, presentaron en más de la mitad de los mismos valores de cobertura por debajo del 30% (López *et al.*, 2015).

Si bien no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura entre tratamientos, se observó una relación lineal significativa ($R^2= 0,68$, $p<0,01$) entre los valores medios de MS remanente y % de cobertura (Figura 9). Se logra apreciar que los tratamientos no pastoreados mostraron una tendencia hacia valores de MS más elevados (Figura 6), con valores entre 2800 y 4200 kg MS/ha, junto con mayores % de cobertura, entre 40 y 60%. Mientras que, para los tratamientos pastoreados, en general, presentaron valores de MS más bajos, entre 800 y 1500 kg MS/ha (Figura 6), arrojando porcentajes de cobertura entre 30 y 50% (Figura 9).

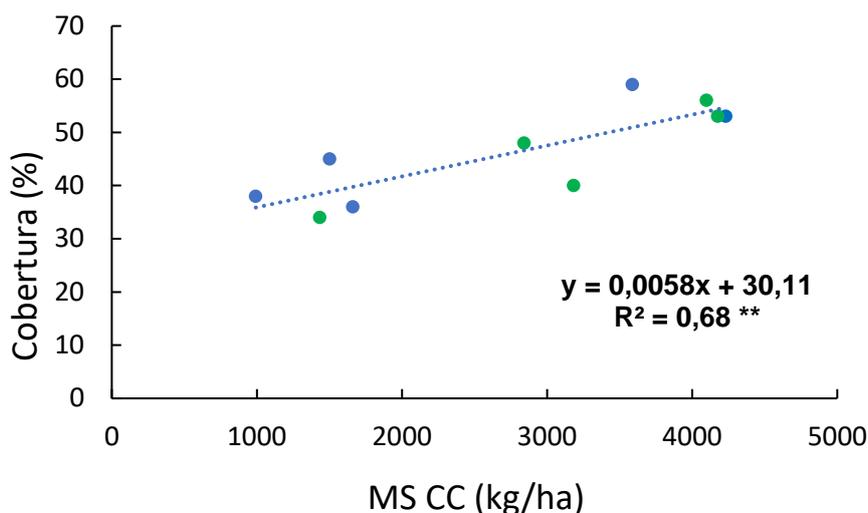


Figura 9. Relación entre materia seca (MS) y el porcentaje de cobertura. Puntos azules: tratamientos pastoreados, puntos verdes: tratamientos no pastoreados.

Eficiencia de barbecho

El suelo sobre el que se realizó el ensayo tiene una capacidad de retención de agua disponible de 146 mm en 0-100 cm. Si tenemos en cuenta las precipitaciones ocurridas desde la siembra de los CC hasta la siembra del maíz (236 mm) (Figura 4) y contenido de inicial de AU (45 mm, Tabla 1) resulta una lámina de 281 mm. Dicha lámina casi duplica la capacidad de retención del suelo dejando en evidencia que la mayor parte de la misma no puede ser almacenada. Es decir, que por lo menos se estaría perdiendo la mitad del agua caída por evaporación, percolación, escorrentía, drenaje profundo, entre otras vías, sin intervenir en los procesos productivos debido a las características intrínsecas del suelo. Las eficiencias hídricas de barbecho (EHB) para B sería de 19%, valor por debajo de los informados, para región semiárida, por Quiroga et al. (2003) los cuales fueron alrededor del 30% para sistemas bajos siembra directa.

En el caso del barbecho corto, es decir, entre la supresión de los CC y la siembra del maíz, presentaron diferentes contenidos de AU inicial debido a los distintos CH de los CC (Tabla 1). Para las gramíneas, puras y consociadas, los valores de AU estuvieron entre 16 y 26 mm y no presentaron diferencias significativas entre sí. En cambio, el B y V, presentaron mayores valores de AU de 53 y 42 mm, respectivamente (Tabla 1). En estos casos, las lluvias ocurridas durante

dicho período (106 mm), permitieron recargar el perfil a distintos porcentajes, siendo el B el que mayor nivel de recarga alcanzó (73%) debido a su mayor longitud y menor consumo, mientras que los CC presentaron una recarga del 56%, 60% y 72% para las consociaciones (A+V y C+V), las gramíneas puras (C y A) y la leguminosa (V), respectivamente.

