

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Trabajo Final

Para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo.

“Efectos del centeno (*Secale cereale L.*) como cultivo de cobertura en el consumo de agua y la producción de materia seca del cultivo de maíz (*Zea mays L.*)”

Autor: Mariano Beltrame

DNI: 34.555.515

Director: MSc. Ing. Agr. Espósito, Gabriel Pablo

Co-director: Ing. Agr. Guillermo R. Balboa

Río Cuarto – Córdoba

Argentina

Julio de 2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: *“Efectos del centeno (Secale cereale L.) como cultivo de cobertura en el consumo de agua y la producción de materia seca del cultivo de maíz (Zea mays L.)”*

Autor: Mariano Beltrame

DNI: 34.555.515

Director: MSc. Ing. Agr. Gabriel Pablo Espósito

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

Agradecimientos

A la Cátedra de Producción de Cereales por posibilitarme la realización del trabajo final y su apoyo incondicional frente a cada necesidad al respecto.

A mi amigo e Ingeniero Agrónomo Pablo Daniel Cagnolo

A mis amigos y compañeros de estudio: Nicolás Arnosio, Lucas Aguirre, Nicolás Salusso, Manuel Capra, Rodolfo Fiorimantti y Mauricio Busso.

A los Ingenieros Gabriel Espósito, Guillermo Raúl Balboa, Carlos Alberto Castillo, Ricardo Balboa y Cecilia Cerliani.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto.

ÍNDICE DEL TEXTO

	Página
CERTIFICADO DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE DEL TEXTO.....	IV
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
I. RESUMEN.....	VII
II. SUMMARY.....	VIII
III. INTRODUCCIÓN.....	1
a. HIPOTESIS.....	5
b. OBJETIVOS GENERALES.....	5
c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
a. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO.....	6
1. CLIMA.....	6
2. FISIOGRAFÍA.....	7
3. CONDICIONES EXPERIMENTALES.....	7
b. DETERMINACIONES REALIZADAS.....	8
c. ANALISIS DE DATOS.....	11
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	12
a. LÁMINA DE AGUA DISPONIBLE.....	12
b. BALANCE HÍDRICO.....	14
c. USO CONSUNTIVO, EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA Y COSTO HÍDRICO DEL CENTENO.....	16
d. PRODUCCIÓN DE BIOMASA DEL CENTENO.....	17
e. PRODUCCIÓN DE BIOMASA DEL CULTIVO DE MAÍZ.....	18
f. RENDIMIENTO.....	19
CONCLUSIÓN.....	22
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	23
ANEXO.....	27

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Lámina de agua disponible (LAD) en mm sobre los diferentes estadios fenológicos del Cultivo de Cobertura y a la siembra del cultivo de maíz.....	12
Tabla 2: Evapotranspiración del Cultivo de maíz para diferentes etapas de su ciclo sobre ambos tratamientos: con cultivo de cobertura (centeno) y testigo (rastreo).....	14
Tabla 3: Biomasa, Contenido de agua útil (AU) (120cm) al inicio y final del Cultivo de Cobertura (CC), precipitaciones del Cultivo de Cobertura (CC), AU al momento de la siembra del maíz. Campaña 2010-11.....	16
Tabla 4: Uso consuntivo (UC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH) del centeno campaña 2010.....	17
Tabla 5: Producción de materia seca (kg/ha) del cultivo de maíz en los diferentes estadios fenológicos sobre ambos tratamientos: testigo (T) y cultivo de cobertura (CC).....	19
Tabla 6: Rendimiento y componentes directos del cultivo de maíz. Campaña 2010-11.....	20
Tabla 7: Índice de Cosecha (IC) y Eficiencia del Uso del Agua (EUA) del cultivo de maíz. Campaña 2010-11.....	21
Tabla 8: Perfil del suelo Establecimiento San Beltrán, Río Cuarto (Córdoba).....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Precipitación Mensual Decádica Normal período 1978 – 2007 y campaña 2010-2011 para la localidad de Río Cuarto, Córdoba.....	6
Figura 2: Evolución de lamina de agua disponible.....	13
Figura 3: Curva de Evapotranspiración durante el ciclo del cultivo de Maíz.....	15
Figura 4: Curvas de acumulación de materia seca y tasa de crecimiento del centeno.....	18
Figura 5: Rendimiento del cultivo de maíz.....	20

I. RESUMEN

“EFECTOS DEL CENTENO (*Secale cereale L.*) COMO CULTIVO DE COBERTURA EN EL CONSUMO DE AGUA Y LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays L.*)”

