

**CULTIVOS DE COBERTURA EN EL SUDOESTE BONERENSE: COSTO
HÍDRICO, PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA Y EFECTO SOBRE EL
CULTIVO SUCESOR**



JUAN IGNACIO WAIMANN

DOCENTE TUTOR:
DR. MATIAS E. DUVAL

DOCENTES CONSEJEROS:
MSc. MARIANA E. BOUZA
DR. MAXIMILIANO GARAY

Dto. de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.

2022

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 expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que hicieron posible de alguna forma la realización de este trabajo.

A mi familia, especialmente a mi mamá, papá y hermanas por sus consejos, compañía, apoyo incondicional y, principalmente, por darme la posibilidad y libertad de estudiar.

A todos mis amigos que me apoyaron y acompañaron en el transcurso de estos años para que todo sea más llevadero.

A mi Tutor, Dr. Matías Duval por su paciencia, profesionalismo y buena onda para guiarme en la realización de este trabajo.

A mis consejeros, MSc. Mariana Bouza y Dr. Maximiliano Garay, por sus aportes y correcciones.

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

A todo el personal del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

A la sociedad en general que, fruto de su trabajo diario, permite que la educación sea pública y de excelencia académica.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1. Sitio de estudio	4
2.2. Tratamientos y manejos.....	5
2.3. Determinaciones.....	7
2.3.1. Densidad aparente (DA)	7
2.3.2. Humedad.....	8
2.3.3. Biomasa aérea	9
2.3.4. Biomasa de raíces	9
2.3.5. Cobertura de residuos	11
2.3.6. Aportes de carbono (biomasa aérea+raíces)	11
2.3.7. Producción de maíz	11
2.4. Análisis de datos	11
3. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	12
3.1. Condiciones climáticas	12
3.2. Dinámica hídrica.....	13
3.3. Producción de biomasa de los CC.....	17
3.3.1. Biomasa aérea y cobertura.....	17
3.3.2. Biomasa radical	19
3.4. Aportes de carbono (biomasa aérea+raíces)	21
3.5. Producción de materia seca del cultivo de verano	22
4. CONCLUSIÓN.....	24
5. BIBLIOGRAFÍA.....	25
6. ANEXO	30

RESUMEN

En la región semiárida pampeana en general y en el sudoeste bonaerense en particular, el principal factor determinante de la productividad en sistemas de secano, son las precipitaciones. A su vez, la evaporación representa la mayor pérdida de agua (50-75% del total anual), ocurriendo mayoritariamente durante el periodo de barbecho. Dichas pérdidas se pueden disminuir con la inclusión de coberturas vivas como los cultivos de cobertura (CC), durante parte del periodo de barbecho. Por tal motivo, el objetivo del trabajo fue evaluar la factibilidad de incluir dichos CC analizando: I) cómo influyen en la dinámica del agua en el suelo, II) los aportes de carbono por la biomasa (parte aérea + raíces) de los CC (con y sin pastoreo) y III) el efecto sobre el cultivo sucesor maíz (*Zea mays L.*). El estudio se realizó sobre un Haplustol éntico, con un diseño experimental constituido por parcelas en bloques divididos completos aleatorizados con cuatro repeticiones, utilizándose los siguientes CC (tratamientos): centeno (C) (*Secale cereale L.*), avena (A) (*Avena sativa L.*), vicia (V) (*Vicia villosa*) y sus consociaciones (C+V y A+V). Además, se realizó un barbecho (B) testigo sobre el cual se dejó cubierto con rastrojo del cultivo antecesor. A su vez, los tratamientos fueron divididos en dos subtratamientos: pastoreado (P) y no pastoreado (NP). Al inicio del ensayo, se realizó la caracterización física del suelo determinando densidad aparente (DA) y las constantes hídricas (capacidad de campo y punto de marchitez permanente). Se determinó el contenido de humedad del suelo hasta los 100 cm de profundidad en cuatro momentos: supresión de los CC, siembra, estadio V6 y madurez fisiológica del maíz. Por otro lado, en los CC se calculó la producción de la biomasa aérea y de raíces y su nivel de cobertura luego de su supresión, mientras que en el maíz se determinó la producción de materia seca (MS). El costo hídrico (CH) de incluir CC varió entre 11 y 40 mm, con mayores consumos en los tratamientos que incluían gramíneas para todas las profundidades evaluadas. Sin embargo, al momento de la siembra del maíz, en los primeros 40 cm del perfil no hubo diferencias significativas en el agua acumulada como consecuencia de los 106 mm precipitados desde la supresión de los CC. La biomasa aérea producida por los CC (kg MS ha^{-1}), uno de los

parámetros que mejor explicó la dinámica hídrica en el perfil del suelo, fue de: 4146, 4100, 3184 y 2841 kg ha⁻¹ para C, C+V, A y A+V, respectivamente. Por otra parte, la biomasa radical fue en C+V significativamente superior a B (4314 y 2766 kg ha⁻¹, respectivamente). Los aportes de carbono por biomasa aérea presentaron diferencias por efecto del pastoreo, siendo NP significativamente ($p < 0,05$) superior a P (2676 y 2356 kg C ha⁻¹, respectivamente). A su vez, B (1636 kg C ha⁻¹) fue el tratamiento con menores aportes de carbono mientras que C+V, con 3379 kg C ha⁻¹, fue el tratamiento con los mayores aportes de carbono. La producción de maíz presentó valores inferiores a los 2700 kg MS ha⁻¹, donde en general el barbecho tradicional no acusó rendimientos significativamente superiores al resto de los tratamientos. Estos bajos rendimientos se asociaron a la escasez e irregularidad de las precipitaciones durante el ciclo del cultivo, encontrando escasas o nulas diferencias asociadas a los tratamientos (CC), pastoreo y fertilización.

1. INTRODUCCIÓN

Los actuales sistemas agrícolas de la región pampeana presentan una escasa reposición de carbono y nutrientes al suelo (Sainz Rozas *et al.*, 2019) ya que, a partir de la década del 90, se intensificó el uso agrícola de los suelos aumentando tanto en superficie como en productividad a causa de un mayor uso de tecnologías (Satorre, 2003). Los sistemas mixtos de 4-5 años de pasturas perennes seguidos de 5-8 años de cultivos anuales han sido reemplazados por secuencias continuas de cereales y oleaginosas anuales (De Battista *et al.*, 1993). La expansión de estos sistemas agrícolas bajo siembra directa (SD) con predominio del monocultivo de soja (*Glycine max L.*), desplazando al maíz y trigo (*Triticum aestivum L.*), incrementa el riesgo de pérdida de agua por drenaje (Salado-Navarro & Sinclair, 2009) y de nitrógeno por lixiviación durante el barbecho otoño invernal (Andriulo *et al.*, 1999; Portela *et al.*, 2006). Además, los limitados aportes de rastrojos junto con su baja relación C:N afectan la conservación de los contenidos de materia orgánica (MO) y el mantenimiento de adecuados niveles de cobertura (Ruffo, 2003) llevando, en el largo plazo, al empobrecimiento de los suelos.

El sudoeste bonaerense (SOB) semiárido no escapó a estos cambios y, por su vulnerabilidad ecosistémica, presenta un desafío importante a la hora de mantener la sustentabilidad de dichos sistemas (De Leo *et al.*, 2020). Bajo este contexto, los sistemas agrícolas deben ser manejados con una mayor diversidad de especies para asegurar sistemas ambientalmente sustentables, siendo los cultivos de cobertura (CC) una alternativa agronómica viable para complementar la SD. Los CC, cuyo objetivo son mejorar aspectos del suelo o los cultivos que se realizan en la rotación con fines productivos (Lu *et al.*, 2000; Duval *et al.*, 2015), se establecen entre cultivos de cosecha y no son pastoreados, incorporados ni cosechados, quedando los residuos en superficie protegiendo al suelo de los procesos de erosión (Reeves, 1994) y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radicular de los mismos (Mullen *et al.*, 1998; Ruffo, 2003). Además, los CC presentan una gran cantidad de beneficios: genera macroporosidad, mejora la distribución de agua y el drenaje, disminuye la erosión hídrica y eólica,

supresión o retardo de emergencia de malezas, aporte de C y N, almacenaje de agua (relación transpiración/evaporación), disminuye la lixiviación de nutrientes, controla la recarga del suelo (principalmente en ambientes con problemas de inundaciones), reduce el ascenso de sales, disminuye la temperatura del suelo (estrés térmico) y permite el anclaje de los residuos de cosecha frente a vientos erosivos (Álvarez *et al.*, 2012).

