

CULTIVOS DE COBERTURA DE OTOÑO/ INVIERNO. EFECTO SOBRE DISPONIBILIDAD Y DINAMICA DEL AGUA EN EL SUELO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.244112527011>

Fecha de aceptación: 27/01/2025

Eduardo de Sá Pereira

Agencia de Extensión Rural (AER) INTA
Coronel Suárez (EEA Naredo), Pcia
Buenos Aires - ARGENTINA

Juan Alberto Galantini

Comisión de Investigaciones Científicas
(CIC, Pcia BA), CERZOS (UNS-
CONICET) y Depto Agronomía (UNS),
Pcia Buenos Aires – ARGENTINA

Telmo Jorge Carneiro Amado

Universidade Federal de Santa Maria –
UFSM, Santa Maria (RS) - BRASIL

el cultivo sucesor (Duarte, 2002; Venanzi *et al.*, 2006, Alvarez *et al.*, 2008; Carfagno *et al.*, 2008, 2013; Sá Pereira *et al.*, 2024). Según Fernández *et al.* (2008), el costo hídrico de incorporar un CC sería un 50% menor con respecto a un barbecho para el cultivo de verano siguiente.

Para evaluar convenientemente la influencia de los CC sobre la disponibilidad de agua (costo hídrico en la generación de biomasa) resulta necesario considerar la capacidad de almacenaje de agua de los suelos. Este aspecto es particularmente importante, ya que define el período necesario para la recarga del perfil (desde el secado de los CC hasta el momento en que el agua es requerida por el cultivo siguiente). Además, otro de los factores que incide en la disponibilidad es la fecha de siembra del cultivo sucesor: para siembras de maíz (octubre) los CC deberían finalizar la extracción de agua antes que para siembras de soja (noviembre).

INTRODUCCIÓN

La mayor participación de cultivos de verano en la región sub-húmeda pampeana sur, principalmente soja y girasol, ha dado lugar a una importante reducción en el aporte de residuos. Intercalar cultivos invernales, como CC, es una alternativa a evaluar para proveer residuos ricos en carbono y mantener la cobertura de los suelos. Se reconoce que el consumo hídrico de estos durante el invierno podría interferir en la oferta normal de agua para

Muñoz–Carpena *et al.* (2008), utilizando diferentes modelos de balance de agua, concluyeron que la utilización de CC como antecesores de maíz mejoró las condiciones físicas del suelo, incrementó la retención del agua y la evapotranspiración real del cultivo siguiente.

Sin embargo, los resultados de incluir CC, frecuentemente, resultan muy variables entre sitios, dada la cantidad de factores involucrados (clima, suelo, manejo) y la fuerte interacción entre ellos durante el desarrollo de los CC, así como durante el barbecho posterior (Galantini, 2007).

Ernst *et al.* (2004, 2009) concluyeron que, para cultivos de verano de primera, sembrados a partir de un CC en el promedio de los años, se lograron recargas de los horizontes superficiales con períodos de barbecho en torno de los 20 días y la recarga total del perfil con períodos de 40 días.

La rotación de cultivos y el manejo del período de barbecho son dos variables con capacidad de modificar la disponibilidad hídrica inicial para los cultivos de verano en un mismo suelo (Siri-Prieto *et al.*, 2006). Monzón *et al.* (2006) determinaron que son necesarios 0,86 mm de lluvia durante el período de barbecho por cada mm de capacidad de almacenamiento de agua del suelo para maximizar el efecto del manejo de la cobertura del suelo por rastrojo. En función de esto, cuando el período de barbecho es muy largo (mayor a 4 meses) es más probable que ocurran las precipitaciones necesarias para recargar el agua del suelo y, en estos casos, el problema es controlar el escurrimiento para no generar problemas de erosión (Díaz-Ambrona *et al.*, 2005). En tanto, con un período de barbecho corto, como los que establece el doble cultivo anual, la probabilidad de recargar el suelo se reduce, en especial, para los de mayor capacidad de almacenaje.

Según Ernst *et al.* (2009), para situaciones bajo SD, el manejo del período de barbecho es determinante del resultado final sobre la humedad disponible. Estas situaciones se producen cuando existe crecimiento vegetal, ya sea éste un cultivo (trigo, cebada), un verdeo o una pradera. En siembras tempranas sobre rastrojos de cultivos de verano del año anterior, la recarga de agua del suelo se produce durante el otoño/invierno/primavera, por lo que el manejo de barbecho debe tender a conservar el agua, reduciendo la evaporación (cobertura con rastrojo) y eliminando la transpiración (control de malezas). Sobre CC o verdeos de invierno, se debe contemplar además, la recarga del agua consumida por el cultivo. En estos casos, la cantidad de rastrojo y la cobertura del suelo depende del estado fenológico al momento de aplicado el herbicida y el tiempo transcurrido desde la aplicación del herbicida hasta la siembra.

En cuanto al balance del agua, no es relevante el menor contenido de humedad al suspender el crecimiento de los CC, ya que un suelo con CC es más eficiente en captar el agua de lluvia, por lo que en relación con el barbecho desnudo no existen diferencias en la disponibilidad de agua (Cordone & Hansen, 1986; Sá Pereira *et al.*, 2021, 2013, 2016; Beltram 2022). Se encontraron resultados similares en la región de las pampas onduladas bajo secuencias CC a largo plazo (Restovich *et al.*, 2012, 2013). En investigaciones realizados por Scianca (2010) se confirman estos resultados y se ponen en evidencia que esto se cumple para regímenes údicos y ústicos de la región pampeana subhúmeda oeste.

Con la siembra del cultivo de soja y trigo, también se expandió la SD en gran parte de la región pampeana subhúmeda sudoeste (Coronel Suárez). En esta zona, se torna necesario pensar en alternativas de cultivos que incorporen C y N al suelo como pueden ser los CC.

Además, los restos vegetales de estos cultivos, cuando son manejados superficialmente, constituyen excelentes coberturas que podrían disminuir las pérdidas de agua por escurrimiento y evaporación. De esta manera, se puede contrarrestar la acción persistente de la erosión hídrica y aumentar la eficiencia en el uso del agua (Cordone & Hansen, 1986; Moreno et al., 2008; Bonvecchi et al 2022).

Por otro lado, en investigaciones realizadas por Amado (1997) y Amado *et al.* (2002), se resalta la necesidad de interrumpir el crecimiento de los CC lo más próximo a la siembra del cultivo siguiente, atendiendo a la sincronización entre la oferta y demanda de N y agua del cultivo de maíz en la sucesión.

En el sur de EE. UU., Aime et al. (2020), al evaluar la eficiencia del uso del agua de cinco cultivos de cobertura, informaron que ninguno de ellos agotó el agua del suelo (a 0,60 m de profundidad) en relación con el barbecho libre de malezas (con herbicida) o el barbecho con malezas (sin herbicida).

En ambientes con escasas precipitaciones es importante seleccionar especies de CC que tengan una adaptación a la sequía particularmente a través de la optimización del uso del agua. Este atributo depende de la capacidad fotosintética, el comportamiento de las estomas y las características de las hojas como el tamaño, la estructura y la orientación de las hojas (Moreno et al., 2008; Haffani et al., 2014). Además, la terminación química del CC algunas semanas antes de la siembra de las plántulas de cultivos comerciales es otra estrategia para permitir que el perfil del suelo se rellene de agua mediante eventos de lluvia. Quiroga et al (2009) con el objetivo de disminuir el riesgo de sequía en maíz recomiendan la CC manejada a principios de octubre, mientras que para soja y sorgo recomiendan a principios de noviembre.

Baker & Griffis (2009), trabajando con CC de centeno como antecesores de soja y maíz, desarrollaron un modelo con datos de estaciones meteorológicas del lugar y datos de requerimientos fisiológicos del centeno obtenidos de la literatura, para simular la producción de biomasa y la disponibilidad de agua para estos cultivos en rotación. Ellos concluyeron que el agotamiento de humedad del suelo es más probable en años y lugares donde existió una mayor producción de biomasa de centeno.

Los CC son una herramienta agro-ambiental común para la protección del suelo y el agua subterránea. En investigaciones realizadas por Bodner *et al.* (2007) utilizando el método de coeficiente de doble cultivo de la (FAO 1977), para evaluar el riesgo de agotamiento de agua del suelo por CC, concluyeron que la utilización de diferentes CC, redujeron la alta evaporación de un suelo desnudo y consideraron más adecuada la utilización de un CC para la gestión del agua en ambientes limitantes en este recurso.

Hipótesis

Los cultivos de cobertura afectan la dinámica del agua en el suelo y su eficiencia de uso, dependiendo de la especie y la MS producida, afectando al maíz posteriormente implantado.

