

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Escuela para Graduados

**EVALUACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE CULTIVOS DE COBERTURA
COMO ANTECESOR DE MAÍZ Y SOJA EN EL SUDESTE DE
CÓRDOBA, ARGENTINA**

MARTINA BELLA

Trabajo Final
para optar al Grado Académico de
Especialista en Producción de Cultivos Extensivos

Córdoba – Año 2015

**Evaluación de la inclusión de cultivos de cobertura como
antecesor de maíz y soja en el sudeste de Córdoba,
Argentina**

MARTINA BELLA

Tutor: Ing. Agr. (M. Sc.) Cristian R. Cazorla

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Tribunal
Evaluador**

Dra., M. Sc., Ing. Agr. María Basanta

.....

Ing. Agr., M. Sc. Liliana Pietrarelli

.....

Ing. Agr., Dr. Omar A. Bachmeier

.....

Presentación Formal Académica

25 de Noviembre de 2015

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Nacional de Córdoba

“No te rindas, por favor no cedas, aunque el frío quemé, aunque el miedo muerda, aunque el sol se esconda, y se calle el viento, aún hay fuego en tu alma, aún hay vida en tus sueños. Porque la vida es tuya y tuyo también el deseo, porque cada día es un comienzo nuevo, porque esta es la hora y el mejor momento.”

Mario Benedetti

Este trabajo se lo dedico a mi madre, pilar fundamental en esta vida; enseñándome a no desvanecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por protegerme durante todo mi camino y darme fuerza para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi Tutor Cristian Román Cazorla, quien se ha tomado el arduo trabajo de transmitirme sus conocimientos, sabiéndome encaminar por el camino correcto, y quien me ha ofrecido sabios conocimientos para lograr mis metas y lo que proponga. Por su dedicación, compromiso, confianza y apoyo infinito.

Al equipo de suelo de INTA Marcos Juárez, Tomás Baigorria, Mónica Boccolini y Vanesa Pegoraro que sin sus desinteresados aportes y su valiosa colaboración no hubiese sido posible la realización del presente trabajo.

A la comisión revisora por su tarea y por los aportes realizados en la corrección del presente trabajo: Ing. Agr. Dra. María Basanta, Ing. Agr. MSc. Liliana Pietrarelli, Ing. Agr. Dr. Omar A. Bachmeier.

A mi madre, hermanas y sobrinos, por formarme en los valores de la vida y darme la posibilidad de seguir mejorando tanto profesional como humanamente.

A mi grupo de amigas, que son incondicional y me apoyaron desde el inicio.

A mi compañero de camino Emiliano, por transmitirme armonía y perseverancia.

Al colega, amigo de la vida Germán, que me ubicó en el lugar y momento indicado para la realización del siguiente trabajo.

A mis colegas por sus sabios aportes y apoyo.

A mis amigos del pueblo, de posgrado y de la vida...

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se la debo por su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 HIPOTESIS DEL TRABAJO	7
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.3 OBJETIVO/S ESPECÍFICOS.....	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1 CARACTERISTICAS DE CLIMA Y SUELO.....	9
2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL, TRATAMIENTOS Y MANEJO DE CULTIVOS.....	9
2.3 DETERMINACIONES	11
2.3.1 Producción de materia seca de los cultivos de cobertura.....	11
2.3.2 Agua disponible en el suelo.....	11
2.3.3 Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia en el uso del agua.....	12
2.3.4 Tiempo térmico.....	12
2.3.5 Rendimiento de cultivos estivales.....	13
2.4 REGISTRO DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURA.....	13
2.5 ANALISIS ESTADISTICO.....	13
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1 PRODUCCION DE MATERIA SECA.....	14
3.2 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA.....	18
3.3 COSTO HIDRICO.....	20
3.4 USO CONSUNTIVO.....	22
3.5 AGUA DISPONIBLE AL SECADO.....	24
3.6 AGUA DISPONIBLE A LA SIEMBRA DEL CULTIVO ESTIVAL.....	26
3.7 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS ESTIVALES.....	28
3.8 RELACION ENTRE VARIABLES.....	29
3.9 SINTESIS.....	33
5. BIBLIOGRAFÍA	35
6. ANEXO	40

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Fechas de siembra y de interrupción del ciclo en el cultivo de cobertura (CC); siembra del cultivo estival (CE) y cultivo estival que se sembró en cada campaña.....</i>	10
Tabla 2: <i>Efecto de la fertilización en la producción de MS de los CC para cada año analizado.....</i>	14
Tabla 3. <i>Coefficiente de correlación de Pearson entre la producción de materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), tiempo térmico (TT), precipitaciones (pp), uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA).....</i>	16
Tabla 4: <i>Eficiencia en el uso del agua (kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) en los distintos cultivos de cobertura para cada año de evaluación.....</i>	19
Tabla 5. <i>Costo hídrico (mm) de los cultivos de cobertura en los diferentes años de evaluación.....</i>	21
Tabla 6. <i>Coefficiente de correlación de Pearson para Costo hídrico (CH), materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), precipitaciones (pp), agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi + PP) y uso consuntivo (UC).....</i>	22
Tabla 7. <i>Uso consuntivo (mm) por año en cada tratamiento.....</i>	23
Tabla 8. <i>Coefficiente de correlación de Pearson para las variables Uso consuntivo (UC) materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), precipitaciones (PP) y agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi + PP).....</i>	24
Tabla 9. <i>Agua disponible (AD, mm) en el perfil de suelo (0-150 cm) al secado de los cultivos de cobertura para los años evaluados.....</i>	25
Tabla 10. <i>Coefficiente de correlación de Pearson entre agua disponible al secado (ADs), materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), precipitaciones (PP), agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi + PP) y uso consuntivo (UC)..</i>	25
Tabla 11. <i>Agua disponible (AD-mm) en el perfil de suelo (0-150 cm) a la siembra de los cultivos estivales sobre diferentes antecesores para los años evaluados.....</i>	27
Tabla 12. <i>Rendimiento de soja y maíz (kg ha⁻¹) para las campañas estudiadas.....</i>	28
Tabla 13. <i>Valores de agua disponible al secado en función de la probabilidad de</i>	

<i>precipitaciones (95%), y escenarios de agua disponible inicial (ADi, mm y %) para la zona de Marcos Juárez.....</i>	31
Tabla 14. <i>Respuesta a la fertilización de los diferentes cultivos de cobertura.....</i>	40
Tabla 15. <i>Precipitaciones ocurridas en los meses de invierno (PP), agua disponible a la siembra del cultivo cobertura más precipitaciones (AU siem CC + PP) y tiempo térmico (TT).....</i>	40
Tabla 16. <i>Materia seca (MS), eficiencia en el uso del agua (EUA), costo hídrico (CH), agua disponible inicial (ADi), agua disponible al secado (ADs), agua disponible a siembra de los cultivo estivales (AUf) y rendimiento de los cultivos estivales para todos los antecesores de cultivo cobertura y barbecho.....</i>	41
Tabla 17. <i>Efecto de la fertilización y la interacción con antecesor en el rendimiento de maíz y soja.....</i>	41

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Evolución del área sembrada de los distintos cultivos, (soja, maíz, trigo y girasol) en miles de hectáreas en la provincia de Córdoba desde el año 1992 hasta la estimación 2014.</i>	2
<i>Figura 2. Producción de materia seca (MS) de A) Centeno, B) Consociación, C) Triticale, D) Vicia Villosa y E) Vicia Sativa en el tiempo de estudio con la aplicación de fertilizantes (CF) y sin fertilizantes (SF), y las precipitaciones ocurridas durante el crecimiento de los cultivos.....</i>	17
<i>Figura 3: Relación entre materia seca (MS) y agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi+PP), para centeno y triticale en Marcos Juárez.....</i>	18
<i>Figura 4. Relación entre agua disponible al secado (ADs) y agua disponible inicial + precipitaciones (ADi+pp).....</i>	30
<i>Figura 5. Distribución probabilística de lluvias en (mm) por periodos de octubre a marzo y de abril a setiembre para la región de Marcos Juárez.....</i>	31

LISTA DE ABREVIATURAS

ANT: Antecesor

ADf: Agua disponible final

ADi: Agua disponible inicial

ADs: Agua disponible al secado

AUT: Agua Útil total

B: Barbecho

C: Carbono

CC: Cultivo cobertura

CE: Cultivo estival

CF: Con fertilizantes

Cn: Centeno

Co: Consociación

COS: Carbono orgánico del suelo

CO₂: Dióxido de carbono

CRA: Capacidad de retención de agua

D: Densidad de plantas

Ef. Capt agua: Eficiencia en la captación de agua

EUA: Eficiencia en el uso del agua

MOS: Materia orgánica del suelo

MS: Materia Seca

Mz: Maíz

N: Nitrógeno

P: Fósforo

PP: Precipitaciones

SD: Siembra directa

SF: Sin fertilizantes

Sj: Soja

RR: Resistente al roundup

T: Triticale

Tr: Trigo

TCF: Triticale con fertilizante

TT: Tiempo Térmico

Vs: Vicia Sativa

Vv: Vicia Villosa

UC: Uso consuntivo

RESUMEN

Los cultivos de cobertura (CC) son una alternativa para mitigar los efectos del monocultivo de soja. El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar la inclusión de CC en secuencias soja - maíz en la región sudeste de la provincia de Córdoba. El estudio se realizó en la estación experimental agropecuaria INTA Marcos Juárez ($32^{\circ}43'09,23''S$ $62^{\circ}06'16''O$) en un ensayo iniciado en 2008 con diseño en parcelas divididas con dos factores y tres repeticiones. El factor principal fue el antecesor y el factor secundario la fertilización. Los antecesores fueron vicia sativa (*Vicia sativa* L.), vicia villosa (*Vicia villosa* Roth), centeno (*Secale cereale* L.), triticale (*x Triticosecale Wittmack*), consociación vicia - triticale y un barbecho sin CC. La fertilización en CC gramíneas fue de 100 kg ha^{-1} de N, en leguminosas de 50 kg ha^{-1} de P y en la consociación 50 kg ha^{-1} de N y P. Se realizaron determinaciones de agua disponible (AD) del suelo hasta 150 cm de profundidad en tres momentos: siembra y secado de los CC y siembra de los cultivos estivales. En los antecesores CC se determinó la producción de materia seca al secado, la eficiencia en el uso del agua y costo hídrico. Por último se determinó el rendimiento de los cultivos estivales. Las gramíneas presentaron mayores producciones de materia seca que las leguminosas. La fertilización con N incremento la producción de MS en gramíneas mientras que la fertilización con P en leguminosas no provoco cambios. El barbecho presentó mayores contenidos de AD al momento del secado que los antecesores con CC, sin diferencias entre ellos. El AD a la siembra de los cultivos estivales fue mayor en barbecho con respecto a los antecesores con CC en el año 2010, mientras que fue menor en el año 2012. El rendimiento de maíz fue mayor con antecesor vicia y fertilización nitrogenada, mientras que en soja se observaron disminuciones en el rendimiento con antecesor vicia en el año 2014, sin cambios en los años 2010 y 2012. Por lo tanto, los CC gramíneas fueron más adecuados como antecesores de soja, mientras que las leguminosas fueron más apropiadas para maíz. Los contenidos de AD a la siembra de los CC y las precipitaciones durante el periodo de crecimiento de los mismos determinaron los contenidos de AD al secado de los CC. Con contenidos de AD a la siembra de los CC superiores a 180 mm, sería adecuada la implantación de CC sin riesgos de provocar disminuciones en los contenidos de AD a la siembra de los cultivos estivales.