No obstante, los CC pueden reducir la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo respecto al barbecho y, si las precipitaciones posteriores al secado no son suficientes para recargarlo, pueden afectar negativamente los rendimientos del cultivo de cosecha (Unger & Vigil, 1998; Reicosky & Forcella, 1998). Esa disminución del contenido de agua del suelo se conoce como costo hídrico (CH), el cual se encuentra entre 30 a 40 mm y 40 a 80 mm para leguminosas y gramíneas respectivamente, dependiendo de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de los CC (Baigorria & Cazorla, 2010). Por ello, es necesario conocer el comportamiento de las diferentes especies de CC al momento de secado para definir su elección y posterior implementación en la rotación, optando por aquellas que se adapten a la dinámica hídrica del suelo. Además, en ambientes semiáridos, la disponibilidad de agua en el suelo es el principal recurso limitante (Tanaka *et al.*, 2002), estimándose que entre el 50 y 75% de la precipitación anual, a través de la evaporación, retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Bennie & Hensley, 2000), transcurriendo las mismas, principalmente, durante los barbechos (Huang *et al.*, 2003). En este sentido Ruffo, (2003) sostiene que, la decisión de finalizar los CC debe adaptarse a dos premisas fundamentales; (i) lograr una acumulación de biomasa que garantice cobertura y aporte de carbono y, (ii) ajustarse a las precipitaciones de la región con la finalidad de garantizar la recarga del perfil. Neal *et al.* (2011) propusieron que especies de rápido crecimiento mejoran la eficiencia de uso del agua (EUA), ya que cubren el suelo rápidamente, evitando pérdidas de agua por evaporación directa desde el suelo. Por lo tanto, es importante elegir especies que tengan la mayor producción de materia seca (MS) con el menor consumo de agua, es decir, con elevada EUA. Así, los CC que consiguen producir mayor cantidad de MS en

forma anticipada, permiten adelantar su secado, lo que beneficia al cultivo sucesor, con un mayor aprovechamiento de las precipitaciones (Fernández *et al.*, 2005).

En zonas templadas las especies más utilizadas son gramíneas y leguminosas. Entre las gramíneas están: centeno (*Secale cereale L.*), avena (*Avena sativa L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*), trigo (*Triticum aestivum L.*), triticale (*Triticosecale Wittmack*) y rye grass (*Lolium multiflorum L.*); siendo el centeno el más tolerante al frío y al estrés hídrico y, además, produce un gran volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas invernales (Scianca, 2010). Entre las leguminosas se destacan: los tréboles (*Trifolium spp*), blanco (*T. repens*), de Alejandría (*T. alexandrinum*), encarnado (*T. incarnatum*) y de olor (*Melilotus spp*); y las vicias (*Vicia villosa* y *Vicia sativa*) siendo la villosa la de mayor resistencia al frío y adaptación (Ruffo & Parsons, 2004).

Los cultivos estivales sembrados a baja densidad han ganado terreno en los últimos años en el sistema productivo del SOB destacándose, entre ellos, el maíz (menos de 30.000 plantas ha⁻¹) (De Leo *et al.*, 2020). Estos permitieron diversificar la producción, cortar con el ciclo de ciertas malezas problemáticas y mejorar la rentabilidad de la empresa agropecuaria cuya rotación se caracterizaba, principalmente, por la presencia de cereales de invierno como trigo y cebada. Sin embargo, la baja densidad lleva a una disminución de cobertura con el consiguiente aumento de la susceptibilidad a la erosión eólica e hídrica, sumado a que estos sistemas presentan largos periodos de barbecho entre la cosecha del cultivo de fina y la siembra de maíz, subutilizando en ese lapso de tiempo la radiación, el agua y los nutrientes (Caviglia & Andrade, 2010). Por lo tanto, es importante encontrar variables que solucionen los problemas mencionados, siendo la inclusión de CC entre ambos cultivos de cosecha una alternativa para aumentar la diversificación en sistemas de agricultura continua (Piñeiro *et al.*, 2014), mejorar la economía del agua y la salud del suelo. Carfagno *et al.* (2013) demostraron que en hapludoles y haplustoles de regiones semiáridas la utilización de CC no reduce la disponibilidad de agua a la siembra de cultivos estivales. Por lo tanto, se

hipotetiza que la inclusión de CC podría mejorar la captura de agua de lluvia en comparación con los barbechos largos.

El objetivo general de este trabajo fue estudiar la factibilidad de incluir CC en el sudoeste bonaerense.

Los objetivos específicos fueron: evaluar la dinámica del agua en el suelo, los aportes de carbono (biomasa aérea + raíces) de los CC con y sin pastoreo y el efecto sobre la productividad del cultivo sucesor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio de estudio

El estudio se realizó en un lote del campo experimental del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (convenio UNS y MDA-PBA), ubicado en Napostá, (Partido de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires) en el km 35 de la Ruta Nacional N° 33 (38° 26' 30'' LS; 62° 15' 59'' LW) (Figura 1). El clima de la región es templado con estaciones térmicas bien diferenciadas. La temperatura media anual es de 15,4°C, mientras que en el mes más cálido (enero) la media es de 23,3°C y en el mes más frío (julio) de 8,2°C. Desde el punto de vista térmico, el área es apta para pasturas perennes y cultivos invernales y estivales. En lo que respecta a las precipitaciones, las lluvias le otorgan un carácter subhúmedo o de transición, con un valor medio anual de 562 mm (período 1860 – 2016) y con valores extremos registrados en el año 1861 (207 mm) y en 1976 (1079 mm). Los mayores desbalances hídricos se dan en los meses más cálidos debido a las mayores temperaturas, mayor duración del día y a la importante velocidad del viento (Mormeneo & Díaz, 2003).

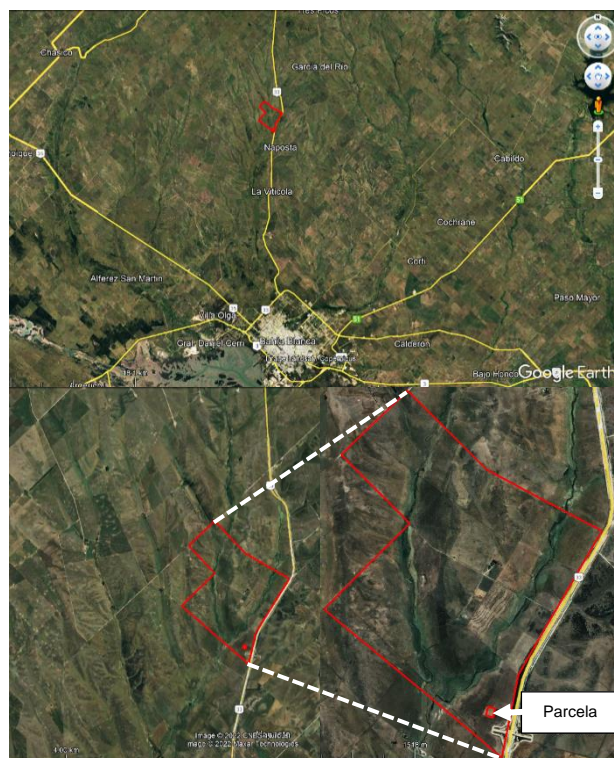


Figura 1. Localización y delimitación del Campo Napostá y de la parcela en la que se realizó el estudio. Fuente: Google Earth.

El suelo de acuerdo al Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010) se clasifica como Haplustol éntico, franco grueso, mixto, térmico, con una secuencia de horizontes Ap-A2-AC-C-Ck₁-2Ck₂-3Ck₃ (Tabla 1 y Figura 1, Anexo). Su capacidad de uso es IIIe (Klingebiel & Montgomery, 1961) y sus principales limitaciones son la alta susceptibilidad a la erosión eólica y condiciones climáticas desfavorables (Índice de Thornthwaite 0 y -20). Al momento de realizar el ensayo, el lote presentaba más de diez años de historia agrícola con cereales de invierno, siendo el trigo el cultivo antecesor.

2.2. Tratamientos y manejos

Mediante un diseño experimental constituido por parcelas en bloques divididos completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, se utilizaron las siguientes especies como CC (tratamiento): centeno (C), avena (A), vicia (V) y sus consociaciones (C+V y A+V). Además, se realizó un barbecho (B) testigo sobre

el cual no se hizo CC ya que solo se dejó cubierto con rastrojo del cultivo antecesor.

Sobre el rastrojo de trigo cosechado en diciembre 2018 se inició el barbecho químico el día 20 de marzo de 2019, en el cual se aplicó 1,5 L ha⁻¹ de glifosato, 0,25 L ha⁻¹ de 2,4-D y 0,1 L ha⁻¹ de tordón. El 25 de abril se realizó la segunda aplicación con 1,5 L ha⁻¹ de glifosato y 0,25 L ha⁻¹ de 2,4-D. La siembra de los CC fue el 29 de abril con una sembradora directa JUBER 3500 con abre surco de doble disco espaciados a 0,175 m (Figura 3). Las variedades y densidades de siembra utilizadas fueron: A (Marita, 62 kg ha⁻¹), C (Fausto, 60 kg ha⁻¹), V (V villosa, 20 kg ha⁻¹), A+V (50+12 kg ha⁻¹) y C+V (48+12 kg ha⁻¹). No se realizó fertilización nitrogenada ni fosforada. Los CC fueron pastoreados el 3 de octubre (subparcelas pastoreadas, Figura 7) y al día siguiente, se interrumpió su ciclo químicamente por medio de la aplicación de 1,5 L ha⁻¹ de glifosato, 0,25 L ha⁻¹ 2,4-D y 0,15 L ha⁻¹ de dicamba.