El monocultivo de soja es el sistema de cultivo que predomina en la Región Semiárida Pampeana y de continuar este planteo vamos en detrimento de un sistema sustentable que incluya diversidad, captura de carbono, promoción de actividad biológica, etc. Una alternativa agronómica es la inclusión de cultivos de cobertura logrando intensificar la rotación, incrementando la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, aprovechando los beneficios de su utilización, mejorando la eficiencia de los sistemas agrícolas actuales. El siguiente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto del cultivo de centeno como cultivo de cobertura (CC) sobre el balance hídrico y la respuesta en producción de grano del cultivo de maíz en la rotación. Para ello se estableció un ensayo en el establecimiento “San Beltrán” ubicado 10 km. al oeste de la localidad de Río Cuarto (Córdoba). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorios con 3 repeticiones espaciales por tratamiento. Sobre cada tratamiento: testigo (T) y cultivo de cobertura (CC) se monitoreo la dinámica de agua en el suelo durante todo el ensayo; la producción de biomasa, la eficiencia en el uso del agua (EUA), el uso consuntivo (UC), el costo hídrico (CH) del CC y su producción de biomasa, la evapotranspiración (ET), la EUA y el rendimiento del maíz. Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias (DMS, Fisher). Los datos obtenidos muestran que el centeno produjo 2193 kg de materia seca (MS), un uso consuntivo de 73,8 mm, una EUA de 29,7 kg MS. mm⁻¹ y un costo hídrico de 43,3 mm. Entre tratamientos la producción de biomasa del cultivo de maíz no mostro diferencias significativas aunque si fue mayor a favor del tratamiento con CC, la ET total del maíz fue de 359,91 y 395,84mm para los tratamientos testigo y con CC respectivamente con diferencias significativas al igual que el rendimiento, 8309 versus 10207 kg.ha⁻¹ y la EUA (kg grano.ET⁻¹) de 23,09 y 25,79. Los resultados mostraron que para las condiciones particulares del ensayo y la campaña 2010/2011 es factible la inclusión de CC al obtener respuesta significativa en el rendimiento del cultivo de maíz.

Palabras claves: *cultivo de cobertura – dinámica del agua – biomasa - rendimiento*

II. SUMMARY

"EFFECTS OF RYE (*Secale cereale L.*) COVER CROP ON WATER USE AND DRY MATTER PRODUCTION OF MAIZE (*Zea mays L.*)"

The soybean monoculture cropping system is predominant in the Pampean semiarid region and we continue this pose to the detriment of a sustainable system that includes diversity, carbon sequestration, biological activity promotion, etc. An alternative is the inclusion of agricultural cover crops (CC) rotation intensify making, increasing the number of crops per unit time, reaping the benefits of their use, improving the efficiency of current agricultural systems. The next job is to determine the effect of growing rye as CC on the water balance and grain yield response of corn in the rotation. This trial was established in the "San Beltrán" located 10 km. west of the town of Rio Cuarto (Cordoba). The experimental design was randomized complete block with three replicates per treatment space. On each treatment: control (C) and cover crop (CC) is monitoring the dynamics of soil water throughout the trial, biomass production, efficiency in water use (USA), consumptive use (CU), water cost (CH) of CC and biomass production, evapotranspiration (ET), the U.S.A and maize yield. All results were analyzed by ANOVA, means separation test (DMS, Fisher). The data obtained show that rye produced 2193 kg of dry matter (DM), a consumptive use of 73.8 mm, a U.S.A. 29.7 kg DM. mm⁻¹ and water cost of 43.3 mm. Between treatments biomass production of maize showed no significant differences even if it was more in favor of treatment with CC, the corn ET was 359.91 and 395.84 mm for control treatments and CC respectively with significant differences like performance, 8309 versus 10 207 kg.ha⁻¹ and the USA (kg grain.ET⁻¹) of 23.09 and 25.79. The results showed that for the particular conditions of the test and the 2010/2011 season is likely to include CC to obtain significant yield response of corn.

Keywords: *cover crop - water dynamics - biomass – yield*

III. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola en la región pampeana, orientada fundamentalmente a la producción de soja, maíz, trigo y girasol, ha experimentado profundas transformaciones a partir de la década del noventa; no solo en cuanto a su expansión en superficie en detrimento de la superficie praderizada, sino también a través de un aumento de su productividad debido a un mayor uso de tecnologías (Álvarez y Scianca, 2006).

La soja se ha transformado en el cultivo más importante en la región, desplazando al maíz de las rotaciones con el consiguiente balance negativo de carbono (C), inclusive bajo siembra directa. Para lograr la sustentabilidad del sistema de producción debemos mejorar el balance de C a través de un mayor aporte de biomasa vegetal (Ruffo y Parsons, 2004).

Teniendo en cuenta los limitados aportes de rastrojos de este cultivo, junto con su baja relación C:N, el aumento de su presencia en las secuencias de cultivos agrícolas afectaría a la conservación de los contenidos de materia orgánica (MO) y al mantenimiento de adecuados niveles de cobertura, lo cual podría llevar en el largo plazo al empobrecimiento de los suelos (Álvarez y Scianca, 2006).

Los cultivos de cobertura (CC) han sido utilizados tradicionalmente para controlar la erosión pero pueden cumplir múltiples funciones en el sistema de producción (Galarza *et al.*, 2010). Por ejemplo, son utilizados para reducir la compactación, minimizar la lixiviación de nitratos residuales, incrementar el contenido de carbono y nitrógeno (N) del suelo, controlar malezas y aportar N mineral al cultivo siguiente (Ruffo y Parsons, 2004). Se constituyen también como una alternativa agronómica para incrementar el aporte de residuos en sistemas de agricultura continua con alta participación de soja (Álvarez y Scianca, 2006). Los CC son establecidos entre dos cultivos de cosecha y generalmente no son pastoreados, incorporados, ni cosechados, quedando los residuos en superficie, luego de interrumpir su crecimiento mediante la aplicación de herbicida (Eiza *et al.*, 2009).