Palabras clave: agua disponible – vicia – centeno - soja – maíz

ABSTRACT

The use of cover crops (CC) just before summer crops is a suitable alternative to mitigate potential negative effects of soybean crops which generally produce low straw after harvest. The aim of this work was to evaluate the effects of the inclusion of CC in a soybean – maize rotation in the south-eastern region of Córdoba state, Argentina. The study was carried out in Marcos Juárez (32°43'09,23''S 62°06'16''O) on a trial which had been initiated in 2008. Treatments were arranged under a split plot design, where the principal factor was the antecedent crop (ANT) and the second factor was the level of fertilization (FERT). Antecedents included: Common vetch (*Vicia sativa* L.), hairy vetch (*Vicia villosa* Roth), Rye (*Secale cereale* L.), triticale (*x Triticosecale* Wittmack), hairy vetch + triticale crops, and fallow without CC. The factor FERT included: 100 kg ha⁻¹ N for triticale and rye; 50 kg ha⁻¹ N y 50 kg ha⁻¹ P for hairy vetch + triticale; and 50 kg ha⁻¹ P for hairy and common vetch. Water availability (WA) at 150 cm depth was determined in three moments: at sowing and removal of CC and at sowing of summer crops. Dry matter, water efficiency use and the hydric cost was determined for CC. Finally, grain yield of summer crops (maize and soybean) following CC was determined. Rye and Triticale showed the highest dry matter production. N fertilization enhanced dry matter production in rye and triticale. P fertilization did not affect dry matter production in legume CC. Fallow showed higher WA than CC at sowing of summer crops only in 2010. Corn yield was highest after legume CC, while soybean yield was lowest with legume CC in 2014, without differences in 2010 and 2012. Therefore, CC including grasses were the most suitable before soybean crops while legume CC were the best for corn crops. WA at CC sowing and rainfalls during the growing cycle of CC determined WA at CC removal. Levels of WA at CC sowing close to 180 mm seemed to be optimal for the use of CC without risks for detrimental effects on summer crops following CC.

Keywords: water availability –hairy vetch- rye-soybean – maize

1. INTRODUCCIÓN

Con el inicio de la siembra directa (SD), nace una nueva agricultura, basada en la interpretación de la oferta ambiental, el uso eficiente de recursos disponibles e incorpora insumos externos limitantes. Como consecuencia de siglos de labranzas, actualmente el 20% de las tierras agrícolas en el mundo son inutilizables (APRESID, 2010). La SD por sí sola, no es suficiente para ser considerada agricultura productiva y sustentable. Para alcanzarlo, se requiere practicarla en un marco de rotación de cultivos, manejo integrado de malezas, insectos y enfermedades, reposición de nutrientes y uso responsable de agroquímicos (APRESID, 2015). En Argentina, se presentó una rápida expansión del área bajo SD de 9 millones de hectáreas en 1999 hasta 25 millones de hectáreas en 2009. Sin embargo a nivel nacional, no hay datos oficiales disponibles acerca de la superficie agrícola que se realiza bajo SD. En el 2011 se llegó a lograr 78,5 % de la superficie productiva de la Argentina en SD y más del 80% de la producción de soja, maíz, trigo y sorgo se hacen en SD (APRESID, 2010).

En un principio, el aumento del área sembrada de soja, la producción y los rendimientos fueron acompañados de técnicas culturales y de variedades introducidas de los Estados Unidos. Es decir, la expansión ha sido netamente territorial, dado que el cultivo, a diferencia de los ya asentados en la región, como el maíz, provenía desde sus inicios con un alto componente tecnológico importado. La revolución productiva llegó a la región especialmente con nuevas variedades de semillas y el uso de agroquímicos, permitiendo un avance en el aumento de la productividad de los principales cultivos como la soja (72,8 %), el maíz (64 %), mientras que el trigo se incrementó un 14,4 %. Con la introducción de las sojas RR, y el bajo costo relativo del herbicida glifosato, crearon una demanda de semillas y agroquímicos nunca vista antes en el país, (Pengue, 2001). El glifosato, tuvo un crecimiento exponencial asociado al incremento de la superficie de soja en SD. Posteriormente, el maíz incorporó la tecnología de resistencia a glifosato. De esta forma, en la región se generalizó la agricultura continua, con predominio de soja, escasa rotación y utilización de agroquímicos para aumentar la producción.

El cultivo de soja es el de mayor superficie implantada en la provincia de Córdoba con un 52% de la superficie agrícola total y su producción en la campaña 2013/14 fue la mejor de la historia (Figura 1). Si bien en la provincia la superficie de la soja se redujo 300 mil ha en esta última campaña respecto a la anterior, su producción fue un 14% superior al año anterior pasando de 13 a 14,9 millones de toneladas. En la misma campaña la superficie del maíz aumento muy poco llegando a un total de 1.917.500 ha, pero su producción aumentó un 9,7%. A su vez, el cultivo de trigo presentó en la campaña 2013/14 un aumento considerable en relación a la superficie que se sembraba normalmente, con un 48,5% más que el año anterior, llegando así una superficie sembrada de 724.830 ha y para la campaña 2014/15 la superficie de trigo aumentó 133,8% comparada con la 2013/14. Otros cultivos de importancia son el sorgo y girasol, pero su presencia en las rotaciones es poco significativa, ya que la superficie es menor a 10 mil ha para el departamento de Marcos Juárez (MINAGRI, 2014). En el departamento Marcos Juárez la frecuencia de soja es del 90%, mientras que de trigo y maíz es del 10 %.

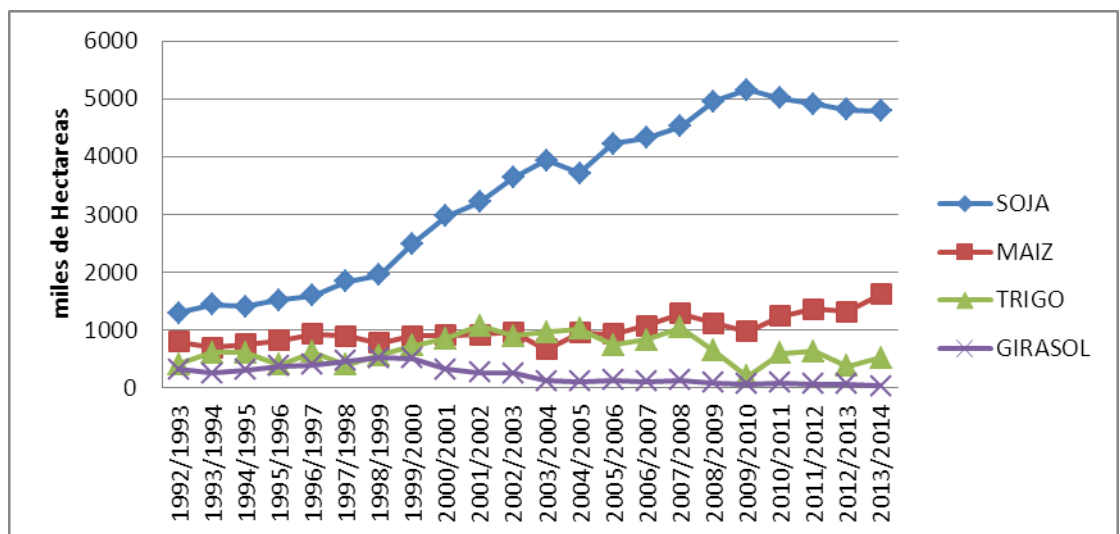


Figura 1. Evolución del área sembrada de los distintos cultivos, (soja, maíz, trigo y girasol) en miles de hectáreas en la provincia de Córdoba desde el año 1992 hasta la estimación 2014.

La alta frecuencia del cultivo de soja en las secuencias agrícolas puede reducir los niveles de materia orgánica del suelo (MOS), debido a la escasa cantidad y baja relación C/N de los residuos (Andrade et al., 1996); la cantidad de carbono mineralizado

anualmente no es compensado por el aportado con los residuos (Andriulo et al., 1999). El modelo actual de agricultura provocó una disminución del contenido de MOS debido a que los aportes de C por el monocultivo de soja son insuficientes para mantener los niveles de MOS. Álvarez y Steinbach, (2012) desarrollaron un modelo que estima que es necesario aportar al suelo 0,29 t MS de residuos por cada tonelada de carbono en la materia orgánica de 0 a 30 cm para mantener los niveles de la misma. Si los aportes son menores este caerá y si son mayores se incrementará. Suelos más ricos en materia orgánica requieren mayores niveles de aportes para que no disminuya su contenido de carbono. En un ensayo de larga duración del sudeste de la provincia de Córdoba, se estimó que son necesarias 3 Mg ha⁻¹ de aporte de C por parte de los residuos de cosecha para niveles de COS de 36 Mg ha⁻¹ (Cazorla, 2012), mientras que para la región norte de Buenos Aires para niveles de COS de 45 Mg ha⁻¹ año, son necesarios 4,6 Mg ha⁻¹ año para mantener los niveles estables (Irizar, 2012).

La MOS favorece la agregación del suelo e interviene en la distribución del espacio poroso, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua y gases en el suelo. Además, la MOS, formada por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición, interviene en las propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y capacidad buffer o tampón del suelo. A su vez, es sustrato para la actividad de los microorganismos del suelo como también participa de la retención y disponibilidad de agua y nutrientes. (Martínez et al., 2008).

El principal componente de la MOS, es el C que varía entre un 58 a 60% (Carreira, 2005). En términos generales el balance anual de carbono (C) es la diferencia entre las entradas de C (rastros, raíces, exudados radiculares) menos las salidas de C (erosión, mineralización). Diversos autores presentan información sobre la relación lineal que existe entre la cantidad de residuos que entran al suelo y los niveles de MOS (Lucas et al., 1977).

En condiciones de monocultivo de soja los lotes permanecen con poca cobertura durante la mayor parte del ciclo productivo, los residuos de cosecha son escasos en

cantidad y de baja perdurabilidad en el tiempo generando que el aprovechamiento de las lluvias estivales sea menor, ya que gran parte del agua caída se pierde por escurrimiento superficial arrastrando el escaso rastrojo remanente (Capurro et al., 2013). Además, el cultivo de soja se caracteriza por una alta demanda de N para la producción de granos, generando un balance negativo en el suelo (Caviglia et al., 2013). En cambio, el cultivo de maíz presenta un mayor aporte de residuos y de mayor relación C/N que el cultivo de soja, por lo cual determinaría una descomposición más lenta y sería más favorable para la formación de materia orgánica estabilizada en el suelo (Morón, 2004).

Frente a este panorama se necesitan alternativas que restituyan la fertilidad y mitiguen el deterioro físico de los suelos. Debido a la gran superficie dedicada al cultivo de soja es necesario crear estrategias de manejo del sistema agrícola para conservar la calidad de suelo, manteniendo al cultivo de soja en la rotación (Scianca et al., 2013).

La intensificación de la secuencia de cultivos, por la inclusión de alternativas invernales, mejoraría muchos aspectos de los actuales sistemas agrícolas generando una producción sustentable, eficiente y rentable (Caviglia et al., 2013). Los cultivos de cobertura permitirían incrementar los residuos al suelo de lenta degradación y los contenidos de carbono orgánico soluble (COS). Además, los CC podrían utilizar agua almacenada en el perfil susceptible de perderse por evaporación en condiciones de barbecho para transformar la radiación solar en biomasa y de esta forma aumentar la eficiencia del sistema productivo. Por lo tanto, los CC se incluirían en la secuencia entre los cultivos de cosecha, no serán pastoreados, incorporados ni cosechados para que sus residuos queden en la superficie y así protejan al suelo de los agentes erosionantes como la lluvia, con su consecuente degradación de la biomasa aérea y radical. Además, liberarán nutrientes que podrían ser aprovechados por los cultivos de cosecha posterior (Carfagno et al., 2013).