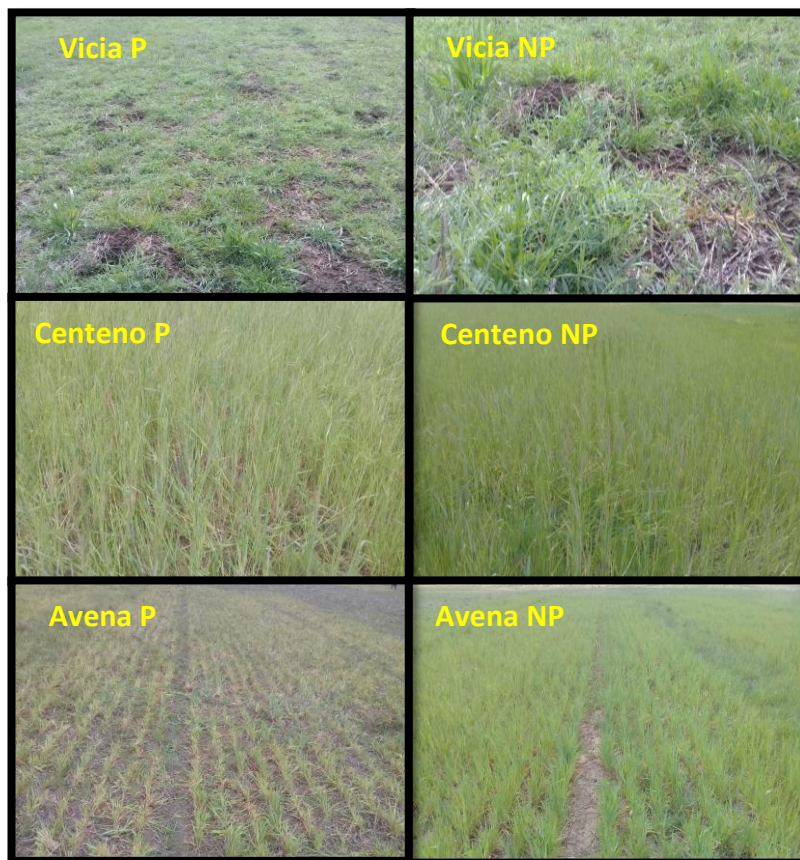


Figura 2. Comparación de parcelas con (P) y sin (NP) pastoreo.

A su vez, los tratamientos fueron divididos en dos subtratamientos: pastoreado (P) y no pastoreado (NP) (Figura 2). El pastoreo, que se llevó a cabo simultáneamente en todas parcelas el 3 de octubre de 2020, fue intensivo de alta carga con 40 animales; siendo C el que presentaba mayor desarrollo al momento del pastoreo (Figura 2).



Figura 3. Sembradora JUBER 3500 utilizada en la siembra de los CC.

El maíz (M) fue sembrado el 8 de noviembre, con una distancia entre surcos de 0,70 m y una densidad de 25000 plantas ha⁻¹. El material genético utilizado fue un híbrido SyN840 viptera 3. El mismo fue fertilizado en el estadio V6 con 60 kg ha⁻¹ de urea sobre la mitad de las parcelas.

2.3. Determinaciones

2.3.1. Densidad aparente (DA)

Al inicio del ensayo se determinó densidad aparente (Tabla 2, Anexo), mediante muestras sin disturbar por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986), que consiste en introducir en el suelo cilindros de acero, biselado, de volumen conocido (100 cm³), enrasando el suelo con los bordes y colocando las tapas en el lado inferior y superior. Se tomaron tres muestras de cada profundidad (0-6, 6-12, 12-27, 27-47 y 47-60 cm) y en 3 sectores de la superficie destinada al ensayo (Figura 4). Cada muestra se tomaba en el centro del intervalo en cuestión. Para la obtención de los valores de DA, las muestras se secaron a estufa a 105°C hasta peso constante o un periodo no menor a 48 horas, para luego registrar el peso del cilindro más suelo seco a estufa calculando el valor de DA de la siguiente manera:

$$DA \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{(\text{P. cil (g)} + \text{SSE (g)}) - \text{P. cil (g)}}{100 \text{ cm}^3}$$

Dónde:

DA: Densidad aparente;

P.cil + SSE: peso del cilindro + suelo seco a estufa; P.cil vacío: Peso cilindro vacío.



Figura 4. Muestreo para la determinación de densidad aparente.

2.3.2. Humedad

Se determinaron las constantes hídricas de capacidad de campo en las muestras de suelo tomadas sin disturbar con los cilindros de acero y punto de marchitez permanente (PMP) sobre el suelo tamizado por 2 mm (Tabla 2, Anexo). Las muestras de suelo fueron saturadas por capilaridad desde la parte inferior a lo largo de un período de 48 horas usando agua corriente a temperatura ambiente. 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, sobre las muestras secas y 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. Luego, con las láminas de agua correspondiente a capacidad de campo y PMP se calculó la capacidad de agua útil (AU) del suelo hasta la profundidad evaluada.

Los muestreos para determinar el contenido de humedad se realizaron a 0-20, 20-40 y 60-100 cm de profundidad en cuatro momentos: supresión de los CC,

siembra, estadio V6 y madurez fisiológica del maíz. Para cada fecha, se determinó el agua útil (AU) a través de los valores de humedad actual y punto de marchitez permanente (PMP) obtenidos por el método gravimétrico.

2.3.3. Biomasa aérea

Al momento de secado de los CC se determinó la biomasa aérea tomando una muestra de 0,25 m² por parcela, mediante cortes al ras del suelo. Las muestras fueron secadas a 40°C de temperatura para la determinación del peso seco.

2.3.4. Biomasa de raíces

Se utilizó la metodología propuesta por Frasier *et al.* (2016a) que consistió en realizar cuatro piques equidistantes en el suelo, dos en la línea del surco y dos en el entre surco utilizando un barreno tubular de 1 metro de longitud y 2,1 cm de diámetro (Figura 5). Las muestras se recolectaron en tres profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, diferenciando las correspondientes a surco y entre surco.

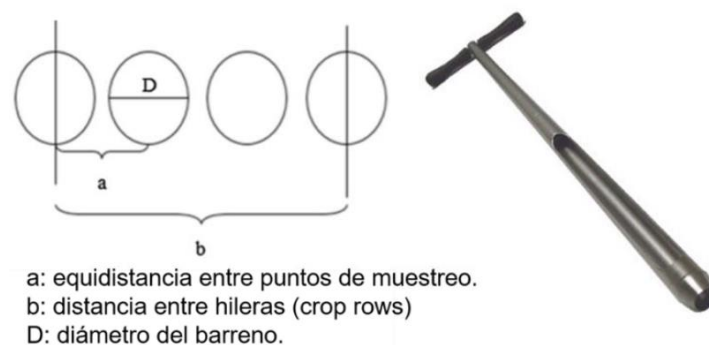


Figura 5. Esquema de muestreo y barreno utilizado en el muestreo de raíces.

Las muestras se llevaron al laboratorio donde se las colocó en una botella con 1,5 L de agua para luego ser llevadas durante 45 minutos al agitador con el fin de homogeneizar la muestra y romper los agregados. Posteriormente, las muestras fueron pasadas por un tamiz de 250 µm con abundante agua y se retiraron todas las raíces que quedaban sobre el mismo y recolectadas en una cápsula. Las muestras de raíces se secaron en estufa a 60°C hasta llegar a peso constante para obtener el peso seco (Figura 6).



Figura 6. Agitador, tamiz y muestra de raíces.

Con los datos obtenidos, se realizaron los cálculos para determinar el nivel de influencia del surco (I_s) y entre surco (I_{ES}) para luego calcular la biomasa de raíces del surco (R_s), entre surco (R_{ES}) y total (R_{s+ES}), mediante la utilización de las siguientes ecuaciones:

$$I_s(\%) = \left(D \text{ (m)} \times \frac{2}{b \text{ (m)}} \right) \times 100$$

$$I_{ES}(\%) = \left[\frac{b \text{ (m)} - (D \text{ (m)} \times 2)}{b \text{ (m)}} \right] \times 100$$

$$R_{ES}(\text{g m}^{-2}) = \left[\frac{\sum \text{peso seco ES (g)}}{\left(\pi \times \frac{D^2 \text{ (m)}}{4} \right)} \right] \times \left(\frac{I_{ES}}{100} \right)$$

$$R_s(\text{g m}^{-2}) = \left[\frac{\sum \text{peso seco S (g)}}{\left(\frac{\pi \times D^2 \text{ (m)}}{4 \times \text{números de pique S}} \right)} \right] \times \left(\frac{I_s}{100} \right)$$

$$R_{s+ES} \text{ (g m}^{-2}\text{)} = R_s + R_{ES}$$

Donde:

I_s : Porcentaje de influencia de raíces en el surco o fila del cultivo.