Con respecto al control de la erosión, varias gramíneas de invierno tales como centeno (*Secale cereale*), avena (*Avena sativa*) o raigrás anual (*Lolium multiflorum*), dada su alta acumulación de biomasa, permiten la protección de los suelos evitando procesos erosivos y podrían incluirse entre cultivos consecutivos de soja para incrementar los aportes de C a los sistemas productivos y así aportar al mantenimiento de la materia orgánica (Álvarez *et al.*, 2006). En relación con la MO se sabe que los cultivos de cobertura inciden tanto sobre su cantidad como sobre su calidad. Wander y Traina (1996) comprobaron que los contenidos de MO fueron significativamente mayores cuando se incorporaron cultivos de cobertura a la rotación. Por su parte Ding *et al.*, (2005) destacaron que la inclusión de cultivos de cobertura afectó positivamente y en mayor grado las fracciones livianas de la MO.

Esta MO contribuye considerablemente en la formación de estructura del suelo, aumenta la estabilidad, disminuye la susceptibilidad a la compactación, la densidad aparente

máxima y mejora la macroporosidad, con lo cual se facilita la entrada y movimiento del agua en el suelo y por ende la conductividad hidráulica (Galarza *et al.*, 2010). Carfagno *et al.* (2008) concluyeron que para suelos Hapludoles y Haplustoles de la región semiárida pampeana el centeno se destaca para ser utilizado como CC en esos ambientes por los altos contenidos de humedad dejados en el perfil y los aportes de biomasa producidos al momento de la siembra del cultivo posterior en la rotación.

La incorporación de CC, reemplazando los barbechos limpios, sin malezas ni cultivos, por períodos con especies vivas conllevaría a la generación de canales más estables y continuos, mejorando la calidad de la porosidad (Varela *et al.*, 2010).

Esta fuente adicional de residuos vegetales favorecen la captación del agua de lluvia durante el barbecho y primeros estadios de los cultivos estivales, reducen el impacto de las gotas de lluvia en intensidades altas de precipitaciones; por medio de sus raíces generan canales conduciendo a aumentar las tasas de infiltración (Carfagno, 2008). A su vez, la presencia de raíces conduciría a una mayor estabilidad de los agregados a través de la secreción de sustancia agregantes y mediante el entramado de raíces (Varela *et al.*, 2010).

Por otro lado, con la elevada participación de cultivos estivales, los rastrojos son la única fuente de energía para los microorganismos del suelo, y dependiendo de su relación C:N será el proceso de mineralización o inmovilización y el aporte de nutrientes al próximo cultivo. Los cultivos de cobertura (CC) además de ofrecer protección física al suelo, capturan los nitratos (NO_3^-) y lo incorporan a su biomasa (Boccolini *et al.*, 2010), minimizando su lixiviación durante el largo periodo de barbecho que tiene lugar entre cultivos de verano (marzo-octubre), principalmente en suelos de granulometría más gruesas (Fernández *et al.*, 2005) reduciendo la disponibilidad de nitrógeno (N) a la siembra de los cultivos estivales. Finalmente la descomposición y posterior mineralización de los residuos de los CC entrega el N durante el ciclo de los cultivos estivales (Boccolini *et al.*, 2010). Smith *et al.*, (1987) trabajando con centeno como CC comprobaron que este cultivo puede capturar nitrógeno del suelo, potencialmente lixiviable y dejar en su biomasa valores de N de 25 a 75 Kg. ha⁻¹.

Los CC pueden producir altos volúmenes de biomasa, logrando con esto mejorar la cobertura superficial del suelo y balance de carbono, aportando además otros nutrientes (S- SO_4^{2-} y P) al ser capturados por la planta y liberados en formas orgánicas (rápida liberación) dependiendo especialmente del estado fenológico en el cual sea cortado su ciclo y de la elección de la especie (Scianca *et al.*, 2007 a).

Se ha comprobado que los CC pueden reducir la densidad y biomasa de malezas durante el barbecho en sistemas de siembra directa (SD). La habilidad de los mismos para suprimir el crecimiento de las malezas está relacionado con la cantidad de biomasa que éstos producen y/o con la liberación de sustancias inhibitorias (Scianca *et al.*, 2007 b). Estas sustancias a menudo son fenoles, terpenos, alcaloides u otros compuestos del metabolismo

secundario de las plantas, generalmente producidos en las hojas, tallos, raíces y pueden entrar en contacto con otras plantas por varios caminos. Así, las hojas y restos vegetales caen al suelo y al descomponerse liberan estas toxinas; los exudados de las raíces o de las partes aéreas pueden ser lavados por las lluvias y arrastrados al suelo (Pérez y Scianca, 2009). Hoyt *et al.*, (2004) encontraron que el centeno tiene un rol importante en la inhibición de la germinación de semillas de malezas, efecto atribuido a la presencia de sustancias alelopáticas liberadas al descomponerse el residuo.