Los CC pueden cumplir muchas funciones dentro de los sistemas agrícolas; por lo tanto, se presentan diferentes objetivos para incluirlos en la rotación. Kruger y Quiroga (2013) en una reciente revisión de trabajos realizados con CC en diferentes regiones de Argentina, plantean que dentro de los múltiples objetivos de incluir CC se encuentran

mejorar el balance de carbono; fijar nitrógeno (N) para reducir los requerimientos de los fertilizantes; atenuar las pérdidas de suelo por erosión hídrica o eólica; disminuir la presión de malezas y el uso de herbicidas; mejorar la captación del agua, reducir encharcamientos/encostramiento; mejorar transitabilidad; reducir riesgos de salinización por ascenso capilar de napas; reducir evaporación incrementando la eficiencia de conservación y disponibilidad de agua en el perfil; disminuir la lixiviación de nutrientes y la susceptibilidad a la compactación favoreciendo la resiliencia del sistema. En base al manejo, es posible sincronizar la oferta de nutrientes para los cultivos sucesores, mejorar el anclaje de residuos de cultivos de cosecha minimizando las pérdidas por efecto viento y/o agua y mejorar la actividad biológica. Además, la incorporación del CC no solo generan un aporte mayor de COS sino que diversifican los tipos de residuos; generando una distribución temporal de los aportes, lo que favorece la actividad biológica del suelo (Alessandria et al., 2013). Asimismo, los CC también generan un importante laboreo biológico con las raíces, que mejora la estructura, porosidad y estabilidad estructural de los agregados (Walker & Reuter, 1996).

Las especies utilizadas como CC, pueden pertenecer a distintas familias botánicas, dentro de la familia de las leguminosas (*Fabáceas*), las que mejor se adaptan a la zona pampeana, son las vicias y tréboles. En cuanto a la familia de las gramíneas (*Poáceas*), para el triticale hay variedades adaptadas a la zona de estudio de alta performance. El centeno es otra gramínea que da muy buenos resultados en la zona. Las leguminosas, debido a la fijación biológica de nitrógeno, se pueden utilizar para cubrir parte del requerimiento de nitrógeno de los cultivos estivales (CE) sembrados posteriormente a su secado. Diversos autores señalan al género *Vicia* como el más indicado para utilizar como CC debido a que aporta nitrógeno a través de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) y tiene una buena producción de biomasa, en muchos casos similar a las gramíneas. Hay que destacar que el conocimiento de la dinámica de producción de materia seca y la acumulación de N en la biomasa de la planta durante el ciclo ayuda a la toma de decisiones del momento de secado para generar máximos beneficios en la utilización de CC (Vanzolini et al., 2013) y no perjudicar al cultivo de cosecha. Las consociaciones (Co) de gramíneas y leguminosas son las mejores opciones ya que ambas contribuyen de diferente manera al aporte, reciclado y disponibilidad de

nutrientes, inhiben la presencia de malezas, favorecen la actividad y diversidad de microorganismos edáficos, proveen alimento y refugio a insectos depredadores, parásitos y parasitoides (Alessandria et al., 2013). La producción de MS de un CC depende de la especie, la fertilización utilizada, del suelo y de la fecha de secado del CC (Caviglia et al., 2013).

La implantación del CC puede reducir la cantidad de agua acumulada en el perfil y, si la recarga de éste al momento del secado del CC es escaso, puede afectar negativamente los rendimientos del cultivo de cosecha posterior. Los CC para la región pampeana húmeda no deberían afectar la disponibilidad hídrica debido a que en la mayoría de los años las precipitaciones son suficientes para el normal desarrollo de los cultivos estivales. Marcos Juárez cuenta con una precipitación media anual de 894 mm y el consumo de agua de un cultivo estival varía entre 500 hasta 680 mm aproximadamente. El costo hídrico (CH) (diferencia en mm de agua que presenta un testigo versus un tratamiento), de un CC en la región 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 y Cazorla, 2010). Sin embargo, este menor contenido de humedad al momento en que se suspende el crecimiento tiene poca importancia, ya que un suelo con CC es más eficiente en capturar el agua de lluvia de la primavera, por lo que en relación al barbecho desnudo se minimizan diferencias en la disponibilidad de agua a la siembra de los cultivos estivales (Sá Pereira et al., 2013). Restovich y Andriulo (2013) reportaron en la Pampa Ondulada que el uso de CC no provocó estrés hídrico en los cultivos principales, excepto en un año particularmente seco, debido a que la mayor utilización del agua se concentró en el espesor 0-30 cm el cual, generalmente, se recarga con las lluvias primaverales.

El efecto de los CC en la productividad de los cultivos estivales es variable según años, zonas y manejos utilizados. Trabajos desarrollados por Cazorla et al. (2013) en Marcos Juárez sobre un Argiudol típico, lograron un incremento de 21% en el rendimiento del cultivo de maíz con vicia como CC, comparado con el antecesor barbecho, representando 2473 kg/ha. Hay que destacar que la utilización de CC está asociada a múltiples beneficios, pero su manejo inadecuado puede implicar reducciones

en la productividad de los suelos o de los cultivos subsiguientes. Los rendimientos de cultivos de maíz y soja fueron iguales o mayores en aquellos tratamientos que incluían CC como antecesores (Fernández et al., 2007 y Scianca, 2010), mientras que Alvarez y Scianca, (2006) en Haplustoles típicos del noroeste bonaerense no encontraron diferencias en el rendimiento de soja establecida sobre CC secados en distintos momentos.

La implantación de los CC es una práctica que aumenta la eficiencia en el uso de los recursos existentes al combinarse con otras alternativas de manejo. Por otro lado, el incremento de la productividad del suelo es una de las pocas soluciones a la creciente demanda de alimentos.

En virtud de lo anteriormente expuesto y la baja adopción de los CC en la región, se desarrolla este Trabajo Final Integrador con el objetivo de generar herramientas para facilitar la inclusión de CC en rotaciones agrícolas sin provocar detrimentos en los rendimientos de los cultivos estivales.

1.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO

El consumo de agua por parte del cultivo de cobertura no disminuye el rendimiento de los cultivos estivales.

OBJETIVOS

1.2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la inclusión de diferentes cultivos de cobertura como antecesores de cultivos estivales de soja y maíz en la región sudeste de la provincia de Córdoba.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la producción de materia seca y eficiencia de uso de agua de diferentes especies utilizadas como cultivos de cobertura.
- Evaluar el efecto de la fertilización de los cultivos de cobertura en la producción de materia seca y consumo de agua.
- Identificar el mejor antecesor para el cultivo de soja y maíz en base al rendimiento logrado.
- Analizar la dinámica de agua del suelo en las diferentes alternativas de cultivos de cobertura.
- Determinar la relación entre agua disponible al secado del cultivo cobertura con el agua disponible al inicio y precipitaciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 CARACTERÍSTICAS DE CLIMA Y SUELO

El trabajo fue realizado en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Marcos Juárez en la Provincia de Córdoba (32°42'44,65''S, 62°05'46,07'' O). El área se caracteriza por presentar un relieve plano desarrollado sobre sedimentos loésicos de textura franco limosa. El clima presenta una temperatura media anual de 16,9°C y una precipitación media anual de 894 mm. El suelo es un Argiudol típico, de perfil Ap, AB, Bt1, Bt2, BC, C1, C2k cuyo horizonte superficial es ligeramente ácido (pH 6,4) y con 3,26% de MOS, perteneciente a la serie Marcos Juárez, con capacidad de uso I (INTA, 1978).

2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL, TRATAMIENTOS Y MANEJO DE LOS CULTIVOS

El ensayo comenzó en el año 2008 sobre un residuo de soja (2011 y 2013) con la siembra de los cultivos de cobertura (CC) denominados antecesores (ANT) y presenta una rotación de cultivos estivales maíz-soja. Mientras que se sembró sobre rastrojo de maíz los años 2009, 2010, 2012 y 2014.

El presente trabajo abarca el periodo 2008 a 2014, y se realizó en siembra directa. El diseño del ensayo fue en bloques, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas con dos factores y tres repeticiones. El factor principal fue el antecesor (ANT) con seis niveles: 1) vicia sativa (*Vicia Sativa* L.) (VS), 2) vicia villosa (*Vicia Villosa* Roth) (VV), 3) centeno (*Secale Cereale* L.) (C), 4) triticale (x *Triticosecale Wittmack*) (T), 5) una consociación de vicia y gramínea (triticale, centeno o avena) (Co) y 6) un tratamiento testigo sin cultivo de cobertura, denominado barbecho (B). El factor secundario fue la fertilización: 1) 0 kg ha⁻¹ de N y P y 2) 100 y 50 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente, en gramíneas. En cambio, en leguminosas la fertilización fue de 0 N y 50 kg de P. En consociación fue de 50 kg ha⁻¹ de N y 50 kg ha⁻¹ de P. La fertilización en los ANT se realizó a la siembra de los CC y las leguminosas fueron inoculadas. El barbecho

químico fue realizado posteriormente a la cosecha del cultivo estival con 1,2 kg/ha de principio activo de glifosato.

El tamaño de las unidades experimentales fue de 6 x 25 metros (150 m²). La fecha de siembra y secado de los CC, y siembra del cultivo estival fue variable a través de los años en función de la disponibilidad de humedad a la siembra y fecha del cultivo ANT (Tabla 1). La densidad de plantas en ANT gramíneas fue de 250 plantas m⁻², en ANT leguminosas 80 plantas m⁻², y en la consociación de 60 plantas m⁻² de gramíneas y 30 plantas m⁻² de leguminosa. Esto se logró con aproximadamente 80 kg ha⁻¹ de semillas para T, 40 kg ha⁻¹ para Ce, 20 kg ha⁻¹ VS, 15kg ha⁻¹ VV y 15 kg ha⁻¹ de VV y 20 kg ha⁻¹ de Ce para Co. La interrupción del ciclo de los CC se realizó cercana a antesis en gramíneas mediante la aplicación de 2 L ha⁻¹ de glifosato (74,7%) y para leguminosas se realizó en 80% de floración con 2 L ha⁻¹ de glifosato (74,7%) y 120 cc⁻³ ha⁻¹ de dicamba (57,8%). El manejo de herbicidas fue con glifosato con una dosis de 1,12 kg ia ha⁻¹ a la siembra de los cultivos estivales y una aplicación posterior con el mismo producto y dosis en V6 en maíz y en R1 en soja. La distancia entre hileras para ambos cultivos fue de 52 cm. La densidad de plantas utilizada en maíz fue de 100000 plantas ha⁻¹ en el año 2008 y de 60000 plantas ha⁻¹ para los años 2011 y 2013. En soja la densidad de siembra fue de 280000 plantas ha⁻¹ para todos los años.

Tabla 1. Fechas de siembra y de interrupción del ciclo en el cultivo de cobertura (CC); siembra del cultivo estival (CE) y cultivo estival que se sembró en cada campaña.

Año	Fecha de siembra del CC	Fecha de secado del CC	Fecha de siembra del CE	Material
2008	30/04/08	7/10/08	24/10/08	Maíz NK 900 TD MAX
2009	08/04/09	27/10/09	01/12/09	Soja SPS 3900
2010	26/04/10	02/10/10	23/11/10	Soja DM 3810
2011	20/05/11	30/09/11	03/12/11	Maíz LT 618 MG RR2
2012	15/06/12	17/10/12	19/11/12*	DM 3810
2013	28/05/13	16/10/13	01/12/13	Maíz LT 626 VTP
2014	28/06/14	10/11/14	13/11/14	Soja DM 4212 STS

*Resiembra: 27-12-12

2.3 DETERMINACIONES

2.3.1 Producción de materia seca de los cultivos de cobertura

La producción de materia seca (MS) se determinó al secado de los CC en todos los años de evaluación del ensayo, mediante corte de las plantas en una superficie de 0,5 m² al ras del suelo en los surcos centrales de las parcelas. Luego se colocaron las muestras en estufa con ventilación forzada a 60°C hasta obtener peso constante; el peso obtenido finalmente se expresó como producción de MS en kg ha⁻¹.