I_{ES} : Porcentaje de influencia de raíces en el entresurco del cultivo.

R_{ES} : Biomasa de raíces en el entresurco del cultivo.

R_s : Biomasa de raíces en el surco o fila del cultivo.

R_{s+ES} : Biomasa total raíces del cultivo.

D: Diámetro del barreno.

b: Distancia entre hileras.

2.3.5. Cobertura de residuos

Se determinó previo a la siembra del maíz, utilizando un marco de 0,25 m² (0,5m x 0,5m), tomando dos muestras por parcela principal (pastoreado y no pastoreado). Se fotografió al marco conteniendo al rastrojo en su interior a una altura de 1,2 m perpendicular a la superficie del suelo. Las imágenes fueron procesadas por el software CobCal 2.1 (Ferrari *et al.*, 2008), cuyo funcionamiento se basa en la colorimetría, medición y cuantificación de colores; calculando el porcentaje y superficie cubierta por el cultivo, rastrojo, malezas y suelo.

2.3.6. Aportes de carbono (biomasa aérea+raíces)

Se estimó el aporte de carbono en los diferentes tratamientos a partir de la producción de MS y el porcentaje de carbono de los residuos, asumiendo que los residuos aéreos presentan un 43% de carbono (Duval *et al.*, 2017), mientras que para los residuos radicales se consideró un valor del 40% (Johnson *et al.*, 2006).

2.3.7. Producción de maíz

Se determinó la producción de materia seca (kg ha⁻¹) del cultivo de maíz (planta entera), cosechando 5 metros lineales por tratamiento. Los tratamientos fueron: Pastoreado – fertilizado, no pastoreado – fertilizado y no pastoreado – no fertilizado haciendo un total de 72 muestras. Luego, las mismas fueron llevadas a estufa a 40°C hasta peso constante.

2.4. Análisis de 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 7), 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%.

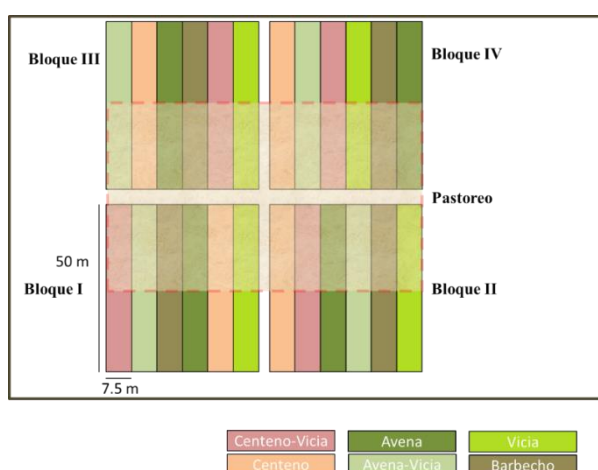


Figura 7. Diseño experimental y distribución de los tratamientos.

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1. Condiciones climáticas

Las precipitaciones registradas por la estación meteorológica automática ubicada en el campo Napostá (E.M.A. Napostá) fueron de 106 mm desde la supresión de los CC (4/10/2019) hasta la siembra del maíz (8/11/2019) y de 127 mm para el período entre la siembra del maíz hasta la determinación de MS del mismo (13/03/2020) totalizando 233 mm durante todo el período de estudio. Comparándolo con el promedio histórico (1860–2016), se observó una disminución de 70 mm en general; y en particular hubo un aumento de 37 mm (periodo 4/10/2019 al 8/11/2019) y una disminución de 107 mm (periodo 8/11/2019 al 13/03/2020) (Figura 8).

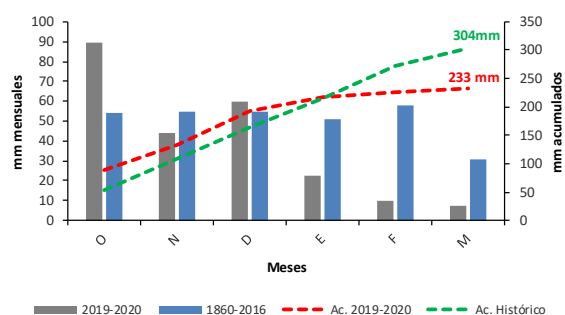


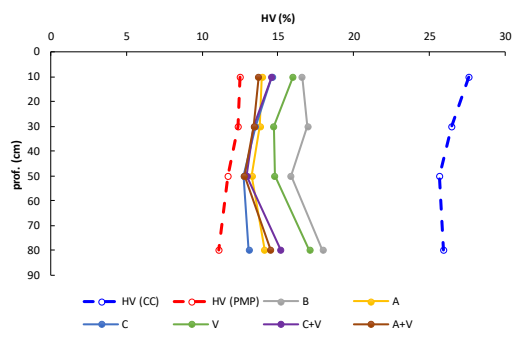
Figura 8. Distribución de la precipitación mensual durante el periodo de estudio y mensual media histórica (1860–2016) y precipitación acumulada durante el ensayo e histórica.

3.2. Dinámica hídrica

Luego de la supresión de los CC se observó que, coincidiendo con Unger & Vigil, (1998) y Reicosky & Forcella, (1998), el porcentaje de agua volumétrica (HV%) de B siempre fue superior al resto de los tratamientos, siendo en los primeros 20 cm del perfil junto a V, significativamente ($p < 0,05$) mayor que A+V y, para las profundidades de 20-40, 40-60 y 60-100 cm, B fue significativamente superior al resto de los tratamientos excepto con V (40-60 y 60-100 cm) (Figura 9a).

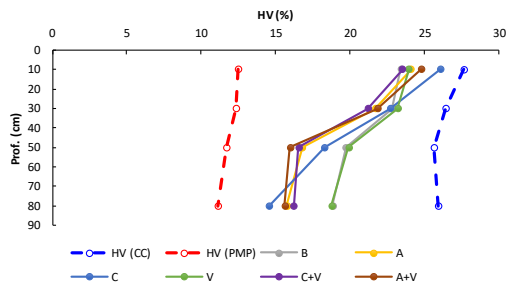
Al momento de la siembra del cultivo de maíz, luego de 106 mm precipitados desde el secado de CC, la HV% en 0-20 cm fue significativamente superior en C (excepto con A+V), sin diferencias significativas en 20-40 cm, mientras que, por debajo de dicha profundidad, tanto B y V presentaron mayores valores de HV% que el resto de los tratamientos a excepción de C en 40-60 cm y C+V en 60-100 cm (Figura 9b).

La humedad del suelo determinada el 26/12/2019 no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos para las diferentes profundidades evaluadas (Figura 9c). Tampoco se encontraron diferencias debidas al pastoreo (Figura 9d), sin embargo, NP (Figura 9e) siempre presentó valores levemente superiores que P (Figura 9f). La humedad determinada el 19/02/2020 tampoco evidenció diferencias significativas entre los tratamientos tanto para 0-20 cm como para 20-100 cm. Para las fechas de muestreo 19/02/2020 y 13/03/2020, los valores de HV% estuvieron cercanos o por debajo de PMP (Figura 9g y 9h), sin diferencias significativas entre tratamientos, excepto en 20-100 cm, donde A+V fue significativamente superior a C+V y V (Figura 9h).



A

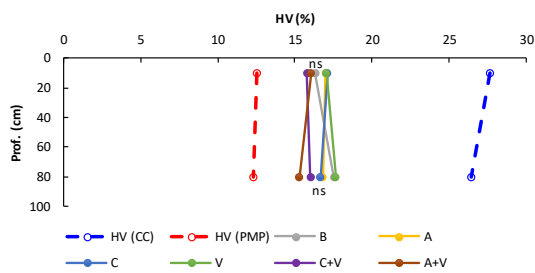
Prof cm	LSD-Fisher, $p < 0,05$					
	B	A	A+V	C	C+V	V
0-20	a	ab	b	ab	ab	a
20-40	a	b	b	b	b	b
40-60	a	bc	c	c	bc	ab
60-100	a	c	bc	c	bc	ab



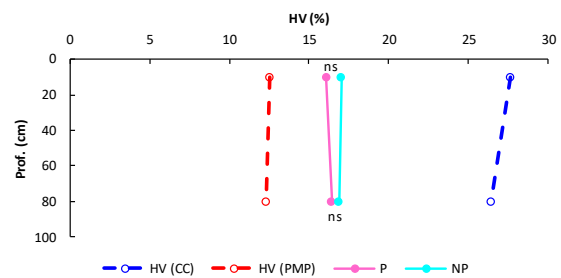
B

Prof cm	LSD-Fisher, $p < 0,05$					
	B	A	A+V	C	C+V	V
0-20	b	b	ab	a	b	b
20-40	a	a	a	a	a	a
40-60	a	b	b	ab	b	a
60-100	a	b	b	b	ab	a