Otra utilidad de los CC es la depresión de la napa freática en aquellos suelos donde la presencia de napa está muy cercana a la superficie, los CC pueden mejorar esta situación consumiendo agua en los primeros centímetros del perfil mejorando la transitabilidad de los suelos en períodos húmedos (Álvarez y Scianca, 2006).

Un parámetro muy importante que se modifica es la eficiencia en el uso del agua; principalmente en años con precipitaciones normales durante barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua (CRA) los CC aumentan la eficiencia del uso del agua para capturar carbono. Fernández *et al.*, (2005) y Duarte (2002) trabajando sobre Haplustoles comprobaron que en años con precipitaciones normales durante barbechos largos y en suelos de baja CRA los CC aumentaron la eficiencia del uso del agua para capturar carbono, con respecto al testigo (sin CC). Esto es debido a que normalmente las precipitaciones exceden durante un barbecho largo la CRA y consecuentemente una parte sustancial de la misma se pierde infiltrándose en profundidad. Pero, se reconoce que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo siguiente (Álvarez y Scianca, 2006). Hay antecedentes que demostraron que el costo hídrico (por haber establecido CC) para el cultivo de verano fue entre 30 y 100 mm (Fernández *et al.*, 2007).

En zonas templadas, las especies más utilizadas como CC son fundamentalmente de las familias de las gramíneas y leguminosas. Las gramíneas más utilizadas son centeno (*Secale cereale*), trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*), triticale (*X triticosecale*) y raigrás anual (*Lolium multiflorum*). El centeno es la gramínea más tolerante al frío y al estrés hídrico y produce un abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno.

Las leguminosas mejor adaptadas como CC son las vicias (*Vicia villosa* y *Vicia sativa*) y los tréboles blanco (*Trifolium repens*), de olor (*Melilotus sp.*) de alejandría (*Trifolium alexandrinum*) y encarnado (*Trifolium incarnatum*). La vicia villosa es la leguminosa más resistente al frío mientras que el trébol encarnado acumula N más rápidamente que la vicia villosa y tolera mejor los suelos moderadamente ácidos. Ambas especies acumulan la mayor parte de la biomasa y N entre dos a tres semanas previas a la floración (Ruffo y Parsons, 2004).

La posibilidad de elegir CC de diferentes familias permite analizar que la cantidad y calidad de los residuos influyen en la velocidad de descomposición de los mismos. Se sabe que en rastrojos con alta relación C:N el N es liberado más lentamente que el C, lo que produce un aumento en la concentración de N del residuo a medida que avanza el proceso. El caso contrario ocurre cuando la relación C:N es baja. El ciclo, los flujos y las tasas de renovación del N, están regulados por la actividad y número de la biota del suelo y los factores que la condicionan son la temperatura, la humedad, pH, la disponibilidad de sustrato y las prácticas de manejo (Boccolini *et al.*, 2010).

Entre los factores de cultivo más importantes a considerar en los CC son: la acumulación de biomasa, su consumo de agua, la calidad del residuo aportado y la tasa de descomposición de estos. Por otra parte, entre los factores ambientales que se deberían considerar se encuentran el momento de ocurrencia de las precipitaciones, la cantidad e intensidad de las mismas y la capacidad de almacenaje de agua del suelo (Eiza y Carfagno, 2009).

Las prácticas de manejo deberían concentrarse en establecer claramente fechas de siembra y culminación de los CC para adecuar de esta forma la producción de biomasa, el reciclado de nutrientes y la competencia con malezas manteniendo al mismo tiempo un balance favorable de agua en el suelo (Bollero, 2005).

Es necesario ajustar la tecnología aplicada a cada sistema, frente a distintas condiciones de sitio particulares (clima, suelo, manejo) e incorporarlos a los planteos de agricultura y/o ganadería de precisión por la contribución que los mismos pueden realizar a la eficiencia de uso del agua y de nutrientes, control de los procesos de degradación y sustentabilidad de los sistemas de producción (Quiroga *et al.*, 2008).

De acuerdo a lo mencionado en párrafos anteriores, cabe suponer que la incorporación de CC a la rotación de sistemas agrícolas actuales en ambientes subhúmedos, tiene efectos positivos en la eficiencia de utilización del agua sobre cultivos sucesores lo que influye directamente en la producción de materia seca y el rendimiento en grano.

III. a. HIPÓTESIS

En ambientes semiáridos pampeanos la incorporación en la rotación de centeno como cultivo de cobertura mejora la eficiencia de utilización del agua del cultivo sucesor, incrementando así la producción de materia seca y el rendimiento en grano del cultivo de maíz.

III. b. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del cultivo de centeno como cultivo de cobertura sobre el balance hídrico y la respuesta en producción de grano del cultivo de maíz en la rotación.