Las EHB comprendidas entre supresión de CC y siembra de maíz, presentaron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 10) siendo C y A los tratamientos con mayor EHB, con 55 y 49% respectivamente, diferenciándose significativamente ($p < 0,05$) de B (34%). Estos resultados pueden deberse a dos motivos. En primer lugar, tanto C y A, comenzaron el barbecho con valores más bajos de AU respecto a B (Tabla 1), donde aquellos con el menor contenido hídrico, frente a la misma cantidad de precipitaciones, serán más eficientes para almacenar esas precipitaciones. En segundo lugar, la mayor cantidad de residuos en C y A, en relación con B (Figura 5) permitiría mejorar la captación y retención de agua en el perfil, a través de una menor predisposición al sellado/encostramiento y una menor evaporación. Además, la escasa cobertura del tratamiento B aumentaría la temperatura del suelo asociándose a mayores tasas de evaporación, tal como fue descrito por Fernández *et al.* (2008). Según Torre (2004), los residuos en la superficie del suelo además de reducir la cantidad de radiación solar directa que llega al suelo, reflejan mayor cantidad de radiación a la atmósfera, ya que el manto vegetal suele tener un albedo superior al suelo desnudo, lo que permite disminuir las pérdidas de agua por evaporación. El resto de los tratamientos mostraron eficiencias intermedias, sin diferenciarse significativamente de los de mayor eficiencia como tampoco del de menor eficiencia, con valores de 47, 42 y 44 %, para A+V, C+V y V respectivamente.

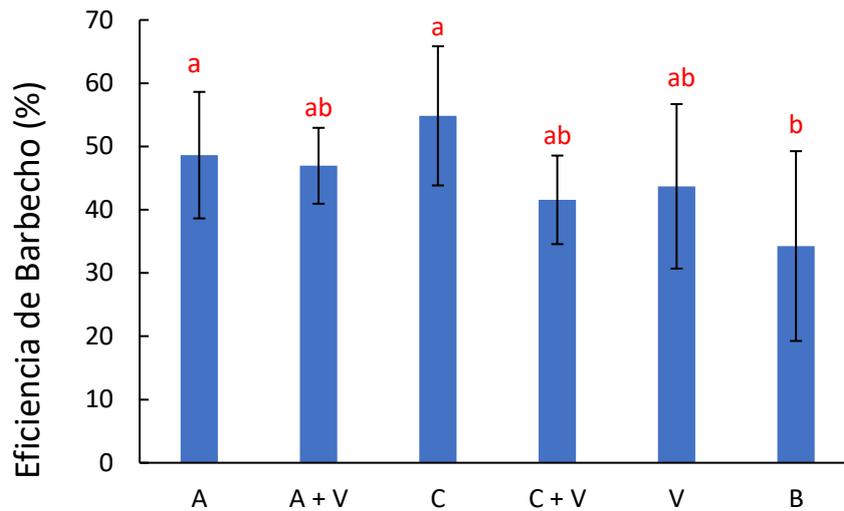


Figura 10. Eficiencia hídrica de barbecho para cada CC.

En la Figura 11 se puede observar una relación lineal significativa ($R^2= 0,67$, $p<0,05$) entre los valores medios de EHB y la MS de residuos. Esta relación permite observar cómo aumenta la EHB a medida que los niveles de cobertura son mayores, en coincidencia con lo propuesto por Fernández *et al.* (2008) donde, en regiones semiáridas, la EHB varió con el nivel de cobertura del suelo entre -17 a 41%, con mayores valores en suelos con alto nivel de cobertura de residuos. También, Quiroga *et al.* (2005), evaluando distintas prácticas de manejo que condicionan la EHB, comprobaron que el nivel de cobertura afectó significativamente la eficiencia del barbecho en lo relacionado con la acumulación de agua.