Objetivo

En consecuencia, los objetivos de este estudio fueron: cuantificar el uso consuntivo y la eficiencia en el uso de agua y evaluar la probabilidad de alteraciones en el balance hídrico producido por los diferentes cultivos de cobertura de ciclo otoño-invernal bajo el sistema de SD.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generalidades del área bajo estudio

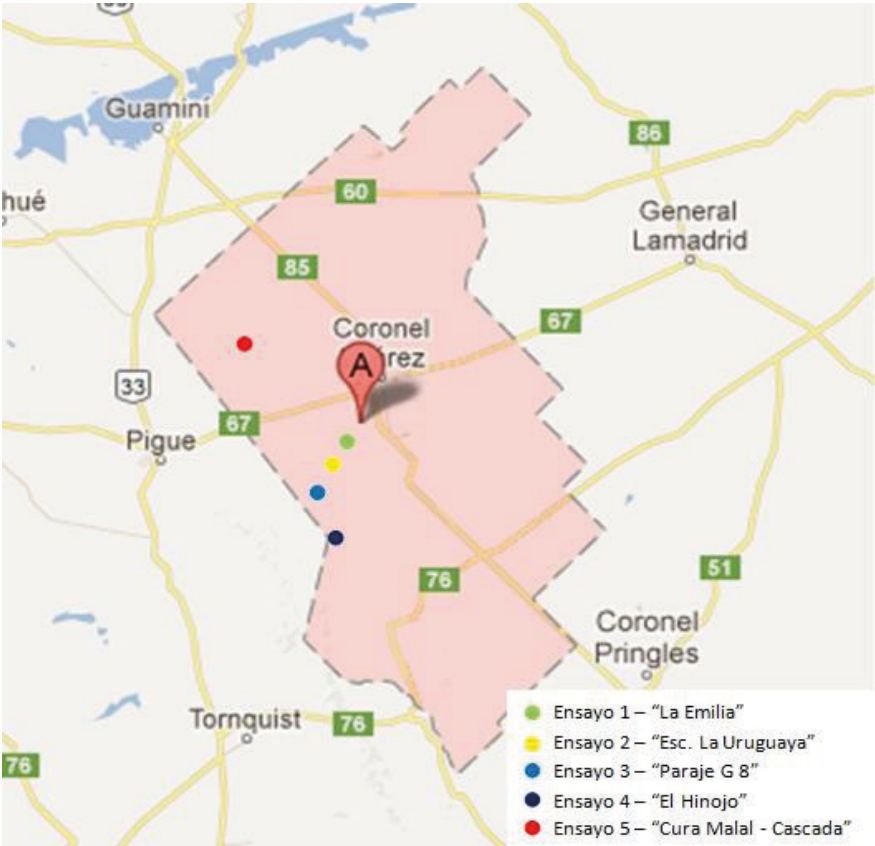
El trabajo fue realizado en un radio de 40 km de la localidad de Coronel Suárez, provincia de Buenos Aires (37° 25' 47,6" de latitud sur y 61° 44' 59" de longitud oeste a 243 msnm) entre las campañas agrícolas de 2005/08. Los suelos del sector bajo estudio corresponden a Argiudoles típicos (Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, 1989) con un desarrollo morfológico Ap-BA-Bt-BC-C (Soil Survey Staff, 2010) de textura franco-arcillo-limosa (69,3% limo+arcilla).

Clima y suelo

El clima se puede clasificar como templado a moderadamente frío, con heladas de hasta - 10°C, con precipitaciones media anual de 770 mm y temperatura media anual de 14°C, variando entre 0 y 28°C. Los suelos son Argiudoles típicos franco-arcilloso, con las siguientes características: Unidad taxonómica de mayor representatividad que integran las Unidades cartográficas de Dominio edáfico 2 (Área Ventania), bien drenado. a) Horizonte superficial compuesto por un Ap de textura franco-arcillosa y un contenido de MO cercano al 4%. b) El horizonte BA, tiene textura franco-arcillosa y estructura en bloques. c) Le sigue un horizonte Bt muy espeso, con textura arcillosa a franco-arcillosa, estructura en prismas y abundantes barnices. d) Debajo continúa un horizonte BC de textura franca a franco-arcillosa pasando transicionalmente a un horizonte C. Los cinco ensayos fueron instalados durante las campañas 2005/06, 2006/07 y 2007/08 (ver anexo fotos).

Se registraron las precipitaciones diarias en los tres años en que se condujeron ensayos a campo y en cada uno de los sitios de estudio, desde la siembra de los cultivos de cobertura hasta la cosecha del cultivo de maíz. Se realizaron comparaciones de las precipitaciones acumuladas y decádicas de cada año con las históricas registradas en la Aeroestación de Coronel Suárez (SMN) (37° 25' 47,6"S; 61° 44' 59"O, 243 msnm) provincia de Buenos Aires correspondientes a la Serie (1944 – 2008).

Localización y área de estudio.



Localización geográfica de los sitios evaluados en el partido de Coronel Suárez.

Particularidades de los ensayos, diseño y antecesores

Las especies utilizadas como CC de invierno fueron: avena (*Avena sativa*), vicia (*Vicia sativa*), trébol pastoreo “Laser” (*Trifolium resupinatum*), trébol cobertura “Leithering” (*Trifolium resupinatum*), trébol balanza (*Trifolium balansae*), avena + vicia (*Avena sativa* + *Vicia sativa*) y un testigo (Barbecho químico). Todos los ensayos se sembraron bajo el sistema de siembra directa (SD). La densidad de siembra fue de 40 Kg ha⁻¹ para vicia, 12 Kg ha⁻¹ para trébol, 100 Kg ha⁻¹ para avena y (50 + 50 Kg ha⁻¹) para avena + vicia. Los tratamientos fueron dispuestos en bloques al azar con tres repeticiones y en parcelas de 150 m². Se repitió el ensayo en cinco sitios sobre antecesor trigo, (E₁) “La Emilia” (2005/06), (37° 33' 06" latitud sur y 62° 01' 33" longitud oeste), (E₂) “Paraje G8” (2006/07), (37° 38' 43" latitud sur y 61° 59' 94" longitud oeste) y durante la campaña 2007/08 en tres sitios diferentes (E₃) “La Uruguaya” (37° 35' 26" latitud sur y 62° 02' 47" longitud oeste), (E₄) “El Hinojo” (37° 41' 05" latitud sur y 62° 05' 45" longitud oeste) y (E₅) “Cura Malal-Cascada” (37° 23' 13" latitud sur y 62° 11' 27" longitud oeste) todos estos con similares características de textura de suelo (ver anexo fotos). El secado de los cultivos de cobertura fueron realizadas 252, 239 y 237 días después de la siembra, en 2005, 2006 y 2007, respectivamente. La misma se realizó con rolo “faca” y herbicida glifosato + 2,4D a una dosis de (4 L ha⁻¹ + 500 cc ha⁻¹). Se realizaron dos cortes de evaluación a los 152 y 241 días (campaña 2005/06), 122 y 226 (campaña 2006/07) y a los 227 (campaña 2007/2008) días de la siembra. En este último caso, los cultivos debieron soportar 120 heladas durante el otoño-invierno y parte de la primavera. En los momentos de evaluación final, la avena se encontraba en estado de plena floración y la vicia en inicio de floración.

Se midió la humedad gravimétrica a la siembra de maíz, que coincidió en casi todos los años y sitios de ensayos con el momento de supresión de los CC. Esta determinación fue también realizada a la cosecha del maíz. En base a la precipitación durante el ciclo del cultivo (PP ciclo) y el agua total (AT) a la siembra y a la cosecha se calculó el uso consuntivo (UC).

$$UC \text{ (mm)} = PP_{\text{ciclo}} + AT_{\text{siembra}} - AT_{\text{cosecha}}$$

El UC representa el agua disponible para el sistema y no para el cultivo. Según Galantini *et al.* (2007) un suelo pobre en “estructura” será menos eficiente en la captación de las lluvias, un arenoso menos eficiente en la retención, uno pobre en cobertura menos eficiente en la conservación, etc. El UC integra factores naturales e incontrolables con aquellos controlables por el manejo.

Se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA), como la cantidad de materia seca (MS) producida por los CC por milímetro de agua disponible (UC). El contenido hídrico en mm de agua total del suelo fue medido a un metro de profundidad (a intervalos de 20 cm) como así también, el agua útil (AU) (agua retenida por las plantas para su crecimiento y desarrollo entre -33 y -1500 kPa). Para este último cálculo, se determinaron el punto de marchitez permanente (contenido hídrico del suelo en el cual las plantas no pueden absorber el agua remanente que por convención se estima en -1500 kPa) y b) la capacidad de campo (contenido hídrico que permanece en el suelo luego de drenar libremente y en un tiempo de 48 hs; por convención se toma un valor de -33 kPa) mediante olla y membrana de presión (Richards, 1947; Klute, 1986). También se determinó el valor de la densidad aparente (DA) utilizando el método del cilindro, volumen 54,3 cm³ (Burke & Bouma, 1986) de todos los suelos de los sitios de ensayo donde se realizaron las experiencias.

Distribución Gamma

Dentro de las funciones que mejor ajustan a la lluvia mensual y estacional se encuentran las funciones teórica Gamma, log-normal, raíz cúbica o Gamma incompleta (Thom, 1966; Ravelo y Seiler, 1978; Rojas y Conde, 1980; Wilks, 1995). Asimismo se reconoce que la función Gamma es una de las de mejor ajuste al comportamiento de la precipitación en Argentina (Scian & Pierini, 2013) así también como para las regiones semiáridas (Forte Lay *et al.*, 1984).

En base a registros de lluvia medidos diarios para el período 1944-2009 se calcularon las probabilidades de exceso de una cantidad determinada de lluvia (mm) mensuales, empleando la distribución teórica Gamma. La distribución gamma ajustada es, en general, mejor que otras distribuciones teóricas para el caso de precipitaciones.

La distribución Gamma es asimétrica y resulta adecuada para las variables cuyo límite inferior es cero. La función densidad de probabilidad (FDP) de esta distribución se expresa:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

Siendo $\alpha, \beta > 0$; en donde α es un parámetro de forma y β es un parámetro de escala. Estos parámetros se pueden estimar mediante la aproximación de Thom (1958) de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (2.a)$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \quad (2.b)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (2.c)$$

Donde \bar{x} es el valor medio de la variable aleatoria. Cuando la precipitación toma valores nulos la aproximación sigue un procedimiento diferente; se calcula una función de distribución mixta compuesta por una función de probabilidad para los valores nulos y otra para los valores no nulos de la variable aleatoria.

Si m es el número de los valores nulos, se acepta que la probabilidad de que la precipitación mensual sea igual a cero es $q=m/n$ y la probabilidad de que sea superior a cero $p=1-q$. En estos casos, la función de distribución de la serie está dada por:

$$H(x) = q + p * G(x) \quad (3)$$

En donde $G(x)$ es la función de distribución de los $N - m$ términos distintos de cero de la serie.

Los ensayos fueron realizados en un suelo, sin limitante de tosca en profundidad y una capacidad de almacenamiento de agua útil de (90 a 120 mm) en un espesor de 100 cm. Se realizó una estimación del balance diario de agua, calculando el contenido de AU en el suelo a lo largo del año, en base a la necesidad teórica de agua de los CC de invierno en la región (FAO, 1997), a la capacidad de retención de agua útil del suelo (CAU, diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente) y a las lluvias diarias, utilizando una planilla de cálculo. Este balance simplificado no tiene en cuenta variables importantes como la pérdida de agua por escurrimiento superficial, variaciones en la evapotranspiración por cambios en la cobertura del suelo, entre otras. Sin embargo, es una herramienta útil para estimar los cambios ocurridos en pequeños intervalos de tiempo (Galantini *et al.*, 2008).