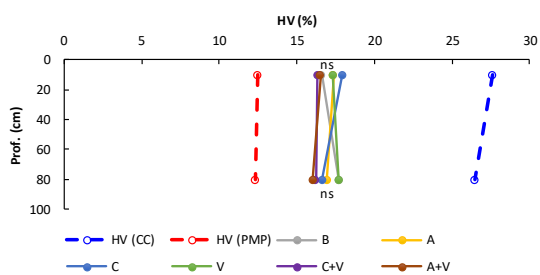
C



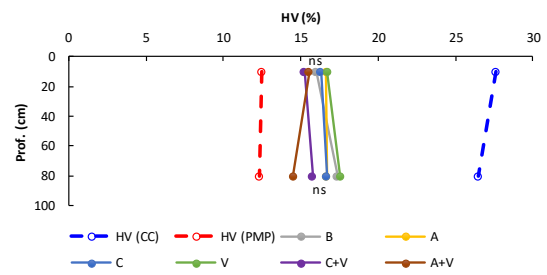
D



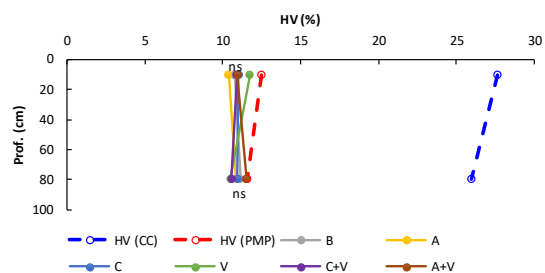
E



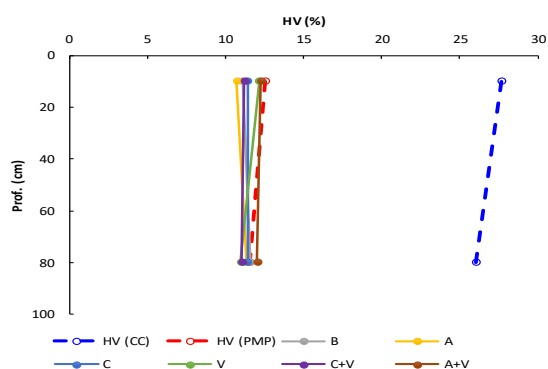
F



G



H



Prof cm	LSD-Fisher, p<0,05					
	B	A	A+V	C	C+V	V
0-20	a	a	a	a	a	a
20-100	ab	ab	a	ab	b	b

Figura 9. Porcentaje de humedad volumétrica (HV%) a diferentes profundidades y fechas de muestreo: A: 15/10/2019, B: 8/11/2019 C: 26/12/2019, D: 26/12/2019 P y NP, E: 26/12/2019 P, F: 26/12/2019 NP, G: 19/02/2020 y H: 13/03/2020.

El contenido de agua expresado en lámina (mm) en 0-100 cm se encontró, en todos los tratamientos, entre PMP y CC desde el inicio del ensayo hasta el 26 de diciembre (Figura 10a, 10b, 10c y 10d). Luego, a partir del mes de enero, asociado a precipitaciones inferiores a la media histórica (Figura 8), todos los tratamientos presentaron valores inferiores a PMP para las fechas de febrero y marzo (Figura 10e y 10f). Al momento de supresión de los CC se observaron efectos significativos de los tratamientos en el contenido de agua útil para todas las profundidades analizadas (Tabla 3, Anexo), siendo B el tratamiento con mayor milímetros de agua acumulados, diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos (excepto con V). A su vez, 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) (Figura 10a). Este mayor

consumo de agua por parte de los CC se traduce en lo que se denomina “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 la que menor CH presentó (11 mm), diferenciándose significativamente de A, A+V y C (Tabla 1). 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 los efectos 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 en julio/agosto comparadas con el barbecho tradicional.

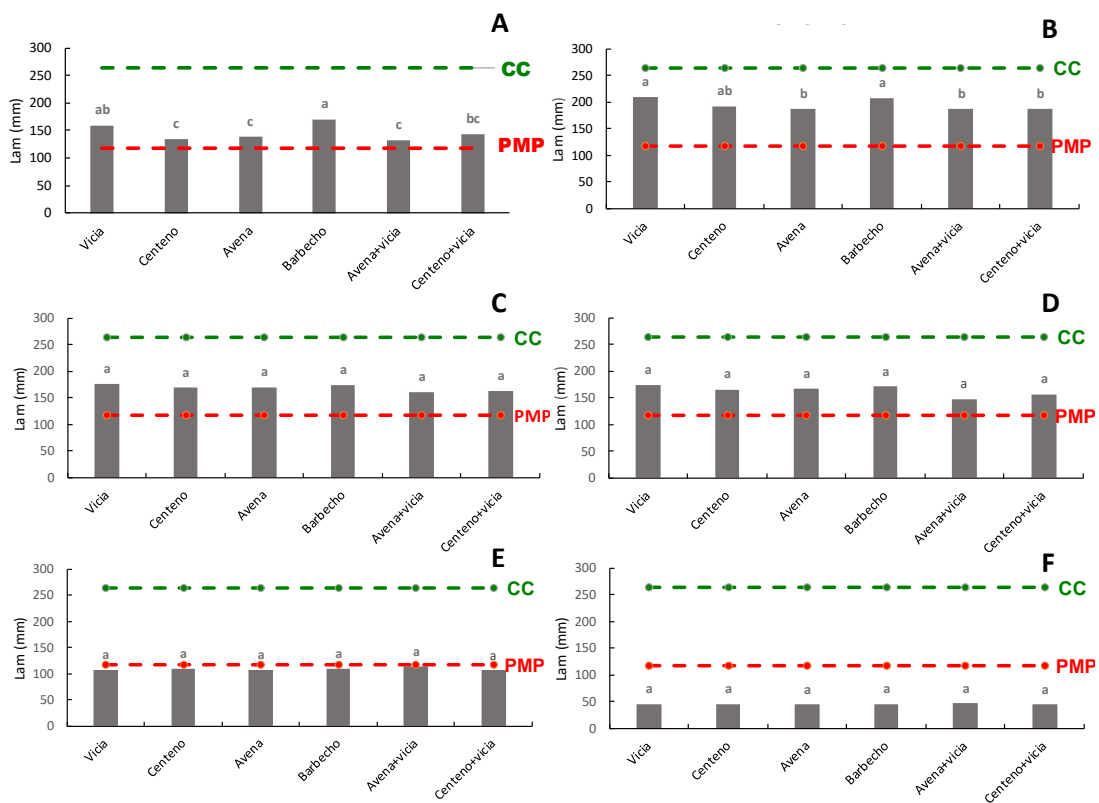


Figura 10. Lámina de agua (mm) acumulada en 0-100 cm para los diferentes tratamientos y fechas de muestreo: A: 15/10/2019, B: 8/11/2019, C: 26/12/2019 (no pastoreado), D: 26/12/2019 (pastoreado), E: 19/02/2020 y F: 13/03/2020.

En noviembre, el contenido de agua en V fue levemente superior a B, y estos significativamente superiores al resto de los tratamientos, con excepción de C (Figura 10b). Las precipitaciones ocurridas entre la supresión de los CC y la siembra del maíz, fueron de 106 mm (Figura 8) permitiendo recargar el perfil en los primeros 40 cm en el caso de los CC (Figura 9b), coincidiendo con Álvarez *et al.* (2012). Esta recarga hídrica en los primeros 40 cm, permitió acumular entre 70 y 90 mm de AU en 0-100 cm (Figura 10b), lo cual representa entre un 48 y 62% de la capacidad de retención de agua útil. Las consociaciones (C+V y A+V) y A 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 (Figura 10b).

Luego, desde diciembre hasta marzo, no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Figura 10c, 10d, 10e y 10f). A su vez, en la fecha de muestreo del 26/12/2019, el pastoreo no tuvo efectos significativos sobre los contenidos de agua útil en las profundidades analizadas (Tabla 3, Anexo). Es decir, que la mayor cobertura asociada al no pastoreo, no mejoró la acumulación de agua en el perfil, aunque NP fue levemente superior a P, pero sin tener diferencias significativas. (Figura 10c y 10d).

Tabla 1. Costo hídrico (CH) de los cultivos de cobertura.

Tratamientos	CH mm
Avena	-32 a
Avena+Vicia	-40 a
Centeno	-37 a
Centeno+Vicia	-28 ab
Vicia	-11 b

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

3.3. Producción de biomasa de los CC

3.3.1. Biomasa aérea y cobertura

Se observaron diferencias significativas en la producción de MS debido a los CC, donde el centeno (puro o consociado) presentó la mayor producción de MS ($>3800 \text{ kg ha}^{-1}$), valores intermedios en avena (pura o consociada) ($<2500 \text{ kg ha}^{-1}$), mientras que la menor producción de MS se observó en B (1232 kg ha^{-1})

y V (1213 kg ha⁻¹) (Tabla 5, Anexo). Otros autores también observaron que las gramíneas duplican en producción a la leguminosa (Neal *et al.*, 2011; Restovich *et al.*, 2012). La escasa 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).