2.3.2 Agua disponible del suelo

Se realizaron determinaciones de humedad a la siembra y secado de los CC y a la siembra de los cultivos estivales. Se determinó el contenido de humedad del suelo a través del método gravimétrico a diferentes profundidades del suelo (0-20, 20-40, 40-60, 60-100 y 100-150 cm). Los contenidos de humedad gravimétrica se expresaron finalmente como agua disponible total del perfil del suelo (ADT) según el método de Ratto (2011).

$$\text{Humedad gravimétrica (Hg)} = ((\text{PH} - \text{PS})/\text{PS}) * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Humedad volumétrica (Hv)} = \text{Hg} * \text{Dap} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Lamina Actual (Lam actual)} = \text{Hv} * \text{Prof} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Lamina mínima (Lmin)} = \text{PMP} * \text{Dap} * \text{Prof} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Lamina máxima (Lmax)} = \text{CC} * \text{Dap} * \text{Prof} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\text{AD} = \text{Lam actual} - \text{Lmin} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{Capacidad de retención de agua (CRA)} = \text{Lmáx} - \text{Lmin} \quad \text{Ec. 7}$$

$$DAU (\%) = (AD / CRA) * 100$$

Ec. 8

Donde Lam act es la lámina de agua actual (mm); Lam min es la lámina de agua mínima (mm); Dap es la densidad aparente del suelo (g/cm^3); Prof es la profundidad del horizonte medido (mm); PMP es el agua en el punto de marchitez permanente (g/g); h° es el agua del suelo actual (g/g); PH es el peso húmedo de la muestra de suelo (g) y PS es el peso seco de la muestra (g).

El agua disponible total del perfil del suelo (ADT) a 1,5 m de profundidad se calculó como la suma del ADT de cada profundidad.

2.3.3 Costo hídrico, uso consuntivo y eficiencia de uso del agua

El costo hídrico (CH) se calculó como el AD del barbecho menos el AD de cada ANT CC al momento de secado (ADs). (Ecuación 9). Esta variable determina cuánto cuesta hacer un CC desde el punto de vista hídrico.

$$CH (mm) = ADs \text{ ANT B} - ADs \text{ ANT CC}$$

Ec. 9

El uso consuntivo (UC) se calculó considerando el ADi, ADs y las precipitaciones (Ecuación 10). La eficiencia en el uso del agua (EUA) en $kg \text{ MS } ha^{-1}$ se determinó como la producción de MS de cada CC sobre el UC (Ecuación 11).

$$UC (mm) = ADi + PP - ADs$$

Ec. 10

$$EUA (kgMS.ha - 1) = \frac{MS \text{ kg/ha}}{uc}$$

Ec.11

2.3.4 Tiempo térmico

Se define el Tiempo térmico (TT) como la sumatoria de temperaturas por encima de una dada temperatura base. En la EEA INTA Marcos Juárez se registró la temperatura diaria desde el día de sembrado el CC hasta el momento de secado, restándose la

temperatura base para cada cultivo analizado, tomando como temperatura base 4°C para las gramíneas y 8°C para las leguminosas. Así, se hizo la sumatoria del TT diario desde siembra a secado del CC. Para el caso de las consociaciones, se tomó el TT de las gramíneas.

2.3.5 Rendimiento de los cultivos estivales (maíz y soja)

Los rendimientos de los cultivos estivales fueron obtenidos mediante cosecha mecánica de los 2 surcos centrales de cada parcela. Los rendimientos fueron corregidos a 14% de humedad para maíz y a 13,5% de humedad para soja.

2.4. REGISTRO DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURA

Las precipitaciones y la temperatura fueron registradas en la estación meteorológica del INTA Marcos Juárez, situada a 500 m del ensayo.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Las precipitaciones y el tiempo térmico fueron analizadas a través de análisis de probabilidad utilizando el programa INFOSTAT (Di Renzo et al., 2015). Se analizaron las precipitaciones anuales, como así también por periodos, considerando el periodo de crecimiento de los CC (abril a septiembre) y el de los CE (octubre a marzo).

Para evaluar el comportamiento de los ANT se realizó un análisis de la varianza (ANAVA) sobre la producción de MS, CH, ADs, ADf y rendimientos de los cultivos estivales. Para determinar los factores que tuvieron influencia en la producción de MS y ADs, se realizaron análisis de correlación con el ADs, ADi, MS y PP. Para explicar los factores que controlan los contenidos de ADs, se realizó un análisis de regresión lineal con las variables ADi y PP.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

En la producción de MS al momento del secado en los diferentes ANT para los 7 años de estudio, fue mayor en gramíneas que en leguminosas. El antecesor T fue el de mayor producción promedio de MS en gramíneas (8820 kg ha⁻¹), mientras que en leguminosas fue VV (6203 kg ha⁻¹)(Anexo, Tabla 16). La fertilización con N incrementó la producción de MS en gramíneas entre un 45 y 50% (Anexo, Tabla 14). Estos datos concuerdan con Caviglia et al. (2013) donde la aplicación de N incrementó la producción de MS de gramíneas entre 21 y 58%, dependiendo del año considerado. En el mismo sentido, Quiroga et al. (2005) concluyeron que los niveles de producción de MS en gramíneas invernales presentaron altas respuestas a la fertilización nitrogenada, con variaciones entre 1600 y 5000 kg ha⁻¹; avena, cebada y raigrás fueron las especies de producción más estable.

La fertilización con P no provocó cambios en la producción de MS de leguminosas (-1 a 5%), probablemente por los altos contenidos de P disponible en la profundidad 0 – 20 cm (35 ppm). La producción media de MS de VV fue 1200 kg MS ha⁻¹ superior a VS para todos los años evaluados.

Tabla 2: Efecto de la fertilización en la producción de MS de los CC para cada año analizado.

Año	Antecesor									
	Ce		Co		T		VS		VV	
	CF	SF	CF	SF	CF	SF	CF	SF	CF	SF
2008	3437	3570	5044a	3704b	5568	4920	1223	1232	sd	sd
2009	6514	4001	8322	8780	9063	6597	7220	7894	8299	7692
2010	11334	5655	10616	7467	20015b	11867a	5306	4673	7694	7307
2011	10956	8796	5347	4331	11114	10577	3877	3414	4404	4931
2012	8489b	3914a	5681b	2824a	8483b	2471a	3898	4139	3755	3875
2013	7410	6685	6429	5347	10509	7812	2313	2834	4890	3864
2014	9713	7433	5386	4693	8055b	6435a	sd	sd	9032	8705

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$), dentro de columnas para cada antecesor. La ausencia de letras significa falta de diferencia significativa. SD: sin dato.

Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación (vicia + gramínea); VS: vicia sativa; VV: vicia villosa; CF: con fertilizante; SF: sin fertilizante.

La respuesta en producción de MS a la fertilización N se observó en la consociación en los años 2008 y 2012, en Ce solo en el año 2012, mientras que en T fue para los años 2010, 2012 y 2014 (Tabla 2). En los datos del trabajo realizado, indican que es posible lograr un aporte de materia seca aérea de Ce entre 3437 y 11334 kg ha⁻¹, Co entre 2824 y 10616 kg ha⁻¹ y T de 4920 a 20015 kg ha⁻¹, dependiendo de la fertilización nitrogenada y de las contingencias climáticas del año (Figura 2). Álvarez y Scianca, (2006) observaron que la producción de MS de triticale fue entre 1845 y 10235 kg ha⁻¹ mostrando una mayor acumulación en los tratamientos con secado en estadios reproductivos que durante etapas vegetativas o bajo pastoreo en Hapludoles típicos en EEA General Villegas. Scianca, (2010) para un régimen hídrico de 906 mm y suelos Hapludoles thapto – árgicos en General Villegas la producción de MS osciló entre 3800 y 6124 kg ha⁻¹, sin diferencias significativas entre avena y centeno pero si con respecto a raigrás. Restovich y Andriulo, (2013), para la zona de Pergamino, reportaron producciones de MS en vicia sativa, colza y nabo y su consociación entre 3000 y 6000 kg ha⁻¹, y observaron que la mayor producción estuvo relacionada a mayores precipitaciones. En la región centro-oeste de Entre Ríos, es posible lograr un aporte de MS aérea con un CC entre 900 y 8500 kg MS ha⁻¹, dependiendo de la especie, la fertilización nitrogenada y del tipo de suelo (Caviglia et al., 2013). Mientas que para las condiciones evaluadas se encontró un aporte entre 1223 a 20015 kg MS ha⁻¹.

La producción de MS presento una correlación negativa y significativa con ADi+pp, mientras que con TT fue positiva en VS y VV, sin embargo para Ce, T y Co no se observaron correlaciones significativas (Tabla 3). Basanta et al. (2013) encontraron una relación positiva lineal entre MS y UC en gramíneas (R^2 : 0,87). La ausencia de correlación en gramíneas pudo deberse a que fue cambiando el rastrojo sobre los cuales se sembró el CC, algunos años se sembró sobre soja (2008, 2011, 2013) y otros años sobre rastrojo de maíz (2009, 2010, 2012 y 2014). Los rastrojos de soja presentan una relación C:N entre 20 a 30, mientras que para maíz es de 60 a 80 (Andrade et al., 1996). El rastrojo de soja provoca que el proceso de descomposición sea rápido y se produzca mineralización neta del N en poco tiempo, mientras que con rastrojo de maíz se genera una fuerte inmovilización por un periodo más prolongado (Sánchez et al., 1998). Por lo

tanto, la respuesta a la fertilización puede ser más evidente cuando se siembra sobre un rastrojo de maíz que inmoviliza el N del suelo. Otro factor que no fue tenido en cuenta en este estudio fue la disponibilidad de N de nitratos a la siembra de los CC, lo que también pudo condicionar la producción de MS de los CC gramíneas. Las precipitaciones ocurridas durante el crecimiento de los CC y TT para cada año se pueden ver en la tabla 15 del Anexo.

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre la producción de materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), tiempo térmico (TT), precipitaciones (pp), uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA).

MS	ADi (mm)	pp (mm)	ADi+pp (mm)	UC (mm)	TT
Ce	ns	ns	ns	ns	ns
T	ns	ns	ns	ns	ns
Co	ns	ns	ns	ns	ns
VS	ns	-0,53*	-0,70*	-0,71*	0,84**
VV	ns	-0,86**	-0,71**	-0,86**	0,76**

Ns: no significativo; * p<0,05 ** p<0,001; Ce: Centeno, T: triticale, Co: consociación, VS: vicia sativa, VV: vicia villosa.

Debido a que las precipitaciones durante el periodo otoño-invernal son escasas, la producción de materia seca de los CC, depende altamente de la condición de humedad inicial (Scianca et al., 2013), de las precipitaciones (Restovich y Andriulo, 2013), del momento de secado y del nivel de fertilización nitrogenada (Ridley, 2013).

Según Kuo & Jellum (2000), la producción de biomasa aérea de los CC puede variar entre años, dependiendo de las características del lugar en donde se desarrollan como así también de las condiciones climáticas imperantes en el año.

En la Figura 2, se observa la variación de producción de MS entre años, y la incidencia de la fertilización con las precipitaciones ocurridas en el periodo de crecimiento de los cultivos para las condiciones analizadas.