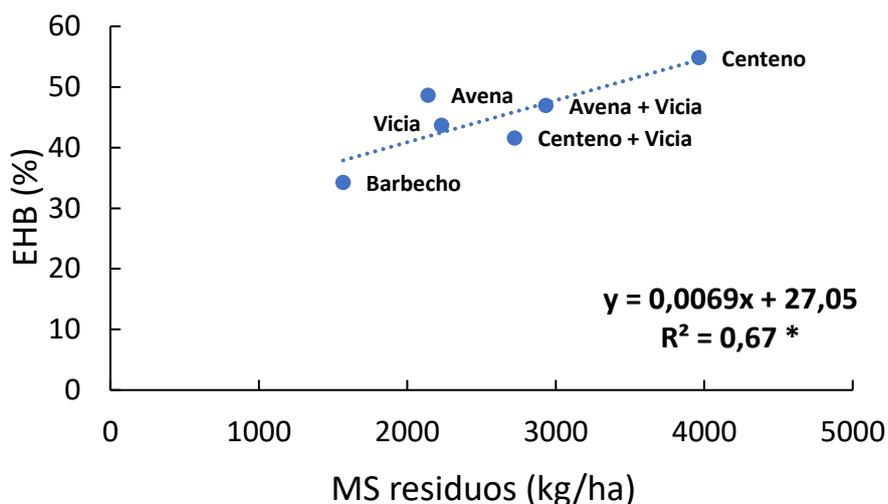


Figura 11. Relación entre la eficiencia hídrica del barbecho (EHB) y nivel de residuos.

Si consideramos el valor promedio de AU de los tratamientos con gramíneas (puras y consociadas) al momento de supresión, el mismo fue de 21 mm (Tabla 1), en un suelo que posee una capacidad de AU de 146 mm; es decir se necesitarían aproximadamente 125 mm para llevar el perfil a capacidad de campo. Para el caso del ensayo, en donde los CC se suprimieron a principios de octubre y tomando como fecha objetivo de siembra del cultivo de maíz fines de noviembre, la probabilidad de que en ese período (octubre-noviembre) las precipitaciones acumulen 100 mm, es del 37% (Figura 12), es decir 4 de cada 10 años se podría recargar el perfil. En cambio, si se adelantara un mes la supresión de los CC (septiembre) la probabilidad de que lluevan 125 mm es del 63%, mientras que si atrasáramos un mes la supresión (noviembre), la probabilidad disminuye al 5%. Estos resultados demuestran que el éxito de incluir CC en regiones semiáridas como el sudoeste bonaerense, va estar ligado a la elección de fechas de supresión tempranas, factor que nos va a determinar el agua que vamos a poder acumular al momento de la siembra del cultivo de verano. Según los resultados obtenidos, para asegurar la recarga del perfil, no deberían ser fechas posteriores a los primeros días de septiembre.

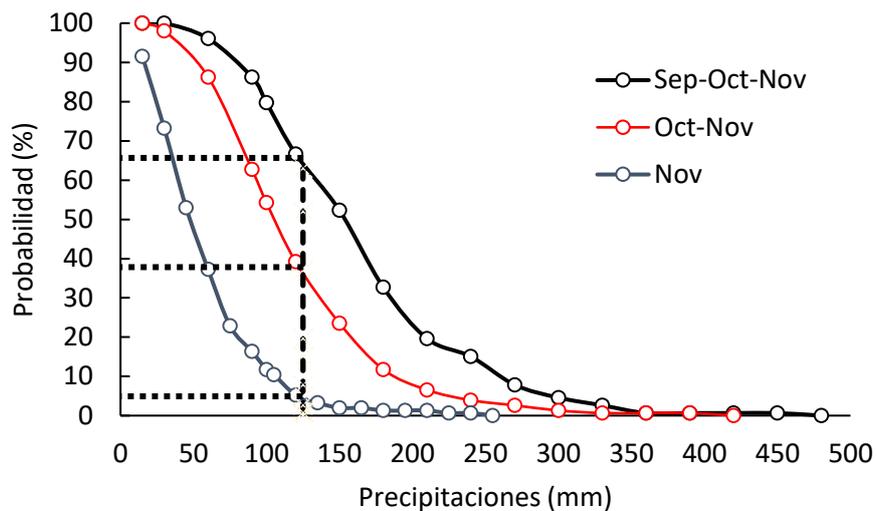


Figura 12: Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones acumuladas de 125 mm para los períodos septiembre - noviembre (línea negra), octubre - noviembre (línea roja) y noviembre (línea azul), para el promedio histórico (1860 - 2016).