III. c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la producción de materia seca y la tasa de crecimiento del centeno como cultivo de cobertura
- Evaluar el efecto del cultivo de cobertura en el balance de agua sobre el cultivo de maíz.
- Evaluar el la producción de materia seca y rendimiento del cultivo de maíz.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV. a. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

IV. a. 1. CLIMA

La región de Río Cuarto presenta un clima templado sub húmedo, con precipitaciones que suelen exceder la evapotranspiración en los meses de primavera y otoño y con déficits puntuales en verano e invierno (Seiler *et al.*, 1995).

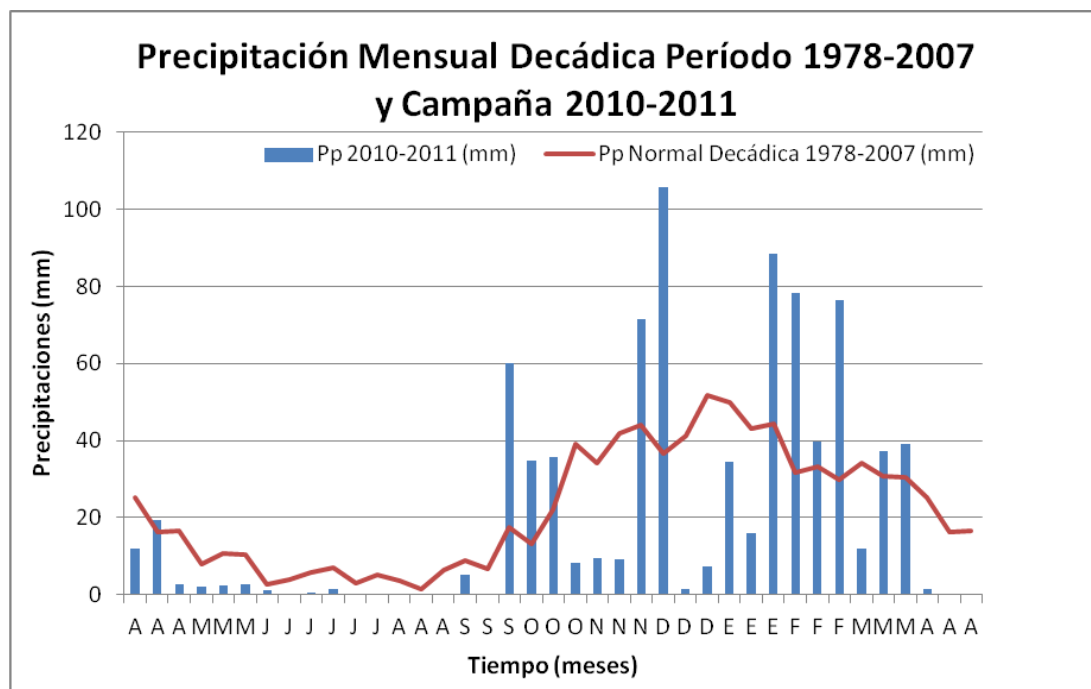


Figura 1. Precipitación Mensual Decádica Normal período 1978 – 2007 y campaña 2010-2011 para la localidad de Río Cuarto, Córdoba.

La precipitación media anual normal es de 801,2 mm con valores extremos mínimos de 451,1 mm en 1988 y máximos de 1195,2 mm en 1984, para la serie 1978 – 2007 (Seiler *et al.*, 1995).

Cabe destacar que para la campaña 2010 los valores de precipitación (Abril-Agosto) presentan registros por debajo de la normal, condicionando el desarrollo de los cultivos invernales. La diferencia con respecto a la normal para estos meses fue de 82,2 mm; a tal punto que el lapso comprendido entre enero y agosto del 2010 fue destacado como la época más seca de los últimos 37 años.

La precipitación media normal del ciclo del cultivo implantado en fecha tardía (Diciembre – Abril) fue de 515,24 mm, valor muy próximo a los 502,3 registrados para la campaña 2010-2011.

El régimen térmico es mesotermal, la temperatura media del mes más cálido (enero) es de 23°C con una máxima absoluta de 39,5°C. La temperatura media del mes más frío

(julio) es de 9,1°C con una mínima absoluta de - 11,5°C. La amplitud térmica media anual es de 13,9°C.

La fecha media de la primera helada es el 25 de mayo y la de última es el 12 de septiembre, siendo el período libre de heladas 255 días en promedio.

IV. a. 2. FISIOGRAFÍA

La zona se caracteriza por presentar planicies intermedias suavemente onduladas, con presencia de médanos aislados asociados a lomas muy suavizadas. El relieve es normal – subnormal suavemente ondulado, con pendientes medias y largas de gradientes de hasta 1,5% (Cisneros *et al.*; 2000).

IV. a. 3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

El ensayo se realizó en el establecimiento “San Beltrán” (33°09′05,81″S 64°30′21,40″O) ubicado 10 km al oeste de la localidad de Río Cuarto en la provincia de Córdoba (Imagen Google, Anexo I).

La experiencia se realizó durante la campaña agrícola 2010/2011, en un lote cuyo cultivo antecesor fue soja, empleándose Centeno (*Secale cereale*) como cultivo de cobertura. La siembra se realizó el 25 de abril empleando el cultivar Quehué a una densidad de 80 kg ha⁻¹ y un distanciamiento entre hileras de 35cm con una fertilización base de Fosfato Monomónico Azufrado (14-34-0-12) a razón de 50 kg ha⁻¹.