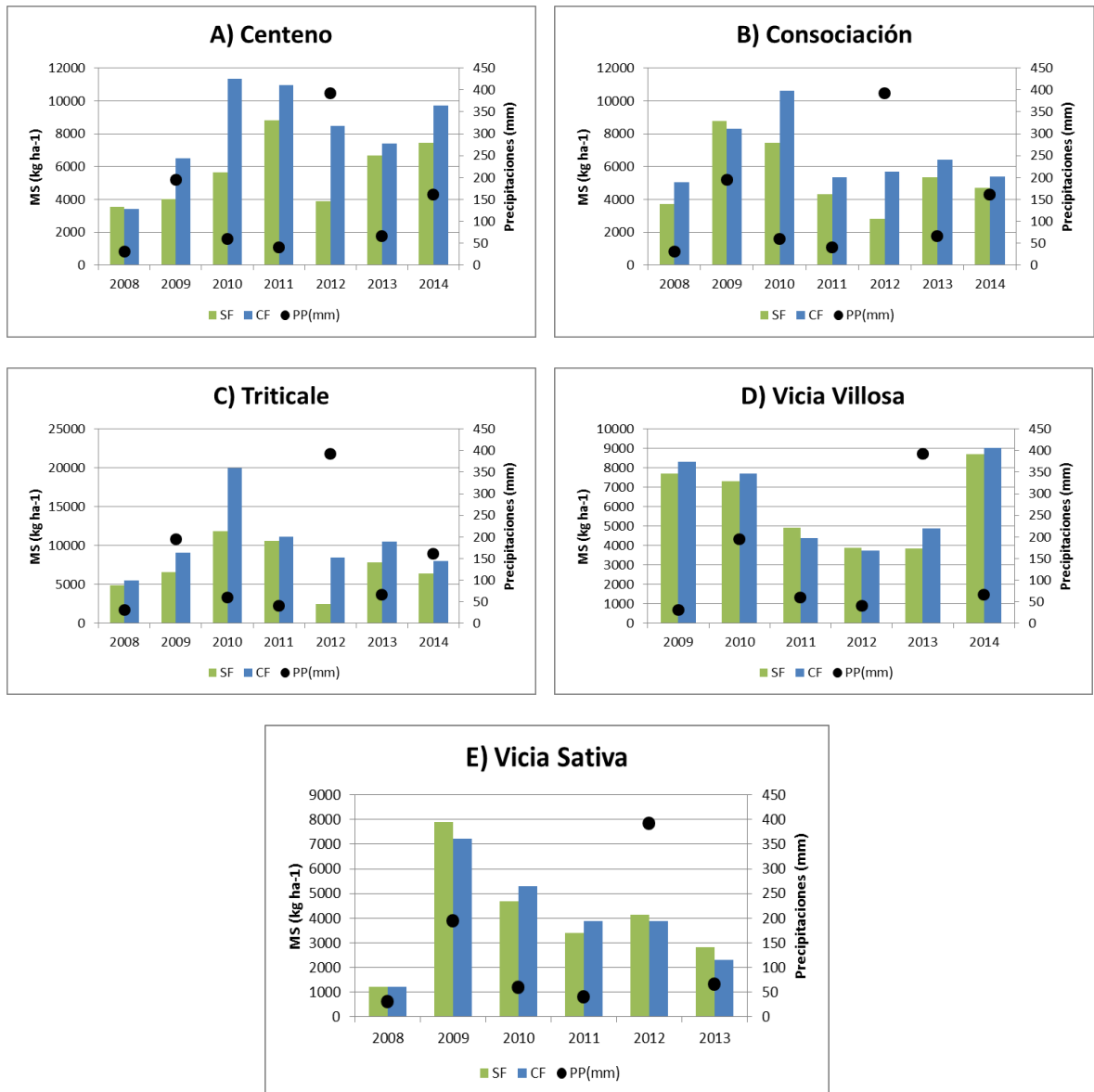


Figura 2. Producción de materia seca (MS) de A) Centeno, B) Consociación, C) Triticale, D) Vicia Villosa y E) Vicia Sativa en el tiempo de estudio con la aplicación de fertilizantes (CF) y sin fertilizantes (SF), y las precipitaciones (PP) ocurridas durante el crecimiento de los cultivos.

Scianca, (2010) encontró que el contenido de ADi explicó el 57 % de la variabilidad de la producción de MS, mientras que el contenido de agua total en el suelo a la siembra más las precipitaciones durante el ciclo de desarrollo de los CC, explicó el 89 % de dicha variabilidad para el cultivo de raigrás, avena y centeno. De esta forma, la

producción de MS se incrementó con la oferta hídrica del suelo y las precipitaciones. Sin embargo, para las condiciones de Marcos Juárez se observó una baja correlación entre la producción de MS y el ADi+pp. Esto pudo deberse a que la oferta hídrica en la región en estudio es mayor a 300 mm (Figura 3), mientras que en la zona que analizó Scianca, (2010) las relaciones entre MS y AD+pp se presentan en un rango de 50 a 300 mm.

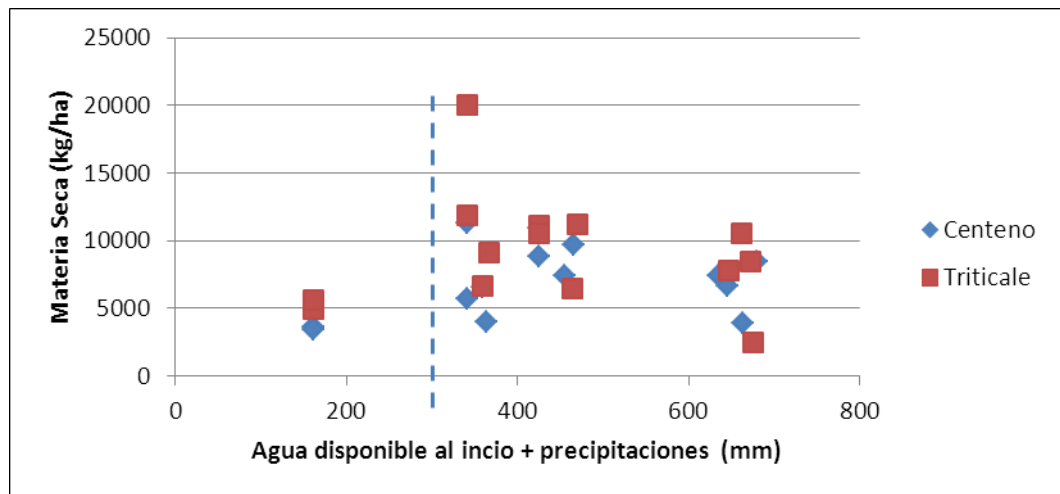


Figura 3: Relación entre materia seca y agua disponible al inicio más precipitaciones, para centeno y triticale en Marcos Juárez.

Todos los tratamientos analizados salvo VS, mostraron muy buenos niveles de producción de MS. Podemos concluir que T es el CC de mejor potencial de producción y respuesta a la fertilización. La fertilización nitrogenada provocó aumentos en la producción de MS dependiendo del ANT y del año, mientras que con la fertilización fosforada no se detectaron incrementos en la producción de MS de leguminosas ningún año evaluado.

3.2 EFICIENCIA DE USO DEL AGUA

La eficiencia en el uso del agua (EUA) es un parámetro que define la productividad y está influenciado por diversos factores como la evapotranspiración, la asimilación de nutrientes y nivel de fertilización. Esto hace que un mismo cultivo pueda tener diversas

EUA debido a diferencias de precipitaciones, distinta capacidad de almacenaje de agua del suelo, distintas condiciones ambientales para la fijación de CO₂, etc.

Los resultados sobre EUA mostraron que dentro de los CC estudiados T es el que en promedio de todos los años analizados mostró una mayor EUA 57,3 kg ha⁻¹ MS mm⁻¹ seguido por Ce 46,67 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, este último dato es un poco superior a lo encontrado por Scianca, (2010) (40 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹).

VS fue el cultivo que menor EUA presentó (23,58 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹), siendo los valores máximos de EUA en VS significativamente inferiores que en el resto de los cultivos estudiados (Anexo Tabla 16).

Tabla 4: Eficiencia en el uso del agua (kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) en los distintos cultivos de cobertura para cada año de evaluación.

ANT	AÑO						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ce	41 ab	20 a	79 b	92 b	19 b	37 bc	38
T	52 b	29 b	124 c	93 b	19 b	52 c	32
Co	53 b	35 b	82 b	39 a	15 a	37 bc	21
VS	16 a	29 b	40 a	28 a	14 a	15 a	sd
VV	SD	32 b	70 b	40 a	13 a	26 ab	38

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$) dentro de columnas para cada año. SD: sin dato;

Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la EUA de los diferentes tratamientos realizados para cada año en estudio. Se encontró diferencia significativa para EUA, debido al antecesor todos los años analizados excepto 2014. Con una gran variabilidad entre años. El efecto de la fertilización generó diferencias significativas en la EUA solo en el año 2012 el cual fue el año de mayores precipitaciones del periodo de estudio (393 mm). Estos datos concuerdan con Carfagno et al. (2013) en Hapludoles en Treinta de Agosto (Buenos Aires) donde la fertilización nitrogenada no produjo una mejora en la EUA para ninguno de los CC, siendo para el centeno 34,5 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ fertilizado y

29,4 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ no fertilizado. En cambio, en la localidad de Las Parejas, Sur de Santa Fe, utilizando avena como CC se obtuvo una mejora en la EUA de 23 % con la utilización de fertilización con N para fechas de secado tempranas, mientras que para fechas de secado tardías la mejor en la EUA fue de un 64 % (Ridley, 2013).

Todos los tratamientos, excepto VS, tuvieron en promedio niveles de EUA entre 36 y 57 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ (Anexo Tabla 16). En leguminosas la EUA fue siempre menor en relación a gramíneas debido a los mayores requerimientos térmicos, por lo tanto, fue menor la producción de MS. Dentro de leguminosas, la EUA fue de 24 y 36 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ para VS y VV, respectivamente, mientras que para gramíneas fue de 40 a 57 kg MS ha⁻¹. No se observó efecto de la fertilización en los antecesores para los distintos años evaluados.

3.3 COSTO HÍDRICO

Se define al Costo hídrico (CH) como la diferencia en contenido de agua que presenta un testigo versus un ANT CC, al momento de secado. Así, se puede ver que el CH fue positivo para la mayoría de los años estudiados, lo que quiere decir que el testigo (ANT B) terminó con mayor contenido hídrico que los ANT CC. Solo en el año 2012 fue negativo ya que el ANT B presentó menores contenidos de AD que los ANT CC (Tabla 5). El ANT T presentó mayor CH en el año 2008, mientras que en el 2009 los de mayores CH fueron T, Co y VS. En los años 2010, 2011 y 2014 no se observó efecto de los ANT en el CH. En el año 2013 Ce y VS presentaron los mayores CH. A pesar de las diferencias entre antecesores, los CH fueron menores a 40 mm para todos los ANT en los años 2009, 2012, 2013 y 2014. Mientras que para 2010 y 2011 fueron mayores.

Los CH en gramíneas fueron menores para Ce en el año 2008 y 2009, mientras que fueron mayores en Ce para el año 2012, aunque de valores negativos. Para el resto de los años considerados no hubo diferencias en el CH entre Ce y T. Los CH reportados en este estudio son similares a los informados por Colazo, (2013) en la zona de Villa Mercedes y Liborio Luna, San Luis, entre 15 mm y 35 mm, respectivamente.

Tabla 5. Costo hídrico (mm) de los cultivos de cobertura en los diferentes años de evaluación.

ANT	AÑO						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ce	38 a	15 b	40	72	-3 a	38 a	9
T	52 b	27 a	60	79	-33 bc	12 ab	-3,5
Co	40 a	27 a	47	89	-35c	7 ab	0
VS	34 a	36 a	58	94	-17 ab	35 a	21
VV	SD	17 b	37	82	-6 a	2 b	6

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$), dentro de columnas para cada año. La ausencia de letras significa falta de diferencias significativas. SD: sin dato.

Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa.

Dentro de los ANT leguminosas se observó que VV presentó menores CH que VS y fue la de mayor CH para todos los años evaluados. Además, dado que VV presentó mayor producción de MS con menor CH se puede considerar la especie más indicada como ANT leguminosas para maíz. La fertilización no provocó diferencias significativas en los CH.

Los elevados CH registrados en el año 2010 y 2011 representaron una situación de mayor demanda de precipitaciones para la recarga del perfil, posteriores a la fecha de secado del CC. En estos años las precipitaciones fueron escasas durante el ciclo del crecimiento de los CC, 40 y 60 mm para los años 2010 y 2011, respectivamente. Además, presentaron bajos contenidos de AU al inicio del ciclo de los CC.

Se realizó un análisis de correlación mediante coeficientes de Pearson (Tabla 6) para cuantificar el grado de relación del CH y variables como MS, ADi, PP, ADi+PP y el UC. Se observó que el CH tiene una correlación negativa ($p < 0,01$) con el ADi+PP principalmente, y luego con las PP y UC. Sin embargo, presenta una baja correlación positiva con la MS (0,18 con un $p < 0,05$). De esta forma, es posible estimar el CH. En caso de contar con bajos valores de AU_i y precipitaciones escasas durante el ciclo de crecimiento de los CC se podría adelantar la interrupción del ciclo, para que el CH no sea grande. Finalmente, CH menores a 40 mm no serían limitantes, ya que en la

distribución de lluvias de septiembre - octubre existe una probabilidad de ocurrencia del 80% de lluvias de 82 mm.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson para Costo hídrico (CH), materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), precipitaciones (pp), agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi + PP) y uso consuntivo (UC).

	MS (Kg ha-1)	ADi (mm)	PP (mm)	ADi+PP	UC (mm)
CH (mm)	0,18*	-0,25**	-0,67**	-0,76**	-0,57**

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$

Para la variable de CH, no se observó efecto de la fertilización en los antecesores para los distintos años evaluados.

3.4 USO CONSUNTIVO

El uso consuntivo es el agua del perfil de suelo que consumen teóricamente los cultivos, ya que se estima con el $ADi + pp - ADf$. En el presente estudio el UC mostró diferencias significativas, siendo el ANT B el de menor valor para los años 2008, 2009, 2010 y 2011, sin diferencias significativas entre los CC (Tabla 7), datos similares encontraron Scianca et al. (2007). En el año 2012 se observaron los menores UC en Co, VS y T, (284, 285 y 293 mm respectivamente) mientras que en el 2013 y 2014 no se observaron diferencias entre ANT. A pesar de estas diferencias en el 2012, para el resto de los años no hubo diferencias significativas entre los CC utilizados. En el ANT B, donde no hay cultivos que consuman agua del perfil, el UC varió de 46 mm en el año 2008 a 314 mm en el año 2012. Este comportamiento estuvo relacionado a las precipitaciones ($R^2=0,86$) y al ADi+PP ($R^2=0,88$), pero sin relación con el ADi (Tabla 8). A medida que las precipitaciones fueron mayores, fue mayor el UC. Los UC mayores a 200 mm fueron observados en los años 2009, 2012 y 2014, donde se registraron precipitaciones de 195, 393 y 162 mm. Scianca, (2010) para la región del sudoeste de Buenos Aires, en General Villegas, con precipitaciones medias de 900 mm anuales, mostró que el UC hasta el momento del secado de los CC varió entre 88 y 299

mm. Por otra parte, para las condiciones del Porvenir sobre un Argiudol típico, encontraron UC entre 196 mm y 337 mm dependiendo del año; solo hubo diferencias significativas entre antecesores un solo año (Scianca et al., 2008). Así mismo, Basanta et al. (2013) reportaron datos promedio de UC para el triticale de 140 mm sobre un Haplustol éntico de la región central de la provincia de Córdoba.

Tabla 7. *Uso consuntivo (mm) por año en cada tratamiento.*

ANT	AÑO						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
B	46 a	229 a	67 a	36 a	314 b	155	207
Ce	84b	255 b	163 b	108 b	321 b	190	235
T	98 b	268 b	183 b	115 b	293 a	179	228
Co	86 b	248 b	171 b	125 b	285 a	173	242
VS	79 b	260 b	181 b	130 b	284 a	184	SD
VV	SD	253 b	161 b	118 b	307 b	172	235

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$), dentro de columnas para cada año. La ausencia de letras significa falta de diferencia significativa. SD: sin dato.

Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa.

En el ANT barbecho se produjo una pérdida considerable de agua del perfil por evaporación, sin producción de MS. El barbecho presentó un UC promedio de 150 mm, mientras que para las gramíneas y leguminosas fue de 194 y 187 mm. Sin embargo, estos cultivos produjeron en promedio 7900 y 5100 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Con la implantación de un CC se logra una fijación considerable de carbono con el agua que de otra manera se perdería durante el barbecho. No se observó efecto de la fertilización en los antecesores para los distintos años evaluados.

Tabla 8. Coeficiente de correlación de Pearson para las variables Uso consuntivo (UC) materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), precipitaciones (PP) y agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi + PP).

	MS (Kg ha-1)	ADi (mm)	PP (mm)	ADi+PP
UC (mm)	ns	ns	0,86**	0,88**

* $P < 0,01$

Ns: no significativo

3.5 AGUA DISPONIBLE AL SECADO

El ANT B presentó mayores contenidos hídricos que los ANT CC para los años 2008, 2009, 2010 y 2011 (Tabla 9). Para el año 2012, el tratamiento B presentó similares contenidos hídricos que Ce, VS y VV, debido a los 293 mm de lluvia registrados durante el periodo de desarrollo del CC. Para los años siguientes (2013 y 2014) no se observaron diferencias significativas entre ANT, posiblemente debido al ascenso de napas que comenzó a registrarse a partir del año 2012 en la región en estudio (Bertram y Chiacchiera, 2014). En los años 2008, 2010, 2011, 2013 y 2014 no hubo diferencias en el AD al momento de secado entre los diferentes CC. Solo se observaron diferencias estadísticamente significativas para el año 2009, donde Ce y VV presentaron mayores contenidos hídricos, mientras que en el año 2012 T y Co fueron los de mayor contenido hídrico. A pesar de estas diferencias, en la mayoría de los años no hubo diferencias en el AD al momento de secado entre CC.

Los valores medios de AD al momento del secado no fueron diferentes entre ANT y fueron variables entre años, con valores de 75 hasta 245 mm para los CC y de 116 a 236 mm para B. Scianca, (2010) observó contenidos de AD al momento de secado de 8 a 223 mm con ANT CC, y 50 a 206 mm para testigo sin CC, en la región sudoeste de Buenos Aires. Restovich y Andriulo, (2013) en Pergamino, sobre un suelo Argiudol típico, determinaron que los CC redujeron significativamente los contenidos del AD en el secado, generando disminuciones entre 89 y 31 mm con respecto a la situación testigo sin CC en el espesor 0-100cm durante tres años de evaluación. Este último autor informó que las disminuciones de agua disponible al secado dependieron de los niveles de producción de MS.

Tabla 9. Agua disponible (AD, mm) en el perfil de suelo (0-150 cm) al secado de los cultivos de cobertura para los años evaluados.

ANT	AÑO						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
B	116 b	122 c	218 b	155 b	230 a	190	236
Ce	78 a	107 b	178 a	83 a	233 a	152	227
Co	77 a	95 a	171 a	66 a	265 b	183	236
Tri	64 a	95 a	158 a	76 a	263 b	178	240
Vs	83 a	87 a	160 a	61 a	247 a	155	215
Vv	SD	105 b	181 a	73 a	236 a	188	230

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$), dentro de columnas para cada año. La ausencia de letras significa falta de diferencia significativa. SD: sin dato.

Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa.

El AD al secado presento una correlación significativa con las variables ADi, PP, ADi+PP y UC. Siendo el ADi+PP, los de correlación más alta ($R^2:0,85$)(Tabla 10). La producción de MS de los CC no tuvo correlación significativa con los contenidos de AD al momento de su secado. Por lo tanto, el AD dependió más de las condiciones ambientales que de la especie utilizada como CC. No se observó efecto de la fertilización sobre el AD al secado en los diferentes antecesores en los años evaluados.

Tabla 10. Coeficiente de correlación de Pearson entre agua disponible al secado (ADs), materia seca (MS), agua disponible al inicio (ADi), precipitaciones (PP), agua disponible al inicio más precipitaciones (ADi + PP) y uso consuntivo (UC).

	MS (Kg ha ⁻¹)	ADi (mm)	PP (mm)	ADi+PP	UC (mm)
ADs (mm)	ns	0,50**	0,62**	0,85**	0,51**

** $P < 0,01$

Ns: no significativo

3.6 AGUA DISPONIBLE A LA SIEMBRA DEL CULTIVO ESTIVAL

En los años 2008 y 2009 no se determinó el contenido de AD a la siembra de maíz y soja, respectivamente. En cambio en los años 2012 y 2014, debido a las intensas precipitaciones durante el crecimiento del CC, la siembra del cultivo estival se realizó inmediatamente posterior al momento de secado, por tal motivo no se volvió a determinar el contenido de AD (Tabla 11). En el año 2010 las precipitaciones entre el secado de los CC y la siembra de soja fueron de 56 mm, motivo por el cual no se alcanzó a recargar el perfil. En cambio, en el año 2011, previo a la siembra de maíz las precipitaciones fueron de 234 mm, por lo que el perfil se recargó en todos los tratamientos. En el año 2013 las precipitaciones desde el secado de los CC hasta la siembra de maíz fueron de 298 mm, lo que hizo que el perfil se encontrara en máxima capacidad de retención de agua de estos suelos (240 mm) debido a las altas precipitaciones y la influencia de napas.

Si consideramos que el AD al secado de los CC es la misma que a la siembra de los cultivos estivales ($AD_s=AD_f$), debido a la cercanía de estos momentos para los años 2012 y 2014), se observó que el ANT B presentó mayores contenidos hídricos el año 2010 solamente. Para el 2011 y 2014 no se presentó diferencias entre tratamientos; en el 2012 si bien, se observó diferencias significativas, los contenidos de agua disponible se encontraban cercanos a la máxima capacidad de retención de agua de estos suelos en todos los tratamientos, 2013, el ANT B concluyo con menos contenido hídrico que los ANT CC, sin embargo ambos niveles estaban cercanos a la capacidad de retención de agua del suelo.

Tabla 11. Agua disponible (AD-mm) en el perfil del suelo (0-150 cm) a la siembra de los cultivos estivales sobre diferentes antecesoires para los años evaluados.

Antecesor	2010	2011	2013
B	192 b	204	278 a
Ce	151 a	201	303 b
Co	159 a	SD	313 b
Tri	146 a	SD	296 b
Vs	146 a	SD	313 b
Vv	165 a	213	315 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$), dentro de columnas para cada año. SD: sin dato.

Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa.

A la siembra del cultivo estival las situaciones con CC presentaron iguales contenidos de AD que la situación barbecho para la mayoría de los años evaluados, a pesar de los menores contenidos hídrico observados al secado de los CC. Esto demuestra que el momento de secado fue oportuno y que las precipitaciones son suficientes para recargar el perfil. Además, esto pudo deberse a que las lluvias son más eficientes debido a las mejoras que generan los CC, como incremento de la infiltración de agua al suelo debido a la variación en la distribución de tamaños de poros, (Basanta et al., 2013; Ridley, 2013), disminución de la temperatura del suelo que disminuye la tasa de evaporación de agua (Unger & Vigil, 1998). En el año 2010 los antecesoires con CC presentaron contenidos de AD entre 150 y 160 mm y las precipitaciones que fueron de 56 mm no fueron suficientes para recargar los perfiles. Por este motivo, en años secos, cuando se demora la recarga del perfil, puede influir el momento de fecha de siembra de los cultivos estivales. Carfagno, (2013) sobre Hapludoles en Treinta de Agosto (Buenos Aires) reportó que un antecesor centeno presentó 20 mm más de agua disponible que un testigo al momento de siembra de soja. Scianca, (2010), encontró valores similares para la zona de General Villegas. No se observó efecto de la fertilización en los antecesoires para los distintos años evaluados.