Producción de MS de maíz

Al momento de analizar los resultados de producción de MS de maíz, se encontró interacción significativa ($p < 0,05$) Tratamiento*Pastoreo (Tabla 5, anexo) por tal motivo los mismo deben de ser analizados por separado.

Para el caso de los tratamientos pastoreados, no se hallaron diferencias significativas entre tratamientos, con valores entre 1600 y 2500 kg MS/ha de maíz (Figura 13). Para los tratamientos no pastoreados se encontraron diferencias significativas donde los tratamientos C (2627 kg MS/ha) y B (2391 kg MS/ha) presentaron mayores producciones de MS, sin diferencias significativas entre ambos. Los menores rendimientos se observaron en A y V, diferenciándose significativamente de los anteriores, con valores de 1809 y 1872 kg MS/ha, respectivamente. Los tratamientos A+V y C+V presentaron valores intermedios con producciones de 2001 y 2140 kg MS/ha, respectivamente. (Figura 13).

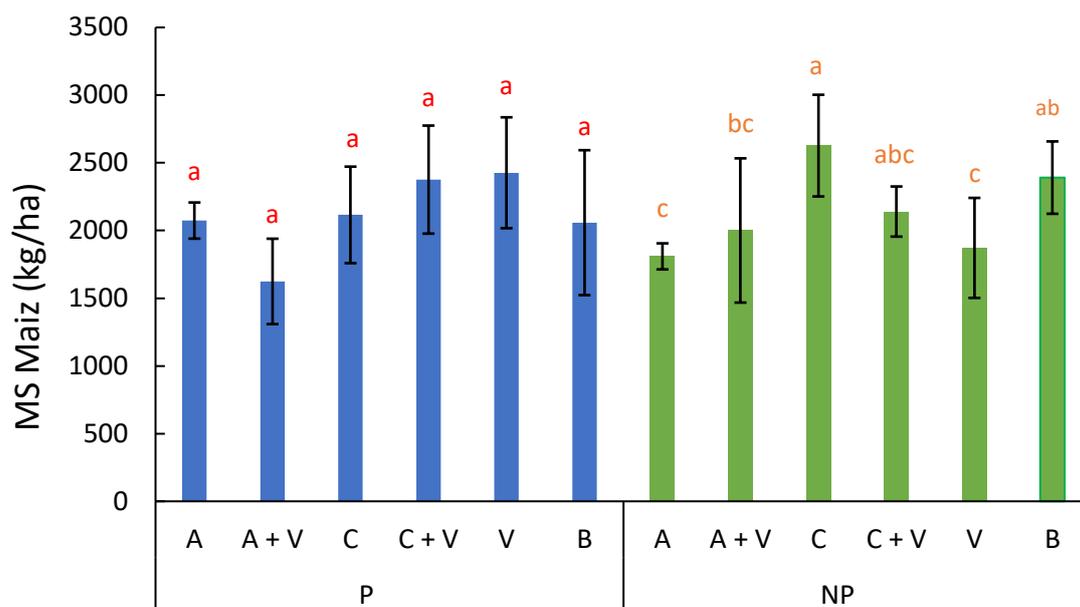


Figura 13. Producción de MS de maíz para los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

En la Figura 14 observamos una relación lineal no significativa ($R^2=0,14$, $p > 0,05$) entre producción de MS del maíz y AU a la siembra del maíz. Si bien el agua almacenada durante los períodos de barbecho es un factor importante cuando se realizan cultivos en regiones semiáridas, se puede ver que no necesariamente valores mayores de AU a la siembra representan mayores valores de producción de MS. Esta nula respuesta del rendimiento con el agua almacenada a la siembra puede ser atribuida a las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de cultivo (120 mm, período noviembre, diciembre, enero y febrero), las cuales fueron erráticas e insuficientes para un correcto crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz. Resultados similares fueron reportados por Capurro *et al.* (2010) evaluando distintas especies de CC en secuencia soja-soja. Dichos autores concluyeron que el rendimiento del cultivo, estuvo asociado a las condiciones de precipitaciones y temperaturas, y no estuvieron asociados a los tratamientos de cobertura.