Se establecieron dos tratamientos: Con Cultivo de Cobertura (CC) y Sin Cultivo Cobertura (Barbecho). La supresión del crecimiento del CC se realizó el 10 de septiembre con glifosato al 48 % equivalente ácido (2,5 lt ha⁻¹). El criterio sobre el cual se basó la supresión fue optimizar la producción de materia seca analizando el crecimiento del CC frente a las condiciones ambientales imperantes. Posteriormente se implantó el cultivo de maíz el 5 de diciembre en todas las parcelas con una densidad de 65000 pl. ha⁻¹ a 52 cm entre hileras. El mismo fue fertilizado con 150 kg ha⁻¹ de MAP-S (14-34-0-12) y refertilizado en V₆ con 150 kg ha⁻¹ de urea (46-0-0) incorporada en el entresurco.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorios con 3 repeticiones espaciales por tratamiento.

Se emplearon los registros meteorológicos de la estación automática Río Cuarto fue posible disponer de los registros de temperatura máxima y mínima, y precipitación, ocurridas durante el período de análisis, de la estación meteorológica de la UNRC – Córdoba.

IV. b. DETERMINACIONES REALIZADAS:

- *Humedad Edáfica.* Durante todo el ciclo del CC, en el barbecho y el ciclo del cultivo de maíz; se tomaron muestras de suelo hasta 120 cm de profundidad con barreno a intervalos de 20 cm. Las muestras de cada profundidad se colocaron en bandejas de aluminio, se pesaron y llevaron a estufa (80 °C hasta peso constante). Con la diferencia de peso de la muestra húmeda y la muestra seca se obtuvo la humedad gravimétrica la cual se expresó en %. Esta humedad gravimétrica se llevó a volumétrica por medio de la densidad aparente (DAP) del suelo y a partir de la humedad volumétrica se calculó la lámina de agua en el perfil (mm de agua); con los datos de PMP (punto de marchitez permanente) y CC (capacidad de campo), se calculó el agua útil (AU). Ambos parámetros hidrofísicos fueron determinados mediante el software Soil Water Characteristics. Los datos necesarios para correr el software fueron extraídos de Balboa, 2007 (anexo 1-tabla 8).
- *Balance Hídrico.* El balance de agua de un suelo donde crece un cultivo resulta de las diferencias entre los ingresos y los egresos o pérdidas de agua al sistema. El agua que ingresa puede provenir de las precipitaciones (Pp), el riego (R), la napa freática (Nf) y, por escorrentía superficial (Esc), desde las áreas más elevadas. Los egresos se producen por la evaporación del agua desde la superficie del suelo (Es), la transpiración del cultivo (T), la escorrentía hacia áreas más bajas y el drenaje (D) por debajo de la zona explorada por las raíces. Si los ingresos superan a los egresos, toda o parte del agua excedente puede acumularse en el perfil de suelo explorado por el cultivo, generando una variación de almacenaje (ΔAlm) positiva. En caso contrario, la ΔAlm será negativa. La transpiración es el término del balance de agua que está directamente ligado con la fotosíntesis, y por consiguiente, con el crecimiento del cultivo (Dardanelli *et al.*, 2003), y puede calcularse según la Ecuación I:

$$T = Pp + R + Nf \pm Esc \pm \Delta Alm - Es - D \quad (\text{Ecuación I})$$

Para esta situación particular los ingresos por riego (R) y napa freática (Nf) no existen y el cálculo de consumo de agua por etapas y total se realizó mediante el método planteado por Marcos (2000) (Ecuación II):

$$ET \text{ (mm)} = \text{precipitaciones (mm)} - \text{escurrimiento (mm)} \pm \Delta \text{ humedad} \quad (\text{Ecuación II})$$

Donde:

Δ Humedad (mm) = humedad final (mm) – humedad inicial (mm)

Siendo, humedad final e inicial la lamina de agua en cada determinación.

Precipitaciones: se registraron diariamente, mediante pluviómetro ubicado en el sitio experimental.

Escurrimiento: se determinó a través de la *Curva Número del U.S Soil Conservation Service* el cual calcula el escurrimiento de una lluvia de 24 hs a partir de un umbral crítico de escurrimiento (Po) definido por el tipo de suelo y condición de superficie del mismo. La ecuación III:

$$E = (Pt - Po)^2 / Pt + 4Po \quad (\text{Ecuación III})$$

E: escurrimiento (mm)

Pt: precipitación en 24 horas (mm)

Po: umbral de escorrentía (mm). Para las condiciones particulares del ensayo se utilizaron valores de 20 y 30 mm para rastrojo de soja (testigo) y centeno (CC) respectivamente. Estos valores fueron adaptados de Espósito (2002), a partir de ensayos de velocidad de infiltración realizados en La Aguada, Córdoba para diferentes niveles de cobertura y tasas de infiltración.

$E = 0$ si $Pt \leq Po$

$E \neq 0$ si $Pt > Po$

Drenaje: por información previa y solo por el análisis del balance hídrico se despreció (Espósito, 2002).