3.7 RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS ESTIVALES

En la Tabla 12 se presentan los resultados de los rendimientos de maíz y soja por campaña.

Tabla 12. Rendimiento de soja y maíz (kg ha⁻¹) para las campañas estudiadas.

ANT	Maíz 08/09	Soja 10/11	Maíz 11/12	Soja 12/13	Maíz 13/14	Soja 14/15
B	13304 b	4024	9787 b	2992	9195 a	4258 b
T	8161 a	3760	6868 a	3223	8810 a	3871 b
Ce	9785 a	3794	8682 b	2996	9156 a	4001 b
Co	8914 a	3928	10289 b	3268	10057 a	3241 a
Vs	13573 b	3669	11154 c	3064	11271 b	3809 b
Vv	SD	3861	11857 c	3335	11446 b	3108 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,01$), dentro de columnas para cada cultivo estival. La ausencia de letras significa falta de diferencia significativa. SD: sin dato.

B: barbecho; Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa

El cultivo de maíz presentó disminuciones en el rendimiento con ANT gramíneas, respecto al ANT B solamente en la campaña 2008/09, mientras que en la 2011/12 fue menor en triticale únicamente. En cambio, el rendimiento de maíz sobre antecesor leguminosa fue igual (2008/09) o mayor (2011/12, 13/14) que el barbecho, representando estas variaciones un 15%. Se observaron diferencias significativas debido al efecto de la fertilización en el cultivo de maíz, en dos de tres campañas analizadas, y sin interacción entre fertilización y ANT (Anexo Tabla 17). Similares respuestas a la fertilización nitrogenada en maíz encontraron Vanzolini et al. (2013) en la región sur de la provincia de Buenos Aires con antecesores gramíneas.

El cultivo de soja no presentó diferencias significativas en rendimientos entre ANT para las campañas 2010/11 y 2012/13, en la 2014/15 el ANT B no se diferenció de T,Ce o Vs pero si teniendo mayor rendimiento que los ANT Co y Vv (Tabla 12). Otros

autores reportaron ausencia de diferencias significativas en el rendimiento de soja sobre antecesores con y sin CC, en el centro oeste de Entre Ríos sobre Argiudol ácuico y Cromuderte árgico (Caviglia et al., 2013),; lo mismo observaron en Hapludoles típicos del Noroeste bonaerense, sobre CC secados en distintos momentos (Alvarez y Quiroga, 2013), en la región semiárida pampeana (Scianca, 2010) y en Argiudoles típicos de la región sur de Santa Fe (Capurro et al., 2013). El cultivo de soja no presentó diferencias significativas con la aplicación de fertilizantes, y tampoco interacción entre fertilización y ANT (Anexo Tabla 17).

La determinación del rendimiento de la soja en estadios reproductivos más tardíos que en el maíz de primera, sumada a su alta plasticidad vegetativa y reproductiva, la definen como un cultivo menos sensible a la disponibilidad inicial de agua que el maíz, el cual si podría verse afectado por el crecimiento de un CC en el periodo invernal (Caviglia et al., 2013).

3.8 EL AGUA DISPONIBLE AL SECADO Y SU RELACION CON OTRAS VARIABLES.

Con respecto a los contenidos de AD al secado de los CC (ADs), es posible aseverar que es una variable importante, con posibilidades de interferir con el cultivo estival por el recurso agua. Se observó una variabilidad importante entre años, pero con buenas correlaciones con las variables ADi y precipitaciones. A través de un análisis de regresión se observó una relación lineal positiva y significativa ($R^2=0,73$; $p<0,0001$) entre el AD al secado de los CC y los contenidos de ADi + precipitaciones (Figura 4).

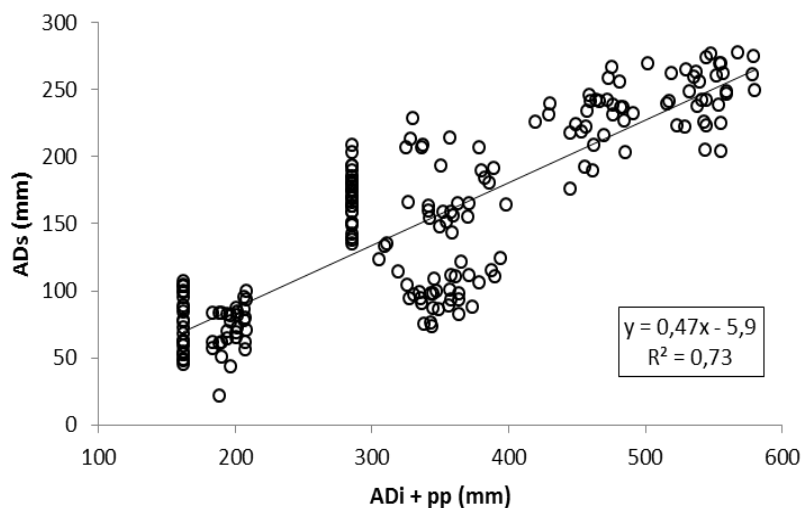


Figura 4. Relación entre agua disponible al secado (ADs) y agua disponible inicial + precipitaciones (ADi+pp).

$$\text{ADs (mm)} = (\text{ADi} + \text{pp (mm)}) * 0,47 - 5,9 \text{ mm} \quad \text{Ec. 12}$$

Utilizando la función lineal obtenida (Ecuación 12), es posible predecir los contenidos de AD al secado de los CC. Para la región en estudio, se puede considerar la situación de precipitaciones medias del periodo abril – septiembre donde se concentra el crecimiento de los CC. Este periodo presenta una precipitación media de 234 mm, mientras que en el periodo octubre – marzo las precipitaciones son de 627 mm (Figura 5). Si se tiene en cuenta que en el periodo abril – septiembre llueven por lo menos 100 mm con un 95% de probabilidad, se puede predecir los valores estimativos de agua disponible al secado en base de los contenidos de ADi. Esto es una herramienta más para la toma de decisiones al momento de sembrar o no CC, permitiendo saber con cuánta agua nos queda el perfil y evaluar si la recarga será suficiente para la implantación del cultivo estival (Tabla 13). Scianca, (2010) evaluó la incorporación de CC en las localidades de General Pinto y General Villegas y determinó con una probabilidad del 80 % de ocurrencia de una precipitación otoño-invernal de 230 y 130 mm, respectivamente, lugares que serían aptos para realizar CC con las especies evaluadas.

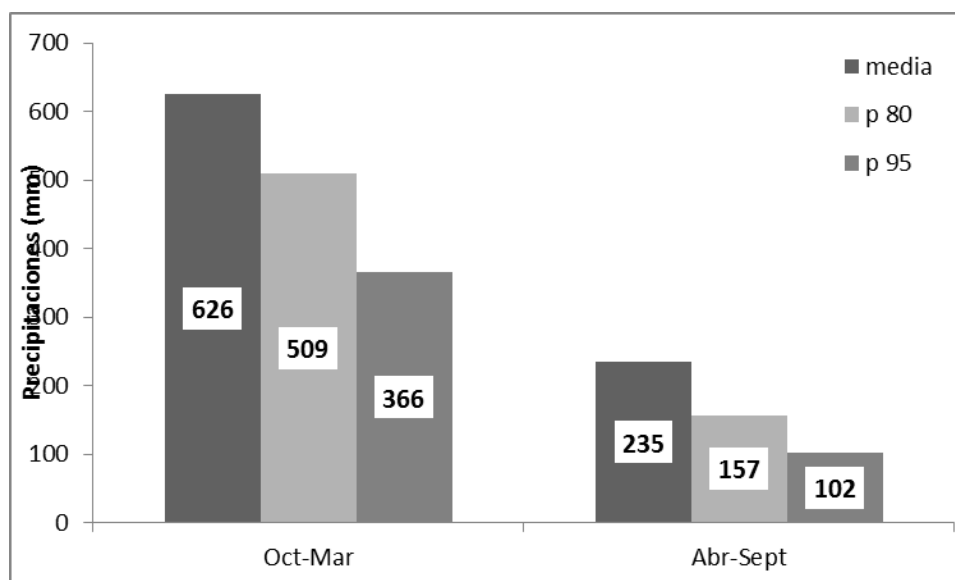


Figura 5: Distribución probabilística de lluvias en (mm) por periodos de octubre a marzo y de abril a setiembre para la región de Marcos Juárez.

P 80%: percentil 80.

P 95%: percentil 95.

Tabla 13. Valores de agua disponible al secado en función de la probabilidad de precipitaciones (95%), y escenarios de agua disponible inicial (ADi, mm y %) para la zona de Marcos Juárez.

ADi (mm)	PP (mm)	CRA (%)	ADs (mm)	CRA (%)
120	100	50	95	40
180	100	75	123	51
240	100	100	169	70

El suelo en estudio tiene una capacidad de retención de agua (CRA) de 240 mm hasta los 150 cm de profundidad, lo que consideramos como el 100% de la CRA. Por lo tanto, al comenzar la implantación de un CC con el 50% de CRA (120 mm) la condición probable de ADs del CC sería de 40% de CRA (95 mm) si nos llueve como mínimo 100 mm, situación que necesitaría de precipitaciones intensas posterior al secado para la recarga del perfil y no afectar la siembra del cultivo estival (Tabla 13). En cambio, con contenidos de ADi de 75 o 100 % de CRA, y lluvias de 100 mm, presentarían situaciones de bajo riesgo hídrico. Tanto el CRA como la probabilidad de ocurrencia de

las precipitaciones constituyen una valiosa información que resulta estratégica para la toma de decisiones al momento de evaluar la conveniencia o no de incluir CC en la rotación (Scianca, 2010). Quiroga et al. (2005), en estudios desarrollados sobre Haplustoles de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana, observaron que en los años con precipitaciones normales durante los barbechos largos y en suelos de baja CRA, los CC aumentaron la eficiencia del uso del agua. Esto se atribuiría a que normalmente las precipitaciones durante el barbecho largo exceden el CRA y, consecuentemente, una parte de ella se pierde por drenaje interno en profundidad.

SÍNTESIS

Los antecesores centeno, triticale, consociación y vicia villosa utilizados como cultivos de cobertura presentaron buenos niveles de producción de materia seca. Los antecesores gramíneas produjeron más biomasa que leguminosas y presentaron respuesta a la fertilización nitrogenada. El cultivo de maíz sobre antecesores leguminosa presentó rendimientos iguales o mayores que sobre barbecho, mientras que sobre antecesores gramíneas presentó rendimientos inferiores al antecesor barbecho. El cultivo de soja no presentó variaciones en el rendimiento debido al antecesor. La fertilización generó diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento en el cultivo de maíz, y no hubo interacción entre fertilización y antecesor en ningún cultivo estival. Para el caso de la soja no se encontró diferencia significativas ningún año evaluado.

La eficiencia en el uso del agua fue mayor para las gramíneas, logrando fijar más materia seca por milímetro de agua consumida que las leguminosas. El costo hídrico de las leguminosas fue igual o mayor que el de las gramíneas. El uso consuntivo presentó diferencias estadísticamente significativas, y fue menor para el antecesor barbecho. Tanto la eficiencia en el uso de agua, costo hídrico y uso consuntivo presentaron una gran variabilidad entre años. Al momento del secado, el antecesor barbecho presentó mayores contenidos hídricos que los antecesores cultivos de cobertura. Sin embargo, las lluvias primaverales fueron suficientes para recargar el perfil de suelo y no generar diferencias estadísticamente significativas en el agua disponible a la siembra del cultivo estival en la mayoría de los años evaluados.