Diseño experimental

El trabajo fue realizado utilizando un diseño estadístico en bloques al azar con tres repeticiones, durante las campañas 2005/06, 2006/07 y 2007/08 utilizando el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2013). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de la variancia (ANOVA), para cada año por separado. Para los factores de naturaleza cualitativa (CC puros o asociados), las medias de los tratamientos fueron comparadas a través del test de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher LSD a 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitaciones

Los registros mensuales de precipitaciones en cada sitio experimental, desde la siembra de los CC hasta el momento de la cosecha del maíz (marzo a mayo del año siguiente) durante las campañas 2005/06, 2006/07 y 2007/08 y las precipitaciones históricas (1944-2009) son presentados en la Figura 1.

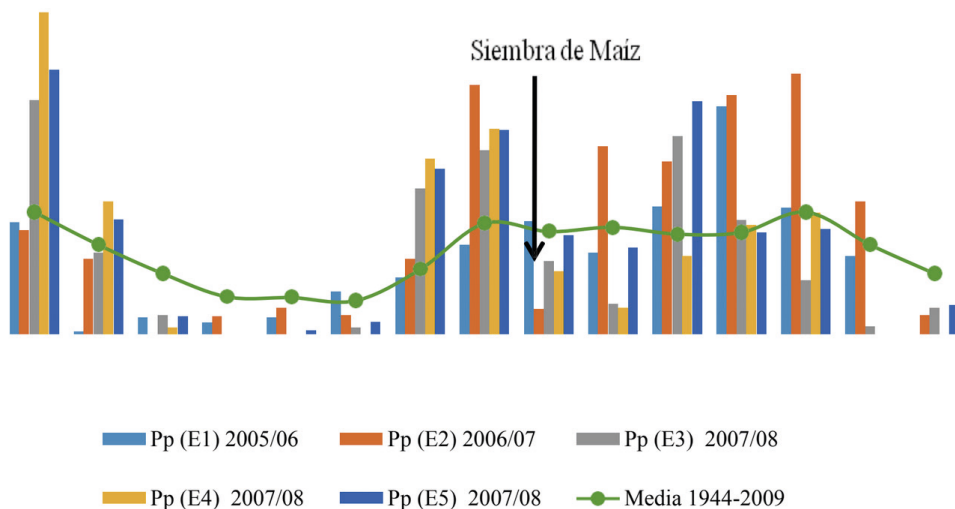


Figura 1. Precipitaciones mensuales históricas (1944-2009) y ocurridas durante los ensayos E1, E2, E3, E4 y E5 (de marzo a mayo de 2005/06, 2006/07 y 2007/08) (mm). Aeroestación meteorológica Coronel Suárez.

Las precipitaciones en el año 2005 desde la fecha de siembra de los CC hasta su corte o siembra de maíz acumularon 187 mm. En el año 2006 para el período que va de marzo a octubre se acumularon 452 mm. Esto determinó un menor crecimiento y producción de MS de los cultivos de cobertura en el año 2005 con respecto al 2006.

Cuando se analizaron las precipitaciones acumuladas del año 2007 en los tres sitios de ensayos E₃, E₄, y E₅, en una misma fecha de corte de cultivos de cobertura/siembra de maíz y en la misma fecha de siembra para los CC, estas fueron de: 535, 624 y 672 mm. Estos resultados determinaron un excelente crecimiento en otoño-invierno-primavera de los CC estudiados y una recuperación del agua en el suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz en los tres sitios de experimentación. Las precipitaciones acumuladas fueron en todos los casos superiores a los obtenidos en los dos años anteriores.

Distribución Gamma

En la Figura 2 se observa como varía la probabilidad de exceso de precipitaciones durante los períodos de crecimiento de los CC y del maíz en sucesión.

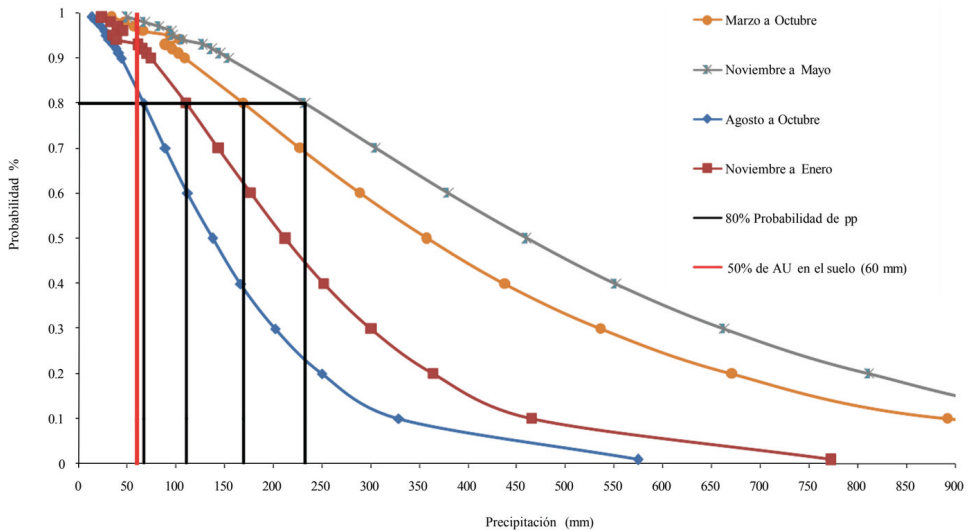


Figura 2. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones (pp) para los períodos (marzo - octubre), (noviembre - mayo), (agosto - octubre), (noviembre - enero) para el promedio histórico (1944 - 2009). Aeroestación Meteorológica Coronel Suárez.

Para facilitar la interpretación de la información contenida, se trazó una línea en la Figura 2 que indica el 80 % de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones, comprobándose que éstas superan los 233 mm en el período de noviembre a mayo (ciclo del maíz), 169 mm de marzo a octubre (período de crecimiento de los CC), 111 mm de noviembre a enero (siembra a floración) y 67 mm de agosto a octubre (período de recarga del perfil de suelo). En este último período (agosto/octubre) existe un 80 % de probabilidad de alcanzar un 50% AU (60 mm) nivel mínimo necesario para decidir la siembra de maíz.

Cuando se analizan las precipitaciones promedio para esos mismos períodos en los 5 sitios de ensayo experimentales y los 3 años evaluados, las mismas ascienden a: 512 mm (marzo a octubre), 534 mm (noviembre a mayo), 260 mm (agosto a octubre) y 254 mm (noviembre a enero), confirmando el nivel de probabilidad obtenida con el modelo de distribución gamma. Para el caso de los años que se cultiva trigo, con una capacidad de almacenamiento de agua total comprendida entre 180 y 200 mm, en un espesor de 80 cm, las precipitaciones del período posterior libre de cultivo (verano) tienen una probabilidad del 80% de atravesarlo por flujo preferencial. Estas, se constituyen en una recarga con un riesgo potencial contaminante del agua subterránea zonal.

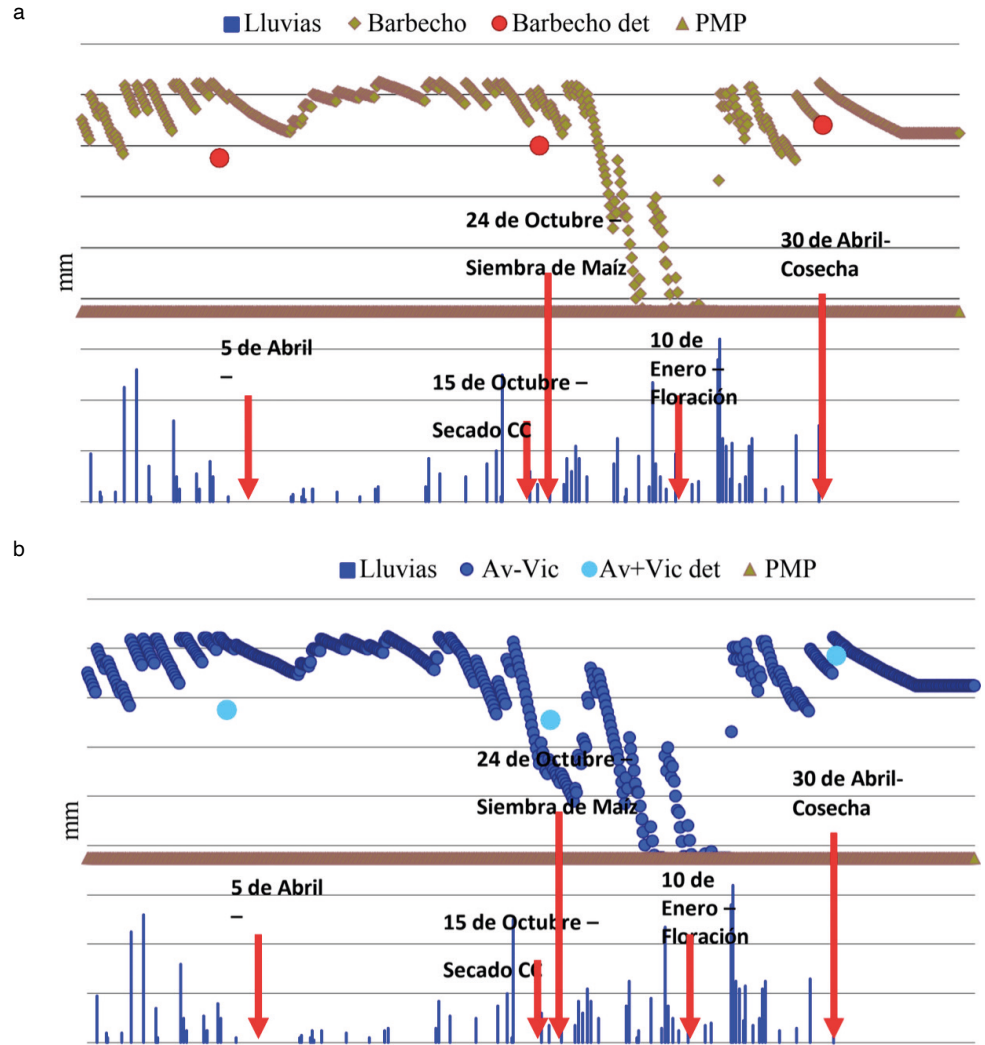
Balance de agua y efecto de los CC sobre la disponibilidad de agua en el suelo.