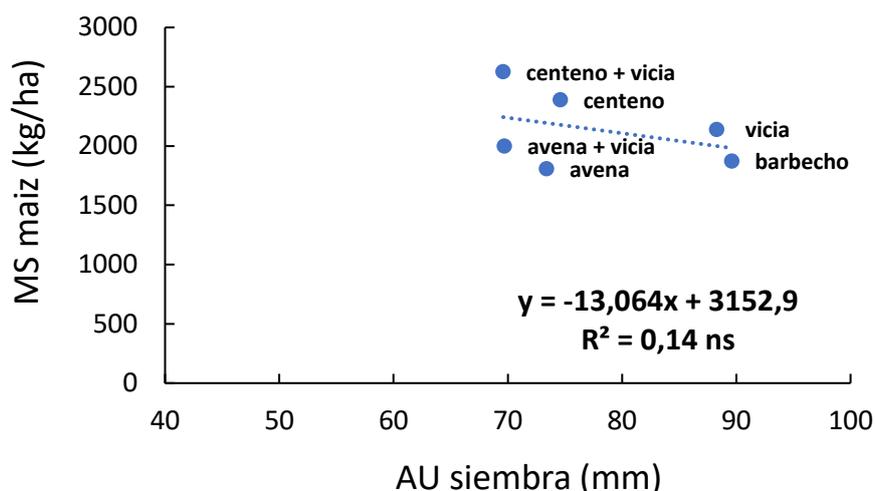


Figura 14. Relación entre producción de materia seca (MS) y agua útil (AU) a la siembra.

Conclusión

La inclusión de CC en el sistema permitió disminuir las pérdidas de agua por evaporación producidas durante los barbechos largos tradicionales para un cultivo de verano. De las especies evaluadas como CC, el centeno (puro o consociado) acumuló el nivel más alto de biomasa aérea junto con una mayor EUA.

Los residuos remanentes de los CC, regularon la EHB, donde por cada 1000 kg/ha de residuos remanentes la EHB aumento un 7%, mejorando así el aprovechamiento de las precipitaciones durante el barbecho de verano. La menor cantidad de residuos remanentes en los tratamientos pastoreados disminuyó el efecto de esta práctica sobre la conservación del agua en el suelo, ya que la biomasa remanente fue uno de los parámetros que mejor explicó la dinámica hídrica en el perfil del suelo.

La producción de MS de maíz fue influenciada por las precipitaciones durante el ciclo, y no por el efecto del CC antecesor. Sin embargo, tampoco el barbecho tradicional mejoró el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz.

A partir de los resultados del presente estudio indicarían que los CC, serían una alternativa eficiente en las regiones semiáridas, para la generación de biomasa, y por ende el aporte de carbono al suelo, donde su CH no afectaría al cultivo

siguiente siempre y cuando se maneje correctamente la fecha de secado de los mismos. Se necesitaría continuar con el estudio de dicha práctica en la región con el propósito de establecer pautas de manejo (densidad de siembra, especie seleccionada, fecha de siembra y secado) que permitan obtener efectos positivos sobre el cultivo sucesor además de los ambientales ya mencionados en este trabajo.