A su vez, también se observaron efectos significativos del pastoreo, encontrándose valores inferiores de MS en las parcelas pastoreadas (Tabla 5, Anexo). Se observó que C y C+V, post pastoreo tuvieron un remanente del 94% respecto a los mismos tratamientos no pastoreados, sin diferencias significativas entre ellos. El elevado valor remanente se debe a que C se encontraba en encañazón (Figura 2), generando una baja preferencia por parte de los animales. El resto de los tratamientos, que fueron significativamente ($p < 0,05$) inferiores a C y C+V, no presentaron diferencias significativas entre sí (Tabla 2). Estos tuvieron un remanente de MS del 52%, 53%, 69% y 55% para A, A+V, V y B, respectivamente.

Tabla 2. Producción materia seca (MS) aérea y porcentaje de cobertura remanente en los diferentes tratamientos con (P) y sin pastoreo (NP).

Pastoreo	Tratamientos	MS (kg ha ⁻¹)	Cobertura (%)
Pastoreado	Avena	1662 b	36 a
	Avena+Vicia	1501 b	45 a
	Centeno	3677 a	53 a
	Centeno+Vicia	3588 a	59 a
	Vicia	992 b	38 a
	Barbecho	877 b	41 a
No Pastoreado	Avena	3181 b	40 a
	Avena+Vicia	2841 bc	48 a
	Centeno	4732 a	53 a
	Centeno+Vicia	4100 ab	56 a
	Vicia	1434 d	34 a
	Barbecho	1588 cd	37 a

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

Los aportes de MS medidos en los diferentes tratamientos con y sin pastoreo, generaron una gran variabilidad en los porcentajes de cobertura medidos con

coeficientes de variación entre 21 y 103%. En general, todos los tratamientos tuvieron un porcentaje de cobertura superior al 30% (Tabla 2) cumpliendo de esta manera con uno de los requisitos para ser considerado como agricultura de conservación. Estos resultados se contraponen con los reportados por López *et al.* (2015), quienes evaluando más de 120 lotes en siembra directa durante tres campañas registraron valores inferiores al 30% en más de la mitad de los lotes. Si bien no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura entre tratamientos (Tabla 2), se observó una relación significativa ($r= 0,81$, $p<0,01$) entre los valores medios de MS remanente y el porcentaje de cobertura. Estos resultados coinciden con los reportados por López *et al.* (2015) en suelos bajo siembra directa en el Sudoeste Bonaerense, quienes determinaron una relación lineal entre cantidad de residuos de cereales de invierno y su cobertura. En zonas subhúmedas-semiáridas, la presencia de residuos en superficie presenta numerosas ventajas como la reducción del riesgo de erosión, mejorar el almacenamiento de agua y las propiedades físicas y químicas de los suelos (Quiroga *et al.*, 2005; Blanco-Canqui & Lal, 2009; Kriger, 2021).

3.3.2. Biomasa radical

En todos los tratamientos, se observó mayor contribución de raíces en los primeros 20 cm del perfil (Figura 11) disminuyendo significativamente con la profundidad (Figura 12). Esta mayor abundancia de raíces en el estrato superficial estaría asociada no solo con la morfología propia de los sistemas radiculares que concentran en los primeros centímetros una mayor proporción de raíces primarias y secundarias sino también con un mayor contenido de materia orgánica, nutrientes, aireación y disponibilidad de agua comparado con los estratos inferiores del suelo (Sainju *et al.*, 2005; Fageria & Moreira, 2011).

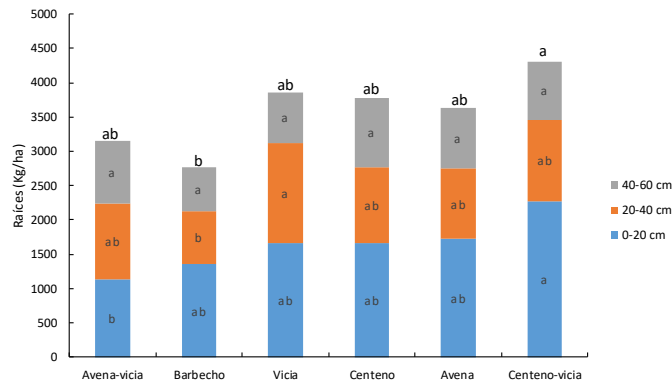


Figura 11. Biomasa de raíces de los diferentes tratamientos a las distintas profundidades. Para cada profundidad, letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

En los primeros 20 cm del perfil del suelo, la consociación C+V fue la de mayor biomasa radical (2277 kg ha^{-1}), siendo la misma significativamente superior a la de A+V (1136 kg ha^{-1}). En 20-40 cm, V presentó la mayor biomasa radical (1463 kg ha^{-1}), siendo la misma significativamente superior a B, sin diferencias significativas con el resto de los tratamientos. Por debajo de los 40 cm, todos los tratamientos presentaron valores similares de biomasa radical ($< 1020 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figura 11). Al analizar todo el perfil (0-60 cm) C+V fue el tratamiento con mayor biomasa radical (4314 kg ha^{-1}), diferenciándose significativamente de B, el cual presentó los menores valores de biomasa (2766 kg ha^{-1}), con valores intermedios en el resto de los tratamientos (Figura 11)

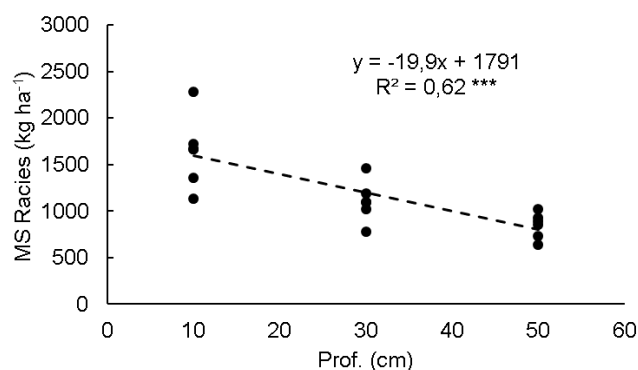


Figura 12. Relación de la biomasa de raíces con la profundidad.

El menor aporte de biomasa radical, genera que la reposición de carbono al suelo sea menor. Mantener el suelo en barbecho invernal sin CC resultó en un remanente promedio de raíces en el suelo de $2766 \text{ kg MS ha}^{-1}$. En 0-60 cm, los

CC presentaron mayores aportes de raíces que B, coincidiendo con Mullen *et al.* (1998) y Ruffo, (2003), aunque con diferencias significativas solo en C+V (Figura 11). La inclusión de los CC aportó un plus extra de raíces manteniendo una rizósfera activa durante un mayor período de tiempo en comparación a los barbechos tradicionales (Frasier *et al.*, 2016b). Exceptuando a C, hubo coincidencia con los pocos estudios realizados con CC, que sugieren que la productividad de raíces puede ser igual o mayor a la productividad aérea de los mismos (Sainju *et al.* 1998; Gardner & Sarrantonio, 2012). Se asume que la relación entre la biomasa de raíces y la aérea responde a la disponibilidad de nutrientes, aumentando cuando existe una limitante en el suelo (Fageria & Moreira, 2011).

3.4. Aportes de carbono (biomasa aérea+raíces)

Los tratamientos C y C+V tuvieron un aporte de carbono significativamente ($p < 0,05$) superior al resto de los CC, tanto en P como NP (Tabla 3). Esto se debió al elevado volumen de biomasa aérea producido (Tabla 2), ya que la biomasa radical no fue influenciada por los subtratamientos. El resto de los tratamientos, en el caso de P, no tuvieron diferencias significativas entre sí; no ocurriendo lo mismo en los NP donde, coincidiendo con trabajos previos (Mullen *et al.*, 1998; Rufo, 2003; Álvarez *et al.*, 2012), B fue el de menor aporte de carbono, diferenciándose significativamente de A. A su vez, en regiones semiáridas, los suelos en barbecho bajo siembra directa presentan grandes pérdidas de carbono asociado a una mayor respiración heterótrofa, generada por el mayor contenido de agua debido a la presencia de residuos y la no remoción del suelo (Bono, 2010). Según las estimaciones realizadas para el Sudoeste Bonaerense, las pérdidas de carbono durante el barbecho oscilarían entre 1679 y 4903 kg de C ha⁻¹ año⁻¹ para la profundidad de 0-20 cm (López, 2017). Contrariamente, la inclusión de CC mejoraría los niveles orgánicos en el suelo al sustituir el período de barbecho (fuente de carbono) por un período adicional de asimilación de carbono (Lal, 2001). Para este estudio, la inclusión de CC, aportó adicionalmente hasta 1743 kg ha⁻¹ de carbono al suelo (Tabla 3). Analizando particularmente a los subtratamientos, NP fue significativamente ($p < 0,05$) superior a P, con valores de 2676 y 2356 kg C ha⁻¹, respectivamente.