Las lluvias durante el período de crecimiento de los CC, en el año 2005, fueron inferiores a la capacidad de almacenamiento del suelo, mientras que en los años 2006 y 2007 superaron dicha capacidad, originando un exceso que favoreció el crecimiento de los CC y contribuir a las pérdidas de nutrientes por lixiviación durante el cultivo de maíz. En el año 2005, las pérdidas por escurrimiento fueron despreciables debido a una infiltración deficiente por tratarse de un suelo bajo SD, un año sin lluvias muy intensas y al hecho de no haberse encontrado impedimentos físicos subsuperficiales. Todo el movimiento de agua fue diario, los excesos de un día se pierden para el día siguiente. Se discriminaron consumos diferentes para los diferentes cultivos de cobertura.

En la Figura 7 se puede observar la dinámica del agua en el suelo en la campaña 2005/06 (E_1), para el período de siembra del CC-Cosecha de maíz y para los distintos CC establecidos como antecesores. Se distinguen perfectamente, dos ciclos, el de izquierda, perteneciente al del CC de invierno hasta la interrupción del crecimiento con herbicida y el ciclo del cultivo de maíz, a la derecha. En el E_1 (2005/06), se observó como el testigo (barbecho) y el tratamiento vicia mantuvieron un nivel de agua útil en el perfil superior a los otros tratamientos; mientras que la avena, trébol y avena + vicia consumen parte del agua de reserva. En los (E_2) 2006/07, E_3 , E_4 y E_5 (2007/08) se obtuvieron resultados similares, dado que fueron años con precipitaciones próximas o superiores al promedio histórico para el período primavera-estival. Los cultivos de cobertura, si bien consumieron parte del agua acumulada, no agotaron el perfil, quedando reservas de 70 al 80% del agua útil máxima, para el cultivo de maíz siguiente.

Durante el 1 de abril y el 30 de octubre del E_1 y durante el 1 de marzo y el 10 de noviembre de los E_2 , E_3 , E_4 y E_5 el suelo se mantuvo cercano a capacidad de campo en el tratamiento testigo (barbecho). En tanto, los tratamientos CC utilizaron agua, en especial en los 25 días previos a la aplicación del herbicida. En este momento, mientras el tratamiento barbecho tenía el 95% del agua útil almacenada, los CC, a excepción de la vicia en el segundo año, consumieron el 55%. Las lluvias ocurridas durante el período de barbecho químico permitieron recargar el perfil, habiéndose realizado la siembra de maíz con la misma reserva de agua en el suelo. Dos características parecen determinantes de los resultados: por un lado, la profundidad del perfil considerada y por otro, el régimen de lluvias de la estación. Para las condiciones de la región pampeana subhúmeda, es normal mantener el suelo cercano a capacidad de campo durante todo el invierno y la posibilidad de recargar el perfil a inicios de la primavera es alta (Sá Pereira *et al.*, 2008a), lo que permitiría implementar la hipótesis sin aumentar en forma excesiva el riesgo de no poder sembrar cultivos de verano a inicios de la estación de crecimiento con el perfil recargado de agua. Los porcentajes de AU durante el momento de floración (período crítico para el cultivo de maíz), fueron de: 50, 42, 38, 25 y 53 % respectivamente. Resultados similares a estos fueron obtenidos por Corsi, 1982 y Ernst, 2004 para las condiciones de Uruguay, donde es normal mantener el suelo cercano a capacidad de campo durante todo el invierno y la posibilidad de recarga del perfil a inicios de la primavera es alta.

Es importante destacar que los valores de humedad observados del modelo se ajustaron bastante bien con los calculados. Similares resultados fueron obtenidos por (Bodner *et al.*, 2007; Galantini *et al.*, 2008; Galantini & Landriscini, 2007; Muñoz-Carpena *et al.*, 2008; Baker & Griffis, 2009), trabajando con diferentes balances de agua y modelos de simulación.



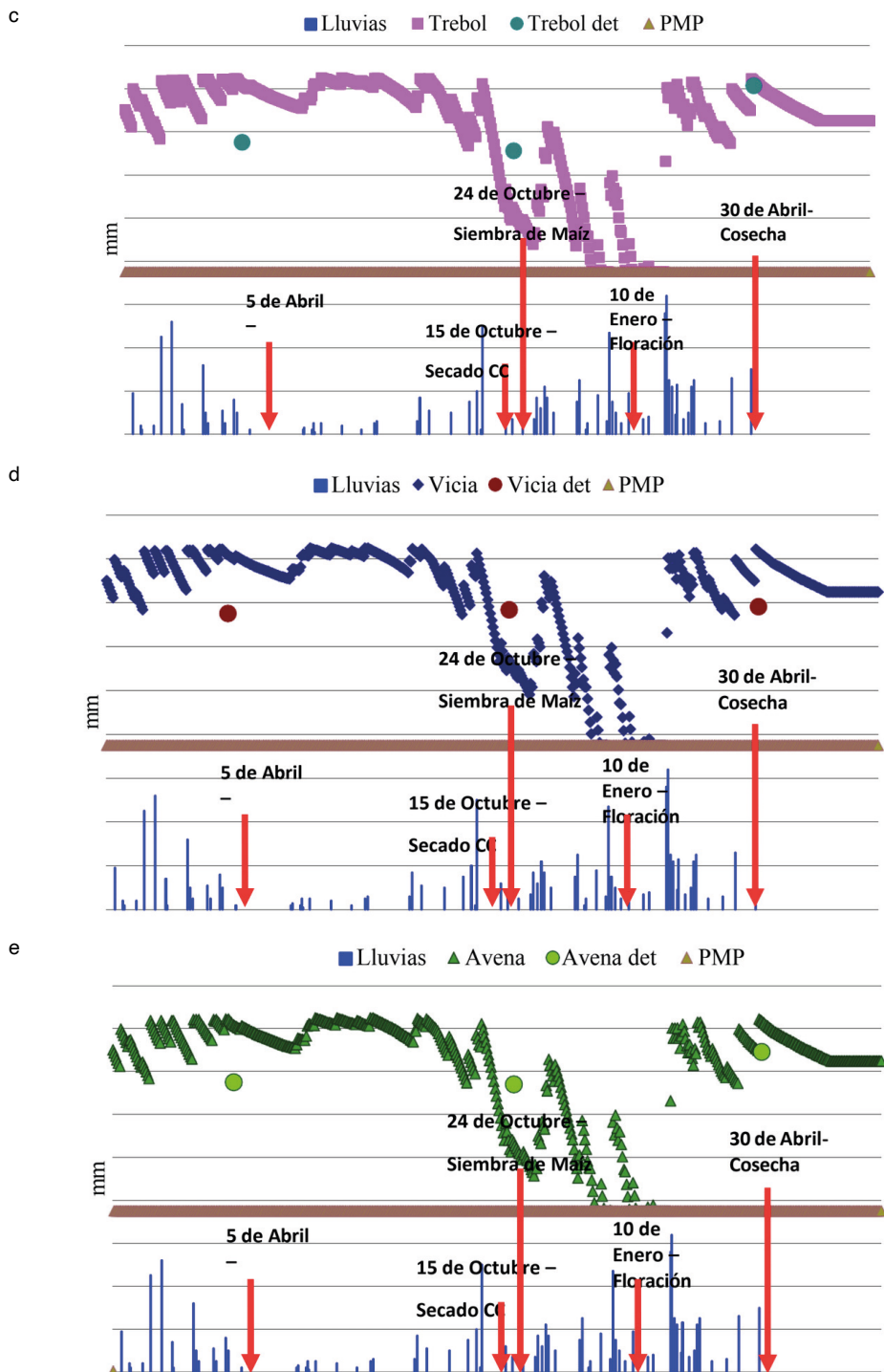


Figura 3. Dinámica del agua en el suelo y lluvia en (mm) durante el ciclo CC/maíz (valores diarios estimados y determinados al momento de la siembra de los CC, secado, siembra y cosecha de maíz). Ensayo 1 campaña 2005/06. (a) testigo, (b) avena + vicia, (c) trébol, (d) vicia, (e) avena.

Según Quiroga *et al.* (2009) para evaluar convenientemente la influencia de los CC sobre la disponibilidad de agua (costo hídrico en la generación de biomasa) resulta necesario considerar la capacidad de almacenaje de agua de los suelos. Este aspecto es particularmente importante, ya que define el período necesario para la recarga del perfil (fin del CC). Además, otro de los factores que incide es la fecha de siembra del cultivo sucesor, por ejemplo para la siembras de maíz (segunda quincena de octubre), los CC deberían finalizar la extracción de agua 30 a 45 días antes. Contrariamente, Amado *et al.* (2002) consideran la conveniencia de suprimir el crecimiento de los CC lo más próximo a la siembra del maíz en regiones más húmedas, atendiendo a una mejor sincronización entre oferta y demanda tanto de agua como de N.

Los resultados obtenidos en la campaña 2005/06 muestran que las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC se ubicaron entre 3 y 14 mm (Figura 4). Por otro lado, cuando se comparó el agua total acumulada entre los CC y el testigo, y a una profundidad de 0-60 cm los CC presentaron entre 90 y 95% del contenido total de agua acumulada con respecto al testigo. En cuanto al AU disponible para este mismo año, medida en porcentaje, al momento del secado de los CC esta representó entre 64 y 72% con respecto al testigo (Figura 8). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Cordone & Hansen (1986) y Quiroga *et al.* (2009), donde los CC no afectaron de modo significativo la disponibilidad de agua en el suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz. Analizando la dotación hídrica en el suelo a diferentes profundidades tampoco se observaron diferencias en todos los cultivos de cobertura con respecto al testigo (Figura 5) en el año 2005/06. El uso consuntivo para los CC y testigo para este año fueron muy similares, observándose una pequeña diferencia de 7 mm a favor del testigo (Figura 6).