Bibliografía

- Álvarez, C. & C. Scianca. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas. Boletín para profesionales. Jornada profesional agrícola. 28 y 29 de septiembre de 2006.
- Álvarez, C., C. Scianca, M. Barraco, A. Quiroga & M. Díaz Zorita. 2009. Impacto de diferentes coberturas invernales sobre el movimiento de agua en suelo. Jornadas Nacionales Sistemas productivos sustentables: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca, 10 y 11 de agosto de 2009.
- Álvarez, C.O., A.R. Quiroga, E.J. Noellemeyer & R. Fernández. 2013. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción.
- Amiotti, N., M.C. Blanco, M.E. Bouza, O. Bravo, M.P. De Lucia, S. Grill, R. Kiessling, E. Schmidt & P. Zalba. 2014. Libro de la Gira Edafológica en el marco del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Ed. Asociación Argentina de la ciencia del suelo con auspicio de ACES- Universidad de Illinois. Imprenta grafimax, Bahía Blanca. 44 pp (ISBN Actas: 978-987-24771-6-5).
- Baigorria, T. & C. Cazorla. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 31 de mayo -4 de junio, Rosario.
- Blake, G.R. & K.H. Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.) Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy. Cap.13, p 363-375
- Blanco-Canqui, H., T.M. Shaver, J.L. Lindquist, C.A. Shapiro, R.W. Elmer, C.A. Francis & G.W. Hergert. 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agron. J.* 107:2449-2474.
- Capurro, J., J. Sujanck, J. Andriani, M. Dickie & M. González. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en el área sur de la provincia de Santa Fe. En: XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Rosario, Argentina.
- Caviglia, O.P. & F. Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol.* 3, 1-8.
- De Battista, J., A. Andriulo & C. Pecorari. 1992. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. *Ciencia del Suelo* 10-11, 89-93.

- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada & C.W. Robledo. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz-Zorita, M., G.A. Duarte & J.H. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Tillage Research* 65: 1-18.
- Duval, M.E., J.E. Capurro, J.A. Galantini & J.M. Andriani. 2015. Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del suelo*, 33(2), 247-261.
- Eiza, M. & P. Carfagno. 2009. Un aporte a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. *Agropost online*, (100).
- Fernández, R., D. Funaro & A. Quiroga. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. *Boletín de divulgación Técnica N° 87*. EEA INTA Anguil.
- Fernández, R., A. Quiroga, F. Arena, C. Antonini & M. Saks. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Quiroga A., A. Bono (Editores). *Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos*. EEA INTA Anguil, pub. Téc. 51:59.
- Fernández, R., A. Quiroga, E. Noellemeyer, D. Funaro, J. Montoya, B. Hitzmann & N. Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agric. Water Manag.* 95: 1028-1040.
- Fernández, R., A. Quiroga & E. Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del suelo*, 30(2). 137-150.
- Ferrari, D., O. Pozzol & H. Ferrari 2008. Desarrollo de software para estimación de cobertura vegetal. VII Congreso latinoamericano y del caribe de Ingeniería Agrícola. V Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. 58 p.
- Frasier, I., R. Fernández & A. Quiroga. 2009. Valoración de especies invernales como cultivos de cobertura. *Sistemas Productivos Sustentables, Fósforo, Nitrógeno y Cultivos de Cobertura*. Bahía Blanca. 10 y 11 de agosto.

- Huang, M., M. Shao, L. Zhang & Y. Li. 2003. Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. *Soil Till Res.* 72(1), 95-104.
- Islam, N., W. Wallender, J. Mitchell, S. Wicks & R. Howitt. 2006. A comprehensive experimental study with mathematical modeling to investigate the effects of cropping practices on water balance variables. *Agricultural Water Management* 82: 129-147.
- Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery. 1961. Land Capability Classification, USDA Agriculture Handbook No. 210. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC
- Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods, In: *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, pp. 635-662.
- López, F.M., M.E. Duval, J.M. Martínez & J.A. Galantini. 2015. Cobertura en el sudoeste bonaerense en suelos bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 33(2): 273-281.
- Lu, Y.C., K.B. Watkins, J.R. Teasdale & A.A. Abdul-Baki. 2000. Cover crop in sustainable food production. *Food Rev. Int.* 16: 121-157.
- Mathews, O.R. & T.J. Army. 1960. Almacenamiento de humedad en tierras de trigo en barbecho en las Grandes Llanuras. *Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de América*, 24 (5), 414-418.
- Mormeneo, I. & R. Díaz. 2003. Método para clasificar la anomalía de las lluvias. *Rev. Brasileira de Agrometeorología*, Santa María, v.11, n1, p.159-167.
- Nielsen, D.C & M.F. Vigil. 2005. Legume green fallow effects on soil water content at wheat planting and wheat yield. *Agron. J.* 97, 684–689.
- Neal, J., W. Fulkerson & R. Hacker. 2011. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 98(5): 759-774.
- Quiroga, A., D. Funaro & O. Ormeño. 2003. Aspectos del manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. En: *Trigo actualización 2003*, INTA Anguil, Bol. Tec. 76:33-44.
- Quiroga, A.R., D.O. Funaro, R. Fernández & E.J. Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *Ciencia del suelo*, 23(1), 79-86.