El costo hídrico y el uso consuntivo dependieron del agua disponible al inicio y las precipitaciones durante el desarrollo de los cultivos de cobertura. El agua disponible al secado no difirió entre antecesores y, dependió principalmente del agua disponible al inicio más precipitaciones y uso consuntivo. Por otra parte, el agua disponible a la siembra de los cultivos estivales dependió del momento de secado de los cultivos de cobertura y del momento de ocurrencia de las lluvias primaverales. La fertilización no generó diferencias en los contenidos de agua disponible al momento del secado, uso consuntivo y eficiencia del uso de agua.

Los cultivos de cobertura son una herramienta que se puede incorporar a las rotaciones agrícolas cuando los contenidos de agua a la siembra sean superiores al 50% de la capacidad de retención del agua de los suelos, sin afectar la fecha de siembra del cultivo estival. Además, su inclusión como antecesores a los cultivos de soja y maíz no afectó los rendimientos, ya que las precipitaciones para la región pueden cubrir los requerimientos del cultivo. El antecesor triticales fue el de mayor producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua y bajos costos hídricos, por lo cual es recomendable incluirlo en la rotación como antecesor a soja, mientras que vicia villosa fue el mejor antecesor del cultivo de maíz.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Alessandria E., Arborno M., Leguia H., Pietrarelli L., Sanchez JV y Zamar JL. 2013. Introducción de cultivos cobertura en agroecosistemas extensivos de la región central de Córdoba. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. (eds.) Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de os sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp. 128-137
- Álvarez C. y Scianca C. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la region pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edafica. Dia de campo. Jornada Profecional Agrícola. EEA General Villegas.Publicado en internet, disponible en: www.agrolluvia.com/trabajos/2010/05. Verificado 22/09/2015
- Álvarez R., Steinbach S. 2012. Materia organica del suelo. En: R Alvarez, G Rubio, CR Álvarez & RS Lavado (eds.) Fertilidad de suelos: Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Ed Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 231-244
- Andrade F.H., Echeverría H.E., González N.S., Uhart S y Darwich N. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. E EAINTA Balcarce. Boletín técnico N° 134. 17 pp.
- Andriulo A., Guérif J., & Mary B. 1999. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ¹³C abundance. *Agronomie*, 19(5), 349-364.
- AAPRESID. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 2010. Relevamiento de superficie agrícola bajo siembra directa 2010. Publicado en internet, disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/superficie/> Recuperado 10 de noviembre de 2015.
- AAPRESID. Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 2015. Pasión por la SD 13 de agosto 2015. Publicado en internet, disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/blog/pasion-por-la-sd/> Recuperado 10 de noviembre de 2015.

- Baigorria T., y Cazorla C.R. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. In *Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rosario (Vol. 31).
- Basanta M., Alvarez C., Giubergia J.P., y Lovera E. 2013. Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero (eds.) *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de os sistemas de producción*. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp50-57
- Bertram N., y Chiacchiera S. 2014. Ascenso de napas en la Región Pampeana: Consecuencia de los cambios en el uso de la tierra. Jornada de NAPAS: desafío de construir soluciones conjuntas. INTA EEA Marcos Juárez.
- Capurro J., Dickie M. J., Surjack J., Monti J., Ninfi D., Zazzarini A y Gonzalez M. C. 2013. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de os sistemas de producción*. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp92-104
- Carfagno P., Eiza M., Babinec F., y 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 C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de os sistemas de producción*. EEA INTA Anguil, La Pampa . Pp36-49
- Carreira D. 2005. Carbono oxidable, una forma de medir la materia orgánica del suelo. En L. Marbán y S.E Ratto. *En Tecnologías en análisis de suelos, Alcance a laboratorios agropecuarios*. AACCS, Buenos Aires.. Pp91-102
- Caviglia O. P., Novelli L., Gregorutti V. C., Van Opstal N. V., y Melchiori R. J. 2013. Cultivos de cobertura invernales: una alternativa de intensificación sustentable en el centro-oeste de Entre Ríos. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero .*En Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de os sistemas de producción*. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp148-157
- Cazorla C. R. 2012. Influencia de la fertilización y de los cultivos de cobertura en los contenidos de carbono orgánico, estabilidad de agregados y densidad aparente del suelo. Rio Cuarto. Córdoba.

- Cazorla C. R., Lardone A., Bojanich M., Aimetta B., Vilches D y Baigorria T. 2013. Antecesores de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura?. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp181-185
- Colazo C. S. 2013. Costo hídrico de cultivos de cobertura invernales en San Luis. Primeras experiencias. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. En Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp 16-20.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fernandez R., Quiroga A., Arenas F., Antonini C y Saks M. 2007. Contribuciones de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Publicación Técnica N° 71. EEA INTA Anguil. pp51-59
- INTA. Secretaría de Agricultura y Ganadería de la Nación. 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17. Marcos Juárez
- Irizar A., Andriulo A., Améndola C., Colombini D., y Villalba F. 2012. Cambios en el carbono orgánico edáfico bajo diferentes prácticas de manejo del suelo. Actas XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Latinoamérica unida protegiendo sus suelos, Mar del Plata, Buenos Aires: en CD-ROM
- Kruger H y Quiroga, A. 2013. La “Interface suelo-atmosfera” y su valor estratégico en regiones semiáridas. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. En Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, La Pampa. pp5-6
- Kuo S & Jellum E. 2000. Long-term Winter cover cropping effects on corn (*Zea mays* L.) production and soil nitrogen availability. *Biol Fertil Soils*. 31:470-477.
- Lucas R. E., Holtman J. B., y Connor, L. J. 1977. Soil carbon dynamics and cropping practices. *Agriculture and energy*, 333-351.

- Martínez E., Fuentes J. P., y Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *En Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.
- MINAGRI. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca 2014. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Recuperado el 3 de Agosto de 2015, de <http://www.siiia.gov.ar/>
- Morón A. 2004. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. En Resumen Simposio Sustentabilidad de la intensificación agrícola en el Uruguay. *Panel: Estructura de la Producción, Suelos y Agua*, 7. Mercedes, Uruguay.
- Pengue W. (2001). Expansión de la soja en Argentina Globalización, Desarrollo Agropecuario e Ingeniería Genética: Un modelo para armar. *Revista Biodiversidad*, (29).
- Quiroga A.R., Funaro D.O., Fernández R., y Noellemeyer E. J. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *En Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 23(1), 79-86.
- Ratto S. E 2011. Agua de suelo. En M. E. Conti y L. Giuffrè *En Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas*. Pp315-357. Ediciones Universidad de Buenos Aires.
- Restovich S., y Andriulo A. 2013. Cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: biomasa aérea, captación de nitrógeno, consumo de agua y efecto sobre el rendimiento en grano. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, y M. Bodrero, *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (págs. 29-35). La Pampa: Ediciones INTA.
- Ridley N. 2013 Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fe: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo. . En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, y M. Bodrero, *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (págs. 7-15). La Pampa: Ediciones INTA
- Sá Pereira E., Galantini J., y Quiroga A. 2013. Sistemas de cultivos de cobertura de suelo de otoño-invierno: sus efectos sobre la disponibilidad de agua. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero, *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (págs. 76-82). La Pampa: Ediciones INTA. Capítulo 10.

- Sánchez SR; GA Studdert & HE Echeverría. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos de cosecha en descomposición en un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo* 16:1-6.
- Scianca C., Álvarez C., Barraco M., Pérez M., & Quiroga A. 2007. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Memoria Técnica 2006-2007, 10.
- Scianca C., Álvarez C., Barraco M., Quiroga A., & Zalba P. 2008. Cultivos de cobertura en un Argiudol típico del Noroeste Bonaerense. Memoria Técnica 2007-2008, 15-18.
- Scianca C. 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. Rio Cuarto. Córdoba
- Scianca C., Varela M. F., Barraco M., Álvarez C., y Quiroga A. 2013. Cultivos de cobertura en un Hapludol Thapto Árgico de La Pampa arenosa: análisis de cinco campañas. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de produccion.pp105-116. La Pampa: Ediciones INTA.
- Unger PW, & Vigil MF. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(3), 200-207.
- Vanzolini J. I., Galantini J., y Agamennoni R. 2013. Cultivos de cobertura de Vicia villosa Roth en el valle bonaerense del Río Colorado. En C. Alvarez, A. Quiroga, D. Santos, & M. Bodrero. Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción..pp21-28. La Pampa: Ediciones INTA.
- Walker J. & Reuter D. J. (Eds).1996. Indicators of catchment health: A technical perspective. Common wealth scientific and industrial research organization, Collingwood, Victoria, Australia. 172p.

5. ANEXO

Tabla 14. Respuesta a la fertilización de los diferentes cultivos de cobertura.

TRATAMIENTO	CF	SF	Resp Fert (kg ha ⁻¹)	Resp Fert (%)
Centeno	8284	5703	2581	45
Triticale	10852	7238	3613	50
Consociación	6689	5307	1383	26
Vicia sativa	3973	4031	-58	-1
Vicia villosa	6346	6062	283	5

CF: con fertilizantes, SF: sin fertilizantes

Tabla 15. Precipitaciones ocurridas en los meses de invierno (PP), agua disponible a la siembra del cultivo cobertura más precipitaciones (AU siem CC + PP) y tiempo térmico (TT).

AÑO	PPsiembra - secado	PPsec - siembra	TT°
2008	32	-	1561
2009	195	163	1905
2010	60	56	1325
2011	41	234	1113
2012	393	118	1174
2013	67	298	1288
2014	162	-	1588

PP: precipitaciones, TT: tiempo térmico

Tabla 16. Materia seca (MS), eficiencia en el uso del agua (EUA), costo hídrico (CH), agua disponible inicial (ADi), agua disponible al secado (ADs), agua disponible a siembra de los cultivo estivales (AUF) y rendimiento de los cultivos estivales para todos los antecesores de cultivo cobertura y barbecho.

Variable	B	Ce	T	Co	VV	VS
MS (Kg MS)	-	6993,46	8820,48	5997,89	6203,83	4001,98
EUA (kg MS.mm-1)	-	46,68	57,30	40,30	36,33	23,57
CH (mm)	-	29,79	27,65	24,89	23,17	37,14
UC (mm)	150,96	187,54	189,30	182,03	199,41	186,33
ADi(mm)	196,17	202,96	206,86	202,35	202,81	194,40
ADs(mm)	181,84	151,25	153,39	156,14	168,66	143,90
ADf(mm)	196,89	185,78	184,04	190,70	210,61	181,70
Rend soja(kg)	3758	3630	3618	3479	3514	3435
Rendmaiz(kg)	10370	9195	8162	9829	12122	11817

MS: materia seca; EUA: eficiencia en el uso del agua; CH: costo hídrico; UC: uso consuntivo; ADi: Agua disponible inicial; ADs: agua disponible al secado; ADf: agua disponible final; Rend: rendimiento
B: barbecho; Ce: Centeno; T: triticale; Co: Consociación; VS: vicia sativa; VV: Vicia villosa.

Tabla 17. Efecto de la fertilización y la interacción con antecesor en el rendimiento de maíz y soja.

	Maíz 08/09	Soja 10/11	Maíz 11/12	Soja 12/13	Maíz 13/14	Soja 14/15
SF	9409	3915	9646	3196	9482	3582
CF	13082	3763	9900	3130	10497	3847
Fertilización	0,003	ns	ns	ns	0,0095	ns
Ant * fertilización	ns	ns	ns	ns	ns	ns

SF: Sin fertilizante; CF: con fertilizante; Ant: antecesor; Ns: no significativo.