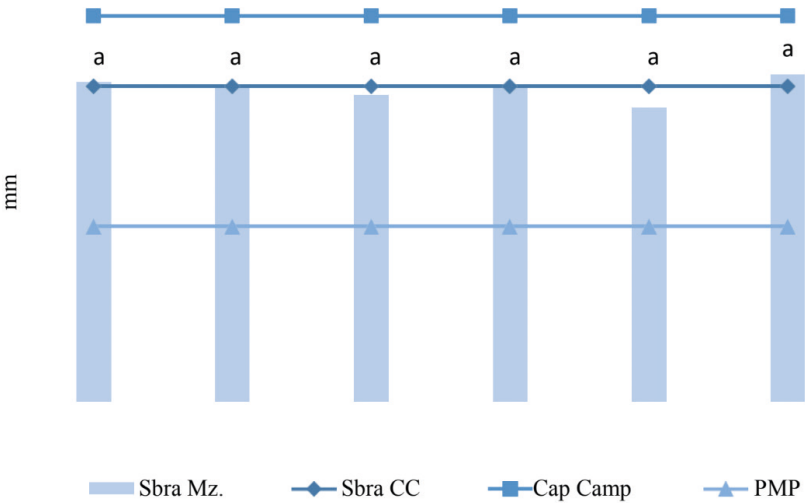


Figura 4. Efecto de los CC sobre el agua útil en el suelo a la fecha de siembra del maíz. Se indican los valores correspondientes a contenido de agua en el suelo en mm (0-60 cm) para los diferentes CC, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (PMP) como antecesores de maíz Campaña 2005/06 (E_1). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas para $p \leq 0,05$.

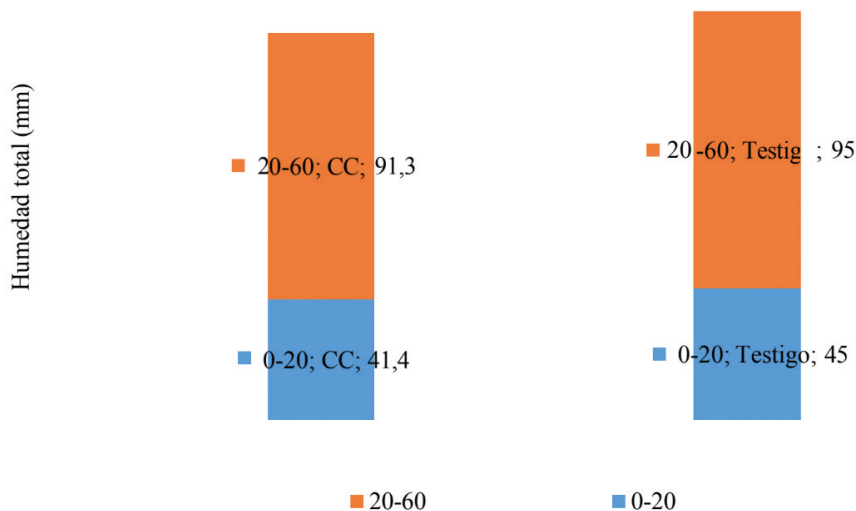


Figura 5. Contenido de agua total en el suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz por profundidades (0- 20) y (20-60). Promedio de los CC y el testigo. Campaña 2005/06 (E₁).

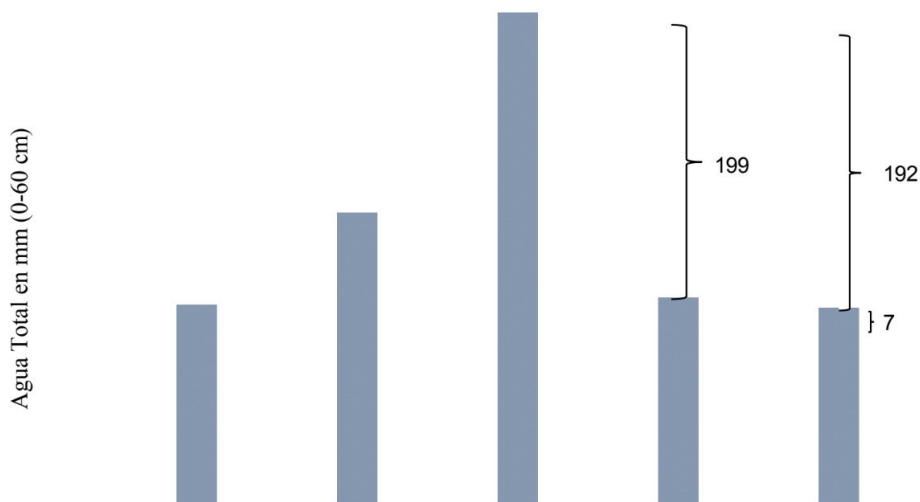


Figura 6. Contenido de agua en el suelo al momento de la siembra del maíz (AI) y al final del ciclo con cultivo de cobertura (CC) y sin CC (Testigo), se indican las precipitaciones caídas durante el ciclo del maíz (PP) y la disponibilidad total de agua para el cultivo (AI + PP). Las barras finas verticales muestran el agua consumida en cada sistema. Campaña 2005/06 (E₁).

En la campaña 2006/07, el agua total en el suelo fue superior a la presente en la campaña 2005/06, debido a un aumento de las precipitaciones. En cuanto al porcentaje de agua disponible a la siembra de maíz con los diferentes CC fue de 70,6% frente a 62,4% en el testigo (Figura 8). Esto confirma los resultados obtenidos por Cordone & Hansen (1986). Sin embargo, los contenidos de agua total a la siembra en el ciclo 2005/06 para la misma fecha y los mismos antecesores, fueron levemente inferiores a los del ciclo 2006/07, debido a que las precipitaciones acumuladas fueron significativamente mayores.

Tal como se observó previamente, Sá Pereira *et al.* (2008a), reportaron que las precipitaciones de primavera resultaron suficientes para recargar el perfil del suelo en un 70% de su capacidad de almacenaje de agua útil para el cultivo posterior de maíz.

Si observamos la acumulación de agua en las diferentes profundidades evaluadas vemos que, con antecesor CC hubo una mayor captación de humedad al momento de la siembra de cultivo de maíz con respecto al testigo con barbecho largo. En las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80cm los CC estuvieron entre 5 y 57% por encima del testigo (Figura 7).

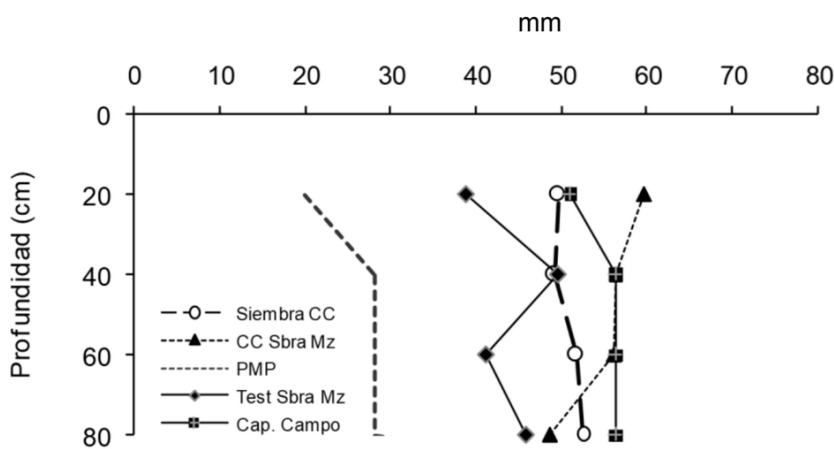


Figura 7. Contenido de agua del suelo a diferentes profundidades en mm (0-80 cm) para los diferentes CC y testigo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (PMP) como antecesores de maíz para la campaña 2006/07 (E_2).

Los resultados obtenidos en las campañas 2005/06 (E_1) y 2006/07 (E_2), muy diferentes entre sí en cuanto a las precipitaciones acumuladas, muestran que las diferencias en los contenidos finales de agua entre el testigo y los CC variaron entre 5 y 15 mm. Los CC acumularon en promedio una lámina de agua mayor en superficie, valores similares en las capas intermedias y se aproximaron al testigo (barbecho) en la capa más profunda del suelo (Figura 7). Esto indicaría que los CC no tienen un efecto negativo para el cultivo siguiente. No obstante, hay que considerar que las precipitaciones durante el período evaluado fueron de 197 y 452 mm, para los años 2005 y 2006 respectivamente, las que sumadas al contenido inicial de agua (135 y 203 mm) dan una lámina total de 332 y 655 mm. Es evidente que la mayor parte del agua no pudo ser almacenada en los primeros 60 y 80 cm del perfil en los años 2005 y 2006, respectivamente. De esta manera, se comprueba que el tratamiento testigo finalizó con 140 mm de los 332 mm caídos en el año 2005 y de 175 mm de los 655 mm que potencialmente podría haber almacenado (Figura 8). Es decir, que 192 y 470 mm excedieron la capacidad de almacenamiento en el perfil. Por lo tanto, de los 199,3 mm de uso consuntivo de los CC, 192 mm deben ser descontados y,

consecuentemente, el costo hídrico para el cultivo de verano siguiente resultaría de 7,3 mm para la campaña 2005/06. En el ciclo 2006/07 de los 470 mm de uso consuntivo de los CC, 480 mm deben ser descontados y, en consecuencia, no solo que no existió ningún costo hídrico para el cultivo de maíz, sino que los CC acumularon 10 mm más de agua en el perfil de suelo con respecto al tratamiento sin CC (Figura 8).