- Quiroga, A., P. Carfagno, M.J. Eiza & R. Michelena. 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.
- Restovich, S.B., A.E. Andriulo & S.I. Portela. 2012. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Res.* 128: 62-70.
- Richards, L.A. 1947. Pressure-membrane apparatus-construction and use. *Agricultural Engineering* 28, 451-454.
- Ruffo, M. & A. Parsons. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 21(1), 13-15.
- Sainju, U.M., B.P. Singh & W.F. Whitehead. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agron. J.* 90: 511-518.
- Salako, F.K. & G. Tian. 2003. Soil water depletion under various leguminous cover crops in the derived savanna of West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100, 173–180.
- Satorre, E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. En: *Bolsa de Cereales de Buenos Aires* (ed.).
- Schipanski, M.E., M. Barbercheck, M.R. Douglas, D.M. Finney, K. Haider, J.P. Kaye, A.R. Kemanian, D.A. Mortensen, M.R. Ryan, J. Tooker & C. White. 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agr. Syst.* 125: 12-22.
- Scianca, C. 2010. Cultivo de cobertura en Molisoles de la región pampeana: Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 80 Pág.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources 22 Conservation Service, Washington, DC.
- Torre, P.F. 2004. Estudio de la influencia del manejo del suelo en el régimen térmico de los Vertisuelos de la Vega de Carmona. Año 2 N° 2. *CAREL*. 403-423.

Anexo

Tabla 1. Descripción morfológica del suelo Haplustol entico, franco grueso, mixto, térmico.

Horizonte	Descripción
Ap 0-10 cm	Gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares, medios y finos, débiles; friable; poco consociado; escasas raíces; claro y plano.
A2 10-27 cm	Negro (10 YR 2/1) en húmedo; franco arcillo arenoso; bloques subangulares, medios, débiles a moderados; friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; comunes pellets fecales; claro y plano.
AC 27-47 cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; franco arcillo arenoso: bloques subangulares, medios, débiles; friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; escasos pellets fecales; claro y plano.
C 47-71 cm	Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares, finos y medios, débiles; friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; abrupto y plano.
Ck1 71-89 cm	Pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares, gruesos, débiles, muy friable; poco consolidado a consolidado; escasas raíces muy finas; moderada reacción al HCl 10 % en la masa, escasas concreciones finas de CaCO ₃ alóctonas, abrupto y plano a ondulado.
2Ck2 89-113 cm	Pardo muy claro (10 YR 7/4) en húmedo; arenoso franco; matriz grano simple; consolidado; muy escasas raíces; fuerte reacción al HCl 10% en la masa, abundantes concreciones alóctonas de CaCO ₃ y fragmentos de tosca; abrupto y ondulado.
3Ck3 113-183 +	Pardo claro (10 YR 6/3) en húmedo; masivo; muy consolidado; muy firme; muy fuerte reacción al HCl 10 % en la masa.