Tabla 3. Aporte de carbono al suelo derivado de la biomasa aérea y radical.

Tratamientos	Aporte de carbono		
	Biomasa aérea	Biomasa raíces	Biomasa total
B	530 c	1107 c	1636 c
V	522 c	1553 ab	2065 bc
A	1042 b	1454 ab	2496 a
A+V	933 b	1265 bc	2118 bc
C	1808 a	1513 ab	3321 a
C+V	1653 a	1726 a	3379 a
No pastoreado	1241 a	1435	2676 a
Pastoreado	921 b		2356 b

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

3.5. Producción de materia seca del cultivo de verano

La fertilización con nitrógeno fue otra variable evaluada en el trabajo. Para el caso de los tratamientos fertilizados (urea, 60 kg ha^{-1}), no se observaron efectos significativos en la producción del maíz debido a los tratamientos (CC) y subtratamientos (Pastoreo) (Tabla 6, anexo), con valores desde 1806 kg ha^{-1} (antecesor A+V) hasta 2343 kg ha^{-1} (antecesor C). En el caso del pastoreo, el aprovechamiento de estos cultivos con animales no perjudicó el posterior logro del cultivo de maíz. Melin & Orliacq, (2021), utilizando avena + vicia como cultivo de servicio, tampoco encontraron efectos deletéreos por la utilización de dicho cultivo como forraje para terneros de recría, reflejando los múltiples beneficios de estos cultivos al sistema. Por otra parte, en los tratamientos NP, la fertilización tampoco influyó significativamente sobre la producción de maíz, pero si se observaron diferencias entre tratamientos, encontrándose mayores valores de producción de materia seca en C como antecesor ($2627 \text{ kg MS ha}^{-1}$), siendo este significativamente superior a A+V, V y A (Tabla 7, anexo). En cambio, en C+V no se observaron diferencias significativas con ninguno de los otros tratamientos. Estas diferencias ocurrieron principalmente en las parcelas no fertilizadas mientras que, en las parcelas fertilizadas, los rendimientos del maíz fueron similares para los diferentes tratamientos (Tabla 4). En general, a pesar del costo hídrico generado por los CC, el barbecho tradicional no acusó rendimientos significativamente superiores al resto de los tratamientos (Tabla 4, Tabla 6 y 7, anexo). Estos resultados coinciden con los reportados por Capurro

et al. (2010), quienes concluyeron luego de evaluar diferentes especies como CC sobre monocultivo de soja, que el rendimiento del cultivo se asoció con las precipitaciones y temperaturas; sin tener influencia de los CC. Al analizar la relación entre la producción de maíz y el AU al momento de la siembra del mismo, no se encontró una relación significativa ($R^2=0,14$, $p>0,05$) (Figura 13), evidenciando que no necesariamente con más AU a la siembra se obtiene mayor producción. Esto pudo ser consecuencia de las precipitaciones erráticas e insuficientes ocurridas durante el ciclo de cultivo de maíz (128 mm), que le impidieron un adecuado crecimiento y desarrollo. Además, tanto la floración, como el inicio de llenado, ocurrieron en un momento muy baja disponibilidad hídrica para el cultivo (Figura 10e).

Tabla 4. Producción de materia seca (MS) de maíz según los diferentes antecesores con y sin fertilización.

Subtratamiento	Tratamiento	MS maíz (kg ha ⁻¹)
Fertilizado	Barbecho	2443 a
	Vicia	1733 a
	Avena	2183 a
	Avena+Vicia	1988 a
	Centeno	2571 a
	Centeno+Vicia	2230 a
	No Fertilizado	Barbecho
Vicia		2010 bc
Avena		1436 c
Avena+Vicia		2013 bc
Centeno		2684 a
Centeno+Vicia		2051 abc

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

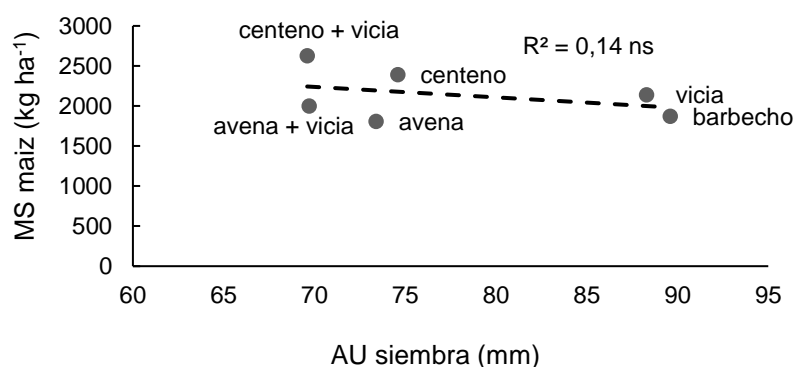


Figura 13. Relación entre producción de materia seca (MS) y agua útil (AU) a la siembra del cultivo de maíz.

4. CONCLUSIÓN

En barbechos largos tradicionales para un cultivo estival, el consumo de agua durante el transcurso de los mismos aumentó con la inclusión de CC, siendo este entre 11 mm (V) y 40 mm (A+V). Dicho costo hídrico, pudo ser influenciado por las escasas precipitaciones ocurridas entre la siembra y supresión de los CC, las cuales fueron un 37,5% menor a la media histórica.

Los residuos remanentes de los CC, permitieron un nivel de cobertura superior al 30%, considerado un parámetro clave en la agricultura de conservación. La inclusión de los CC permitió aumentar el aporte de carbono de 400 a 1700 kg ha⁻¹ de carbono adicionales al suelo. Por otra parte, la biomasa remanente fue menor en los subtratamientos P respecto a los NP, disminuyendo el efecto de esta práctica sobre la conservación de 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 del cultivo de maíz fue influenciada principalmente por las precipitaciones durante su ciclo independientemente del antecesor (barbecho o CC) y la fertilización. Sin embargo, tampoco el barbecho tradicional mejoró el crecimiento y desarrollo del cultivo del maíz.

A partir de los resultados obtenidos de un año de estudio, la inclusión de CC a la secuencia de cultivos serían una alternativa eficiente en regiones semiáridas,

para la generación de biomasa y, por ende, aporte de carbono al suelo, donde su costo hídrico no afectaría al cultivo siguiente siempre y cuando se maneje correctamente la fecha de secado de los mismos, en función de la fecha óptima de siembra del cultivo sucesor. 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.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, C., A. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero. 2012. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. 1ª ed. – La Pampa: Ediciones INTA. EEA INTA Anguil. ISBN: 978-987-679-177-9. 195 pp.
- Andriulo, A., B. Mary & J. Guérif. 1999. Modeling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie*. 19: 365-377.
- 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. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.
- Bennie, A. & M. Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241: 124-139.
- Blake, G.R. & K.H. Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy. Cap.13, 363-375.
- Blanco-Canqui, H. & R. Lal. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. *Crit. Rev. Plant Sci*. 28: 139-163.
- Bono, A.A. 2010. Flujos de carbono y nitrógeno bajo distintos sistemas de labranza en la región semiárida pampeana. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias. 96 pp.
- 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.
- Carfagno, P., M. Eiza, F. Babinec & A. Quiroga. 2013. Inclusión de cultivos de cobertura en la dinámica hídrica de hapludoles y haplustoles del oeste de la provincia de Buenos Aires y noreste de La Pampa. En: *Contribución de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción*. Álvarez, C., A. Quiroga, D. Santos & M. Bodrero (Eds.), 36-49.

- 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. 1993. El perfil cultural: un método para la evaluación de sistemas de cultivo. *Ciencia del Suelo*, 89-93.
- De Leo, G., C. Torres Carbonell, A. Lauric, F. Ross, J. Massigoge, M. Vigna, J. Irastorza & M. Dumrauf. 2020. Evaluación de cultivos de servicio en maíces de baja densidad en el sudoeste bonaerense semiárido. INTA – Centro Regional Buenos Aires Sur.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada & C.W. Robledo. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Duval, M.E., J.E. Capurro, J.A. Galantini & J.M. Andriani. 2015. Utilización de cultivos de cobertura en monocultivos de soja: Efectos sobre el balance hídrico y orgánico. *Ciencia del suelo*, 2015, 33(2) 247-261.
- Duval, M.E., J.A. Galantini, J.E. Capurro & M.J. Beltran. 2017. Producción y calidad de diferentes cultivos de cobertura en monocultivo de soja. *Ciencias Agronómicas*. 29, 7-13.
- Fageria, N.K. & A. Moreira. 2011. The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. In: DL Sparks (ed). *Advances in Agronomy*. Vol. 110. 1^{er} ed. Pp. 251-331. Academic Press.
- 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. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda Pampeana.
- 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 pp.
- Frasier, I., E. Noellemeyer., R. Fernández. & A. Quiroga. 2016a. Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX* 3, 513-519.
- Frasier, I., A. Quiroga & E. Noellemeyer. 2016b. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ*. 562: 628-639.
- Gardner, M. & M. Sarrantonio. 2012. Cover crop root composition and density in a long-term vegetable cropping system trial. *J. Sustain. Agric*. 36(6): 719-737.