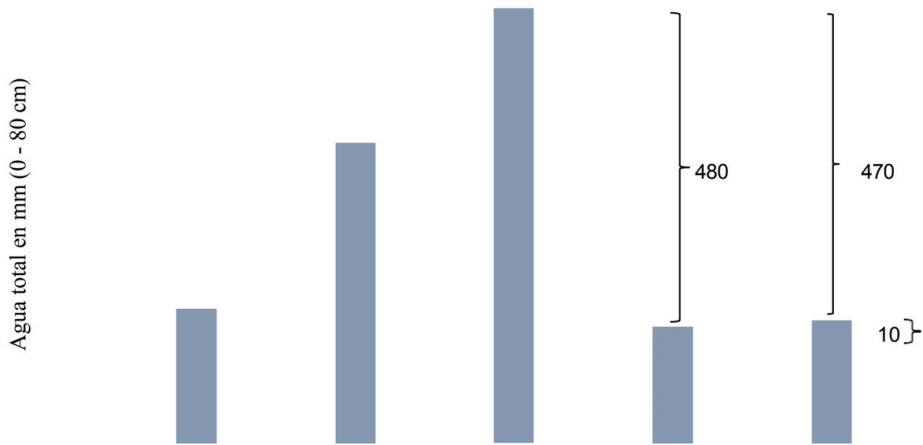


Figura 8. Contenido de agua en el suelo al momento de la siembra del maíz (AI) y al final del ciclo con cultivo de cobertura (CC) y sin CC (Testigo), se muestran las precipitaciones caídas durante el ciclo del maíz (PP) y la disponibilidad total de agua para el cultivo (AI + PP). Las barras finas verticales muestran el agua consumida en cada sistema. Campaña 2006/07 (E_2).

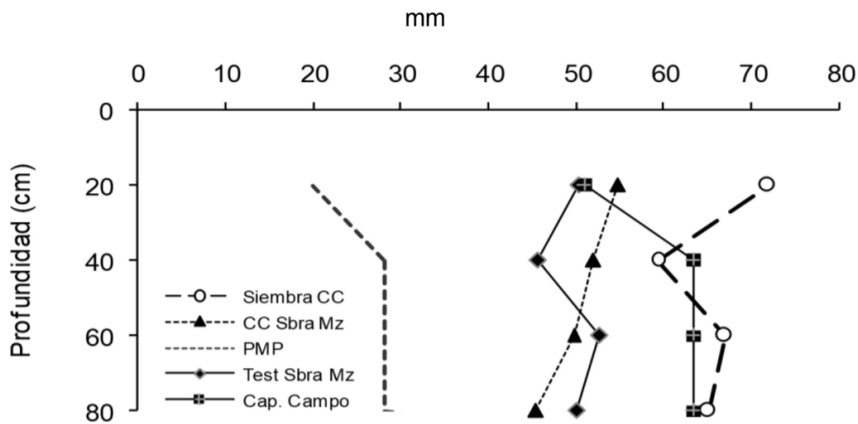


Figura 9. Contenido de agua del suelo a diferentes profundidades en mm (0-80 cm) para los diferentes CC y testigo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (PMP) como antecesores de maíz para la campaña 2007/08 (E_3).

Cuando se analizó la campaña 2007/08 (E_3), se expresan las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC. En promedio, variaron entre 6 y 12 mm. Para todos los CC y en las capas sub-superficiales, se observó una mayor disponibilidad de agua que en profundidad, cuando se comparó con el testigo (barbecho) (Figura 9).

Nuevamente, en esta campaña 2007/08 (E_3) se confirman los resultados obtenidos en los años anteriores de este estudio. Sin embargo, si se considera que las precipitaciones durante el período evaluado fueron de 565 mm, para el E_3 , las que sumadas al contenido inicial de agua (263 mm) dan una lámina total de 828 mm, es evidente que la mayor parte de la misma no pudo ser almacenada en los primeros 80 cm del perfil. De esta manera, se comprueba que el tratamiento testigo finalizó con 198 mm de los 828 mm en el ciclo 2007/08 (E_3) que potencialmente podría haber almacenado (Figura 10). Es decir que 630 mm no fueron almacenados en el perfil. Por lo tanto, de los 626 mm de uso consuntivo de los CC, 629 mm deben ser descontados y, en consecuencia no existió costo hídrico alguno para el cultivo de maíz siguiente, aportando los CC, 2 mm más que el testigo. (E_3) (Figura 14).

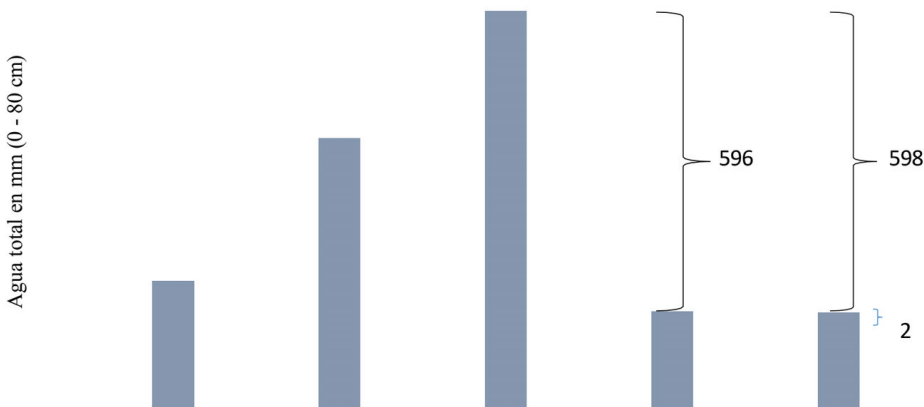


Figura 10. Contenido de agua en el suelo al momento de la siembra del maíz (AI) y al final del ciclo con cultivo de cobertura (CC) y sin CC (Testigo), se muestran las precipitaciones caídas durante el ciclo del maíz (PP) y la disponibilidad total de agua para el cultivo (AI + PP). Las barras finas verticales muestran el agua consumida en cada sistema. Campaña 2007/08 (E_3).

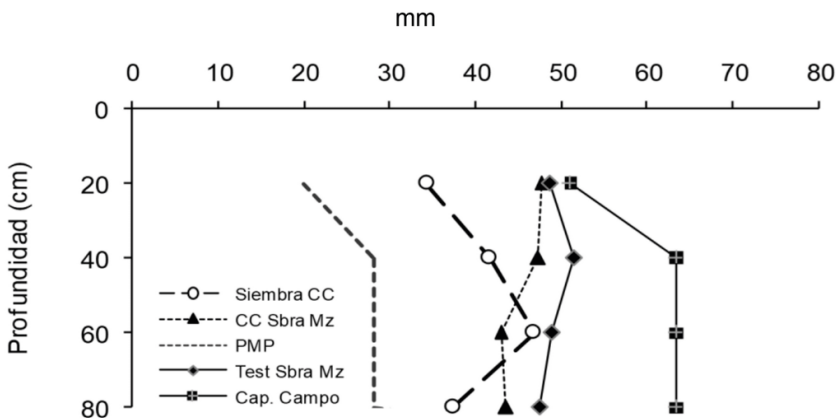


Figura 11. Contenido de agua del suelo a diferentes profundidades en mm (0-80 cm) para los diferentes CC y testigo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (PMP) como antecesores de maíz para la campaña 2007/08 (E_4).

En el E_4 y para el mismo año se mostró que las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los CC variaron entre 6 y 31 mm. En promedio de todos los CC y en profundidad se observó una menor acumulación de agua que en el testigo (barbecho) a la siembra del maíz (Figura 11). En el año 2007 (E_4), si se considera que las precipitaciones durante el período evaluado fueron de 627 mm para el E_4 , las que sumadas al contenido inicial de agua (160 mm) dan una lámina total de 787 mm, nuevamente se confirma que la mayor parte de la misma no puede ser almacenada en los primeros 80 cm del perfil para la campaña 2007/08 (E_4).

De esta manera se comprueba que el tratamiento testigo finalizó con 196 mm de los 787 mm en el año 2007 (E_4) que potencialmente podría haber almacenado. Es decir que 581 mm no fueron almacenados en el perfil. Por lo tanto, de los 581 mm de uso consuntivo de los CC, 607 mm deben ser descontados y, consecuentemente, el costo hídrico para el cultivo de maíz siguiente resultaría de 12 mm para la campaña 2007/08 (E_4) (Figura 12).

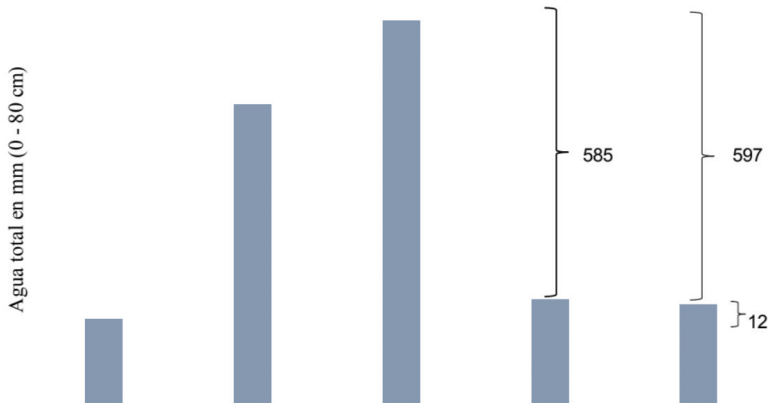


Figura 12. Contenido de agua en el suelo al momento de la siembra del maíz (AI) y al final del ciclo con cultivo de cobertura (CC) y sin CC (Testigo), se muestran las precipitaciones caídas durante el ciclo del maíz (PP) y la disponibilidad total de agua para el cultivo (AI + PP). Las barras finas verticales muestran el agua consumida en cada sistema. Campaña 2007/08 (E_4).

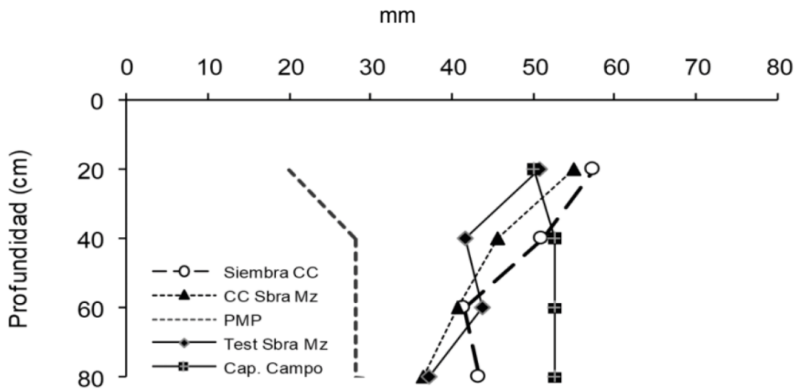


Figura 13. Contenido de agua del suelo a diferentes profundidades en mm (0-80 cm) para los diferentes CC y testigo, capacidad de campo y punto de marchitez permanente (PMP) como antecesores de maíz para la campaña 2007/08 (E_4).