- *Producción de Biomasa y TCC del CC*. Luego de la siembra del CC y hasta la finalización de su ciclo se determinó mediante cortes (3 muestras por bloque de 2,85 metros lineales de surco (1 m^2); la producción de materia seca acumulada a intervalos de 30 días determinando el estado fenológico y la función de crecimiento. Las muestras se llevaron a estufa ($80 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante) y a partir de éste valor se calculó la producción de materia seca (MS) en kg ha^{-1} . Con cada una de las mediciones en el tiempo se analizó la función logística que describe el cultivo a través de su tasa de crecimiento, para contar con la curva de acumulación de biomasa en función del tiempo que permitió asociar el momento de finalización del crecimiento del cultivo de cobertura mediante control químico, con biomasa acumulada hasta dicho momento.

- *Uso Consumitivo*. Se calculó mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del centeno, a la cual se le restó el contenido hídrico del suelo al momento de finalizar el ciclo del CC (Ecuación IV)

$$UC (mm): AAIc - AAFc + PPc \quad (\text{Ecuación IV})$$

Dónde:

AAIc: agua acumulada en el suelo al inicio del período de crecimiento del CC

AAFc: agua acumulada en el suelo al final del período de crecimiento del CC (momento de secado del CC)

PPc: Precipitación acumulada en el período de crecimiento del CC

- *Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)*. Se calculó en base a la ecuación de Bennie y Hensley, 2001 (Ecuación V):

$$EUA (kgMS/mm) = MS / AAIc - AAFc + PPc \quad (\text{Ecuación V})$$

Donde: MS es la producción de MS del período de crecimiento, *AAIc* y *AAFc* es el agua acumulada en el suelo al inicio y al final del período de crecimiento, respectivamente, y *PPc* es la precipitación acumulada en el período de crecimiento.

- *Costo Hídrico (CH)*. Se estimó como la diferencia entre el agua útil del barbecho y el agua útil al momento de secado del CC (Ecuación VI):

$$CH (mm) = Lb - Lcc \quad (\text{Ecuación VI})$$

Dónde:

Lb: lámina de agua útil en barbecho al momento del secado del CC

Lcc: lámina de agua útil en el CC al momento de secado del mismo.

- *Producción de biomasa de Maíz*. Se determinó en los estadios fenológicos $V_5 - V_9 - R_2 - R_3 - R_4 - R_6$ (Ritchie y Hanway, 1997) mediante cortes (3 muestras de 1 metro lineal de surco en cada tratamiento y repetición) y pesado de la biomasa aérea del cultivo. Posteriormente una alícuota de cada muestra se pesó y se llevó a estufa (80 °C hasta peso constante) para determinar el contenido de MS. Con este valor se afectó el peso verde de la muestra. A partir del mismo se calculó la producción de materia seca (MS) en $kg\ ha^{-1}$.

- *Rendimiento en grano.* Se determinó mediante cosecha manual de 3 muestras por bloque y por tratamiento, compuesta cada una por las espigas de 7 plantas continuas en competencia perfecta. A partir de estas muestras desgranadas y pesadas se determinaron los componentes del rendimiento: N° de granos m² y peso de 1000 granos (tomándose 2 sub muestras de 100 granos). Mediante la densidad de plantas se obtuvo el rendimiento por hectárea.

IV. c. ANÁLISIS DE DATOS

Todos los resultados fueron analizados mediante ANAVA, test de separación de medias (DMS, Fisher) utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Di Renzo *et al.*, 2011).

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

V. a. Lámina de Agua Disponible

En la Tabla 1 se detallan las láminas medias de agua disponible (LAD) durante el ciclo del centeno en ambos tratamientos: con cultivo de cobertura (CC) y testigo (Barbecho), durante diferentes estadios fenológicos del CC (F), el costo hídrico (CH), los días desde la siembra (DDS), la precipitación acumulada durante el cultivo de cobertura (CC) y hasta la siembra del maíz. Se puede destacar que el establecimiento del CC y su consiguiente consumo de agua no generaron diferencias estadísticamente significativas en los primeros 67 DDS, aunque si fueron significativas en los estadios fenológicos Z43 y Z61 en el tratamiento testigo. Aquí también se puede observar el CH de 43,28 mm por la inclusión del CC. Las precipitaciones acumuladas en los 138 días de duración del CC fueron de 15,5mm.

Tabla 1. Láminas medias de agua disponible (LAD) mm en los diferentes estadios fenológicos del Cultivo de Cobertura y a la siembra del cultivo de maíz, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Fecha	F	LAD (mm)		DMS	CV (%)	CH	DDS	PP acu
		Cultivo de Cobertura	Testigo					
25/04/2010	S _C	82,8				0	0	15,5
28/05/2010	Z15	60,76 a	73,64 a	56,75	24,04	-12,88	33	
01/07/2010	Z23	50,72 a	72,41 a	23,88	11,06	-21,69	67	
05/08/2010	Z43	32,90 a	71,97 b	33,53	18,21	-39,07	102	
10/09/2010	Z61	24,45 a	67,73 b	6,78	4,19	-43,28	138	
05/12/2011	S _M	120,71 a	123,52 a	28,44	6,63	-2,81	224	312

Estados fenológicos (F) del Centeno según escala de Zadoks (Zadoks, Chang y Konzak, 1974) Z15: crecimiento de la plántula (5 hojas desplegadas); Z23: macollaje (tallo principal y 3 hijuelos); Z43: espiga a la altura del cuello de la penúltima hoja (hoja bandera totalmente desplegada); Z61: antesis (comienzo de floración); S_C: siembra centeno S_M: siembra maíz. CH: costo hídrico; PPacu: precipitación acumulada DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación. En filas, letras distintas indican diferencias significativas según LSD Fisher (P< 0,05).