- 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.
- Johnson, J.F., R.R. Allmaras & D.C. Reicosky. 2006. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agronomy journal*, 98(3), 622-636.
- 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.
- Kruger, A. 2021. Prácticas de manejo que condicionan la eficiencia hídrica del barbecho en el sudoeste bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 33 pp.
- Lal, R. 2001. World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 145-191.
- 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.
- López, F.M. 2017. Dinámica de la cobertura de residuos en suelos bajo siembra directa: relación con la humedad del suelo y la transformación de las fracciones orgánicas lábiles. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Argentina. 126 pp.
- 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.
- Melín, A. & A. Orliacq. 2021. Resultados de maíz tardío sobre cultivos de servicio de pastoreo bajo diferentes densidades y fertilización con nitrógeno anticipado. *Revista MDA*, Vol 2 N°1 31-36.
- Mormeneo, I. & R. Díaz. 2003. Método para clasificar la anomalía de las lluvias. *Rev. Brasileira de Agrometeorología*, Santa María, Vol. 11, N° 1, 159-167.
- Mullen, M., C. Melhorn, D. Tyler & B. Duck. 1998. Soil properties in no till corn with different cover crop. *Soil and Water Conservation*. 53:219-224.
- 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.
- Piñeiro, G., P. Pinto & S. Arana. 2014. Cultivos de servicio: integrando la ecología con la producción agrícola. En: XXVI Reunión Argentina de Ecología. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
- Portela, S.I., A.E. Andriulo, M. Sasal & E.G. Jobbágy. 2006. Fertilizer vs. organic matter contributions to nitrogen leaching in cropping systems of the Pampas: 15N application in field lysimeters. *Plant Soil*. 289: 265-277.
- Quiroga, A.R., D.O. Funaro, R. Fernandez & E.J. Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 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.
- Reeves, D.W. 1994. Cover crops and rotations. In: Crops Residue Management J.L. Hatfield & B.A. Stewart (Eds.). Adv. in Soil Sci. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 125-172.
- Reicosky, D.C. & F. Forcella. 1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. *J. Soil Water Conservation*. 53: 224-229.
- 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.L. 2003. Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. XI Congreso de AAPRESID: 171-176.
- Ruffo, M.L. & 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.
- Sainju, U.M., B.P. Singh & W.F. Whitehead. 2005. Tillage, cover crops and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon and nitrogen. *Agron. J.* 97(5): 1279-1290.
- Sainz Rozas, H.R., M. Eyherabide, G.E. Larrea, N. Martinez Cuesta, H.P., Angelini, N.I. Reussi Calvo & N. Wyngaard. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Simposio de fertilidad. *Fertilizar AC*. 141-158.
- Salado-Navarro, L.R. & T.R. Sinclair. 2009. Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agr. Syst.* 102: 11-16.
- Satorre, E. 2003. Las posibilidades ambientales y tecnológicas de la pradera pampeana para la producción de granos. En: Bolsa de Cereales de Buenos Aires (Ed.). *Las Ciento y Una "Hacia los 100 millones de toneladas de granos y la exportación de 1 millón de toneladas de carne"*. 37-38.
- Scianca, C.M. 2010. Cultivos de cobertura en molisoles de la Región Pampeana. Producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. 120 pp.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources 22 Conservation Service, Washington, DC.
- Tanaka, D.L., J.M. Krupinsky, M.A. Liebig, S.D. Merrill, R.E. Ries, J.R. Hendrickson, H.A. Johnson & J.D. Hanson. 2002. Dynamic cropping

systems: An adaptable approach to crop production in the Great Plains.
Agron. J. 94:957-961.

Unger, P.W. & M.F. Vigil. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. J.
Soil Water Conservation. 53: 224-229.

6. ANEXO

Tabla 1. Descripción morfológica del suelo Haplustol éntico, 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.
Ck ₁ 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.
2Ck ₂ 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.
3Ck ₃ 113-183 +	Pardo claro (10 YR 6/3) en húmedo; masivo; muy consolidado; muy firme; muy fuerte reacción al HCl 10 % en la masa.

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

Profundidad cm	DA Mg/m ³	ANOVA		
		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 marchitez permanente. CC: capacidad de campo. AUT: agua útil total.

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

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

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

Tabla 4. Análisis de la varianza del contenido de agua útil (mm) fecha 26/12/2019 para los tratamientos con y sin pastoreo.

Profundidad cm	ANOVA		
	Tratamiento	Pastoreo	Tratamiento x Pastoreo
0-20	ns	ns	ns
20-100	*	ns	ns
0-100	*	ns	ns

Tabla 5. Análisis de la varianza de la producción materia seca (MS) aérea en los diferentes cultivos de cobertura con y sin pastoreo.

Variables		ANOVA	
Tratamiento		***	
Pastoreo		*	
Tratamiento x Pastoreo		ns	
Tratamientos	Media	Desvío estandar	LSD-Fisher
Vicia	1213	±688	c
Barbecho	1232	±814	c
Avena+Vicia	2171	±1031	b
Avena	2423	±1117	b
Centeno+Vicia	3844	±1241	a
Centeno	4204	±1371	a
No Pastoreo		2980	±1574
Pastoreo		2049	±1405

Para tratamientos y pastoreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 6. Análisis de la varianza de la producción materia seca (MS) de maíz en los diferentes cultivos de cobertura con y sin pastoreo, con 60 kg ha⁻¹ de urea en V6.

Variables		ANOVA	
Tratamiento		ns	
Pastoreo		ns	
Tratamiento x Pastoreo		ns	
Tratamientos	Media	Desvío estandar	LSD-Fisher
Vicia	2080	±466	a
Barbecho	2328	±525	a
Avena+Vicia	1806	±568	a
Avena	2128	±160	a
Centeno+Vicia	2303	±351	a
Centeno	2343	±753	a
No Pastoreo		2191	±570
Pastoreo		2138	±462

Para tratamientos y pastoreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tabla 7. Análisis de la varianza de la producción materia seca (MS) de maíz en los diferentes cultivos de cobertura con y sin fertilización.

Variables		ANOVA		
Tratamiento		*		
Fertilización		ns		
Tratamiento x Pastoreo		ns		
Tratamientos	Media	Desvío estandar	LSD-Fisher	
Vicia	1872	±439	c	
Barbecho	2402	±417	ab	
Avena+Vicia	2000	±544	bc	
Avena	1809	±449	c	
Centeno+Vicia	2140	±278	abc	
Centeno	2627	±710	a	
No Fertilizado		2092	±535	a
Fertilizado		2191	±570	a

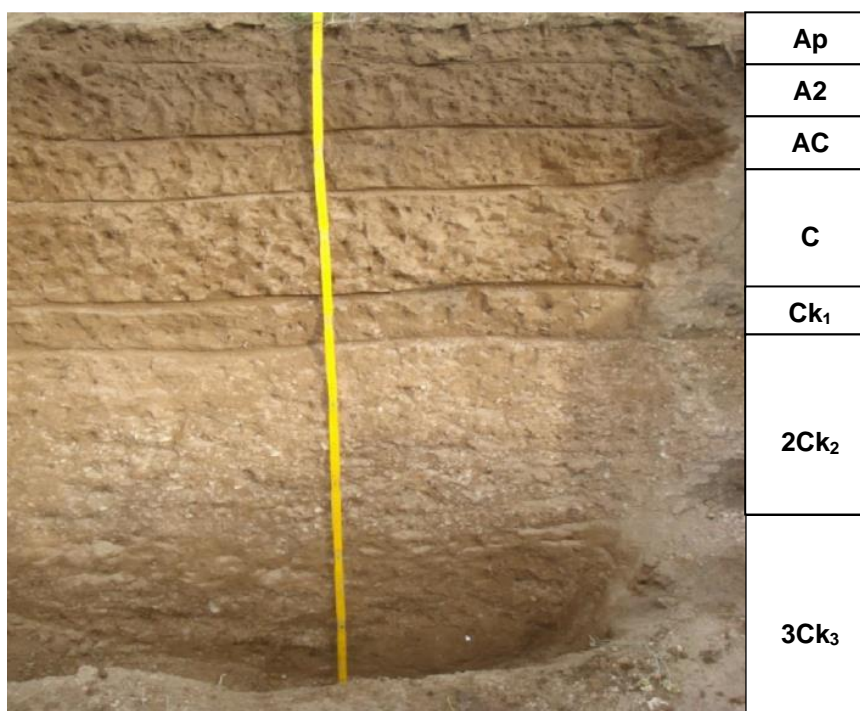


Figura 1. Perfil del Haplustol éntico, franco grueso, mixto, térmico.