En el E_5 , y para el mismo año, se mostró que las diferencias en los contenidos finales de agua entre los testigos y los cultivos de cobertura variaron entre 2 y 9 mm. Los CC en promedio acumularon mayor contenido de agua que el testigo (barbecho) en las capas superficiales y sub- superficiales del perfil. Valores similares fueron alcanzados por el testigo (barbecho) en profundidad (Figura 13). En la campaña 2007/08 (E_5), las precipitaciones durante el período

evaluado fueron de 588,5 mm, las que sumadas al contenido inicial de agua (193 mm) dan una lámina total de 781,5 mm. Nuevamente, se confirma que la mayor parte de la misma no puede ser almacenada en los primeros 80 cm del perfil para el año 2007 (E_5). De esta manera, se comprueba que el tratamiento testigo finalizó con 173 mm de los 781,5 mm en el ciclo 2007/08 (E_5) que potencialmente podría haber almacenado. Es decir que 588,5 mm no fueron almacenados en el perfil. Por lo tanto, de los 605 mm de uso consuntivo (UC) de los CC, 608.5 mm deben ser descontados y, consecuentemente, no existió costo hídrico para el cultivo de maíz siguiente, aportando los CC, 4 mm más que el testigo para la campaña 2007/08 (E_5) (Figura 14).

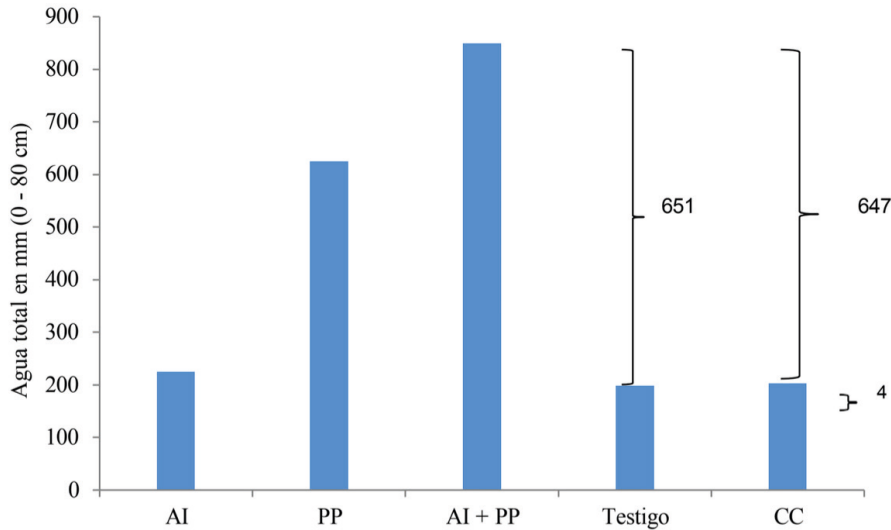


Figura 14. Contenido de agua en el suelo al momento de la siembra del maíz (AI) y al final del ciclo con cultivo de cobertura (CC), y sin CC (Testigo) se muestran las precipitaciones caídas durante el ciclo del maíz (PP) y la disponibilidad total de agua para el cultivo (AI + PP). Las barras finas verticales muestran el agua consumida en cada sistema. Campaña 2007/08 (E_5).

En Tabla 1 se muestra la eficiencia de uso del agua (EUA) para cada CC y para cada año y sitio de ensayo. La EUA de las precipitaciones fue en orden decreciente mayor para la avena S/Fert.>avena+vicia>vicia>trébol en los años 2005 y 2006. En el año 2007, los valores medios fueron más bajos en la mayoría de los CC evaluados, debido a las mayores precipitaciones registradas entre la siembra de los CC y su momento de secado. Estos resultados son similares a los obtenidos por Quiroga *et al.* (2009) en la región subhúmeda pampeana.

EUA kg MS mm ⁻¹	Vicia	Av. S/Fert.	Av Fert.	Trébol	Av + V
2005 (E ₁)	6,7	17,7	s/d	2,9	10,9
2006 (E ₂)	6,8	13,6	s/d	3,3	11,2
2007 (E ₃)	5,2	3,1	5,5	s/d	4,3
2007 (E ₄)	2,8	2,0	3,0	1,9	s/d
2007 (E ₅)	4,5	3,7	6,0	s/d	s/d

Tabla 1. Eficiencia en el uso del agua (EUA) para cada CC, año y sitio de ensayo medidas en Kg MS mm⁻¹ de precipitación.

Avena sin fertilizar (Av S/ Fert.); avena fertilizada (Av. Fert.); avena + vicia (Av. + V) y sin determinación (s/d).

CONCLUSIONES

- En cuanto al balance de agua, no fue relevante el consumo de agua de los CC.
- El suelo con CC fue más eficiente en captar el agua de lluvia, por lo que no existieron diferencias en la disponibilidad de agua en relación al testigo (barbecho) al momento de la siembra del maíz.
- Teniendo en cuenta las precipitaciones acumuladas entre los meses de agosto y octubre y entre noviembre y enero, se puede concluir que para la región de Coronel Suárez se presentó un 80% de probabilidad de exceso de precipitaciones con respecto a la media histórica, que permitieron durante los tres años en estudio, una recarga del perfil del suelo y extender el crecimiento de los CC hasta muy próximo a la siembra del cultivo de verano.

REFERENCES

Aime St R, Zehnder G. W., Talley C. and Narayanan S. **2020**. Differences in Biomass Production and Water Use Efficiency among Seven Different Cover Crops in the Wet Winter Seasons of 2016/17 and 2018 in South Carolina. *Agronomy*, 10(4), 463; <https://doi.org/10.3390/agronomy10040463>

Alvarez C, Scianca C, Barraco M, Díaz-Zorita M 2008. Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja In; XXI Congreso argentino de la Ciencia del Suelo p 370, 2008 Resúmenes Anales San Luis AACs, CD-ROM.

Amado TJC, 1997. Disponibilidade de nitrogenio para o milho em sistemas de culturas e preparo do solo 201p Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Pro-grama de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre

Amado TJC, Mielniczuk J, Aita, C, 2002. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto R Bras Ci do Solo,, v 26, p 241-248.

Baker JM, Griffis TJ, 2009. Evaluating the potential use of winter cover crops in corn– soybean systems for sustainable co-production of food and fuel Agricultural and Forest Meteorology v 149 pp 2120–2132.

Beltrán M, Galantini JA, Tognetti, PM, MR Barraco, 2022. Interacción entre cultivos comerciales y de cobertura producción, dinámica del agua y nitratos del suelo *Cienc Suelo* 40 (1): 24-37

Bodner G, Loiskandl W, Kaul H- P Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation *Agricultural water management* v 93 pp 85 – 98, 2007

Bonvecchi VE, Nivoida N, Irigoien J, Bulos L, Petrasek M, Ramírez JA & Fernández G 2022 Cultivos de cobertura y gestión del agua del suelo en el barbecho XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelos noviembre 2022 Buenos Aires Argentina.

Burke, W. D. & G.J. Bouma (eds.). 1986. Soil structure assessment. Rotterdam, A.A. Balkema. 92p

Carfagno P, Eiza M, Quiroga A, Babinec Fm, 2008. Cultivos de cobertura: Efecto sobre la dinámica del agua en el suelo In; XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo 2008 Resúmenes Anales San Luis AACS, 2008 CD-ROM.

Carfagno P, Eiza M, Babinec F, Quiroga A, 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: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas Cap 6 pag 36-49 Ediciones INTA

Cordone, G, Hansen YO, 1986. Los abonos verdes y el efecto sobre el rendimiento Car- peta de Maíz EERA-Pergamino Tomo VIII CVP N° 77 4 p,

Díaz-Ambrona, C.G.H.; O'leary, G.J.; Sadras V.O.; O'connell M.G. & Connor D.J. 2005. Environmental risk analysis of farming systems in a semi-arid environment: effect of rotations and management practices on deep drainage *Field Crops Research*. 94:257-271.

Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW, 2013.

InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina Duarte G, 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda de Argentina

En Manual práctico para el cultivo de girasol 1 ed. Buenos Aires, Argentina Ed Díaz-Zorita y Duarte, 313 pp.

Ernst O, 2004. Efecto de la incorporación de una leguminosa invernal como cultivo de cobertura sobre Las necesidades de nitrógeno de maíz sembrado sin laboreo Tesis, Especialización en siembra directa UBA Buenos Aires, Argentina

Ernst O, Mazzilli, S, Siri-Prieto G, 2009. Manejo de la reserva de agua del suelo para situaciones de estrés hídrico, Facultad de Agronomía Estación Experimental Dr Mario A, Cassinoni Paysandú, Uruguay

FAO, 1977. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos Estudio FAO riego y drenaje N° 56.

FAO 1997. Inland Water Resources and Aquaculture Service, Fishery Resources Division Review of the state of world aquaculture.

Fernández R, Quiroga A, Noellemeier E, Funaro D, Montoya J, Hitzman B, Peinemann N, 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow *Agricultural Water Management* 95: 1028- 1040.

Forte Lay, J.A., Quintela, R.M., Troha, A. y Suárez, S., 1984. Características bioclimáticas de las regiones subhúmedo-secas y semiáridas de la llanura y bosque pampeanos centrales, VIII Reunión Nacional para el estudio de las regiones áridas y semiáridas, Trelew, Chubut, 38 pág.

Galantini J & Landriscini M, 2007. Momento de fertilización y la dinámica del N: Un caso de estudio In: Galantini J La siembra directa en los sistemas de producción del Sur y Sudoeste Bonaerense Ed AAPRESID, 1ª ed. Rosario Argentina pp 66-71.

Galantini, J.; Iglesias, J.; Landriscini, M.; Suñer, L. & Minoldo, G. 2008. Calidad y dinámica de las fracciones orgánicas en sistemas naturales y cultivados. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la argentina. Ed. Juan Alberto Galantini. 1ra Ed. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 309 pp.