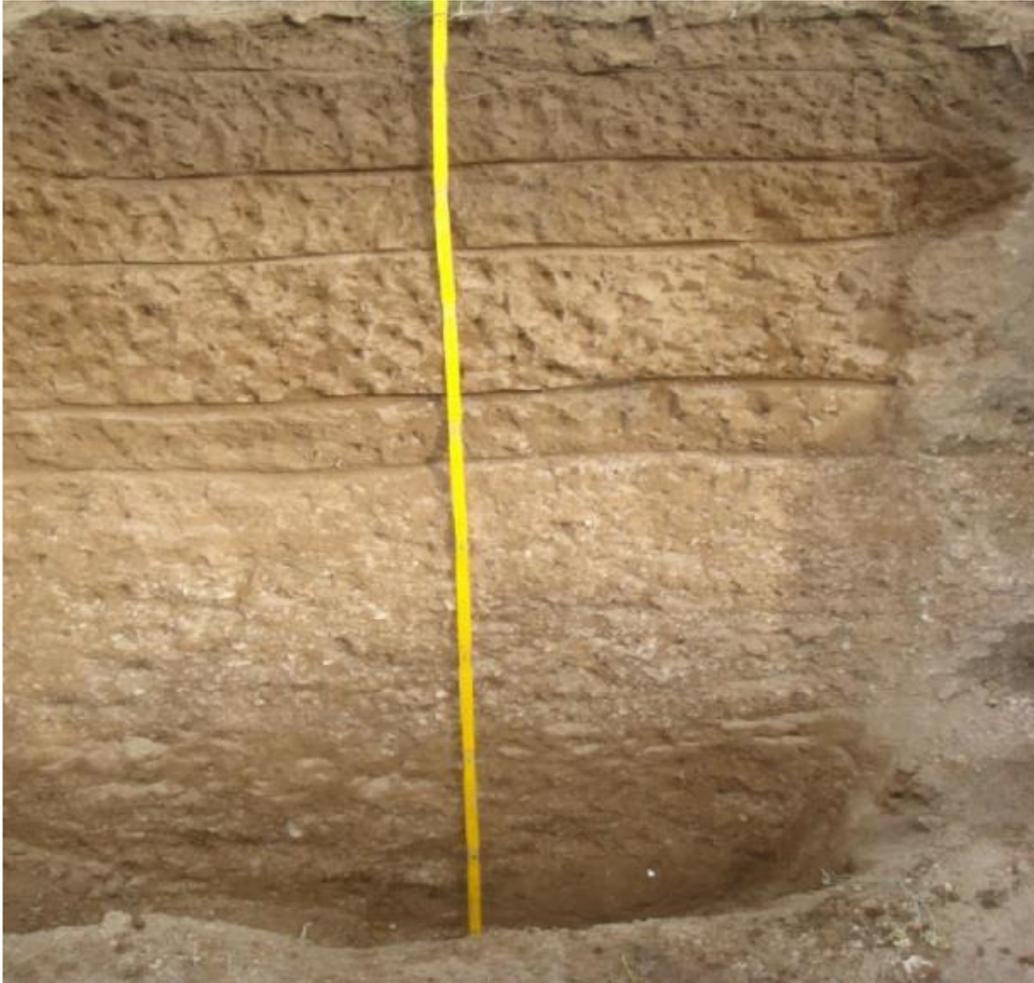


Figura 1. Perfil del Haplustol entico.

Tabla 2. Densidad aparente (DA) y Constantes hídricas (mm) para las diferentes profundidades analizadas.

Profundidad cm	DA Mg/m ³	PMP	CC mm	AUT
0-20	1,25	25,0	55,3	30,3
20-40	1,16	24,7	52,9	28,3
40-60	1,16	23,3	51,3	28,0
60-100	1,16	44,5	103,7	59,3
0-100	1,18			145,8

PMP: punto de marchitez permanente; CC: capacidad de campo; AUT: agua útil total.

Tabla 3. Análisis de la varianza del agua útil a la supresión de los CC (AUs) y a la siembra del maíz (AUm).

Profundidad cm	Tratamientos	
	AUs	AUm
0-20	ns	*
20-40	*	ns
40-60	*	ns
60-100	*	ns
0-100	**	ns

Para todas las tablas continuas; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$; ns: no significativo.

Tabla 4. Análisis de la varianza para las diferentes variables hídricas y de cultivo

Variable	Tratamientos
CH	*
UC	***
EUA	**
MS CC	***
EHB	ns

CH: costo hídrico; UC: uso consuntivo; EUA: eficiencia de la utilización del agua; MS CC: materia seca de los cultivos de cobertura; EHB: Eficiencia hídrica de barbecho.

Tabla 5. Análisis de la varianza para los residuos remanentes (% y Mg/ha) y el rendimiento del maíz (Mg/ha).

Variable	Tratamiento	Pastoreo	Tratamiento*Pastoreo
Residuos (%)	*	ns	*
Residuos (Mg/ha)	*	ns	*
MS maíz	ns	ns	**

MS: materia seca.