Haffani S., Mezni M., and Chaïbi W. 2014 Agronomic performances of three vetch species growing under different drought levels. CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH 74(3) JULY-SEPTEMBER

Monzon, J.P.; Sadras, V.O. & Andrade, F.H. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. Field Crops Research. 98: 83-90.

Moreno, M., J. Gulías, M. Lazaridou, H. Medrano, and J. Cifre. 2008. Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. p. 247-257. In Porqueddu C., and M.M. Tavares de Sousa (eds.) Sustainable Mediterranean grasslands and their multi-functions. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens 79. CIHEAM-IAMZ/FAO/ENMP/SPPF CIHEAM/FAO, Zaragoza, Spain.

Muñoz-Carpena R, Ritter DD, Bosch,; Schaffer TL & Potter Sum-mer cover crop impacts on soil percolation and nitrogen leaching from a winter corn field Agricultural water management v 95 pp 633 – 644 2008

Quiroga A: Fernandez R, Frasier I, Scianca C, 2009. Cultivos de cobertura Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. In: I Jornadas Nacionales de Sistemas Productivos Sustentables 62

Restovich S, Andriulo, A, Portela S, 2012. Introduction of cover crops in maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics Field Crops Research 128, pp 62-70.

Sá Pereira, E. de; Quiroga, A. & Galantini J. 2008a. Posibilidades de utilización de gramíneas y leguminosas invernales como cultivos de cobertura. VII Congreso nacional trigo y V Simposio Cereales otoño invernales. Santa Rosa. CD-ROM.

Sá Pereira E de, Arroquy G, Minoldo G, Iglesias J, Morris D, Galantini J, 2021. Cultivos de cobertura en la pampa interserrana bonaerense: I Estado hídrico edáfico XI Congreso de Uso y Manejo del Suelo Bahía Blanca y Coronel Suárez 1 al 3 de diciembre de 2021.

Sá Pereira E de, Minoldo G, Iglesias JO, Schulz ME, Duval ME, 2024. Cultivos de cobertura: estado hídrico edáfico y productividad de maíz posterior XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo San Fernando del Valle de Catamarca, Pcia. de Catamarca, Argentina 21 al 24 de mayo de 2024

Sá Pereira E de, 2013. Dinámica de las fracciones orgánicas del suelo en siembra directa con diferentes cultivos de cobertura como antecesores de maíz Tesis Doctorado Universidad Nacional del Sur 166 p

- Sá Pereira E de, Vecchi G, Alvarez C, Ibarra C, 2016. Cultivos de cobertura de invierno como alternativa a barbechos de larga duración en el Sudoeste de Buenos Aires XXV Congreso de la Ciencia del Suelo AACS Rio Cuarto CD ROM.
- Restovich S, Andriulo, A, Portela S, 2012. Introduction of cover crops in maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics *Field Crops Research* 128, pp 62-70
- Restovich S, Andriulo A, 2013. Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captura de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento de grano En: *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* Cap 5 Ediciones INTA.
- Ravelo, A.C. & Seiler R.A. 1978. Agroclima de la provincia de Córdoba: Probabilidades de lluvia. *RIA* 3(XIV):71-136.
- Richards, L.A. 1947. Pressure-membrane apparatus-construction and use. *Agricultural Engineering* 28: 451-454.
- Rojas, A.C. de & Conde A.A. 1980. Determinación del Índice de Erosividad de las lluvias (segunda aproximación). *Actas IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Tomo II Paraná (Entre Ríos)*. 873-880
- Scian BV, Pierini JO, 2013. Variability and trends of extreme dry and wet seasonal precipitation in Argentina A retrospective análisis, *Atmósfera* 26 (1), 3-26
- Scianca CM, 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 de Magister en Cs Agrarias Universidad Nacional del Sur
- Sian B, 2003 Distribución teórica Apuntes de clase Meteorología Dto Agronomía – Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca 10 p.
- Siri-Prieto, G.; Ernst, O.; Ingold, J.; Feller, M. & Bastos, M. 2006. Cover crop and maturity group effects on soil water content and soybean yield. XVII ISTRO Conference, Kiel University. En: *International soil and tillage research organization. Proceedings of the 17 th ISTRO Conference, August 2006, Kiel, Germany* <http://iworx5.webxtra.net/~istroorg/download/ISTRO2006.zip>. Consulta agosto 2009.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 365 pp.
- Thom, H. 1958. A note on the Gamma distribution. *Monthly Weather Review* 86, 117-122.
- Thorn, H.C.S. 1966. *Some Methods of Climatological Analysis*. WMO Technics/Note Number No. 81, 81 16-22.
- Venanzi S, Sá Pereira E de; Fernández E, Krüger H, 2006. Uso del agua por dos secuencias de cultivos en el sur de la región semiárida pampeana In: *XX Congreso argentino de la ciencia del suelo Congreso Anales AACS Salta CD-ROM*.
- Wilks, D.S., 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, New York, 467 pages.

ANEXO

Campaña 2005/06

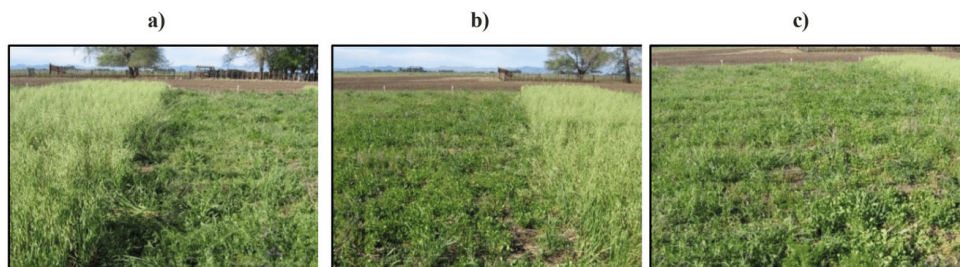


Foto 1: a) Avena (izq.) y vicia (der.); b) trébol (izq.) y avena (der.); c) Vicia (izq.), trébol (cen.) y avena (der.). (E 1)

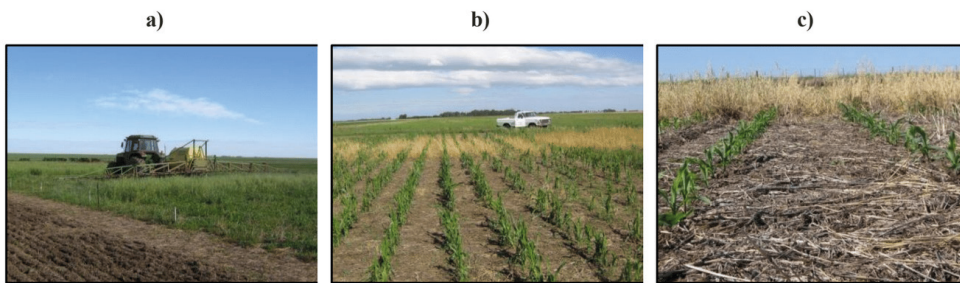


Foto 2: a) Control químico de CC.; b) Maíz/barbeho y avena; c) Maíz/vicia y avena (fdo.). (E 1)



Foto 3: Maíz en madurez fisiológica (E 1)



Foto 4: a) Vicia (1º corte); b) Siembra del ensayo de maíz; c) Emergencia maíz/vicia (E2)

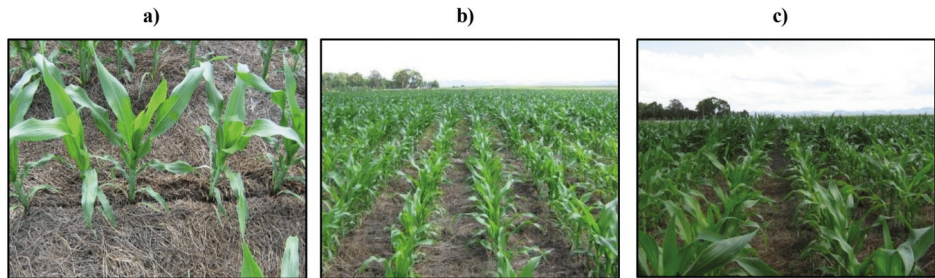


Foto 5: a, b y c) Maíz sobre vicia. Pje. G8 (E2).



Foto 6: Maíz emergiendo sobre antecesor vicia y barbecho. a) Vicia/mz. (adelante), barbecho/vicia (atrás); b) Vicia/ maíz. (E2)



Foto 7: Maíz en V4-V6 implantado sobre CC de vicia. (E2)

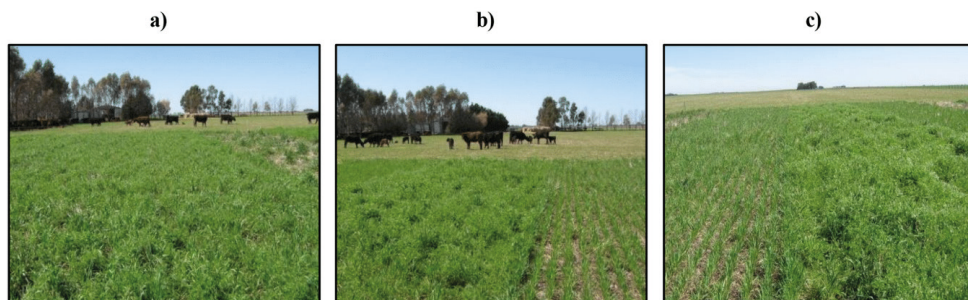


Foto 8: a) Avena + Vicia; b) Vicia (der) y Avena (izq.); c) Vicia (izq.) y avena (der.). (E3)



Foto 9: Maíz en V2-V4 sobre vicia (E 3)



Foto 10: a) Maíz en V8 sobre vicia; b) Maíz en floración mz./avena (adelante) y Maíz/vicia (atrás). (E 3)



Foto 11: Maíz en R3 (grano lechoso). (E 3)



Foto 12: Vista aérea del ensayo de CC en Cura Malal (E5).

a)



b)



c)



d)



Foto 13: a, b) vicia/maíz. (Izq.), avena/maíz. (der.); c) vicia/maíz (der.), avena/maíz (izq.) y d) avena/maíz. (Adelante), vicia/maíz (atrás). (E 5)