En la Figura 2 se muestran las LAD medias del suelo en mm desde la siembra del CC hasta la siembra del maíz. La misma permite interpretar y relacionar lo mencionado en la Tabla 1.

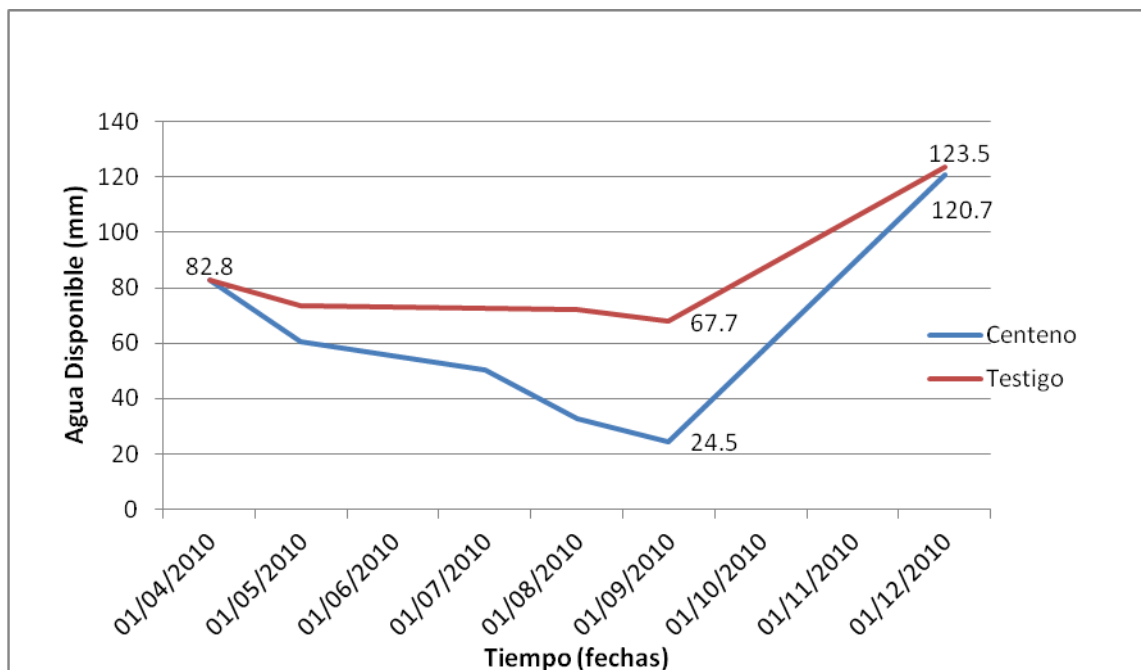


Figura 2. Evolución de la lámina de agua disponible (LAD) mm.

Los resultados muestran que durante todo el ciclo del centeno el contenido hídrico del suelo para éste tratamiento (CC) fue inferior, representando como se mencionó anteriormente un costo hídrico por su inclusión. Por otro lado, al considerar el momento de supresión del CC (10/9) y la duración de barbecho (86 días) hasta la siembra del cultivo de maíz tardío (5/12), es posible observar como la ocurrencia de precipitaciones (296,5 mm) (Figura 1) permitieron la recarga del perfil llegando al momento de la siembra del maíz con una diferencia de tan solo 2,8 mm. Esto coincide con lo encontrado por Islam *et al.*, (2006) quienes concluyeron que el secado temprano de los CC no afecta la disponibilidad de agua para la siembra del cultivo de cosecha, conservándose la humedad por los residuos de los CC.

De esta manera, es posible observar como las precipitaciones oportunas luego del secado de CC y antes de la siembra del maíz, suplieron el CH y posibilitaron la recarga del perfil para el cultivo sucesor.

V. b. Balance Hídrico

El flujo transpiratorio está directamente relacionado con la fijación de CO₂ ya que, la radiación solar es la fuente de energía para ambos procesos. Por consiguiente, bajo condiciones favorables para la absorción de agua, cuanto más energía absorbe un conopeo, más agua puede transpirar y más CO₂ puede fijar (Dardanelli *et al.*, 2003).

El principal factor de pérdida de agua desde la superficie del suelo es la evaporación, estimándose que, en condiciones de clima semiárido, entre el 50 y 75 % de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Bennie y Hensley, 2001). Respecto a ello Stipesevic y Kladvko (2005) observaron que las rotaciones con CC fueron más eficientes en conservar el agua edáfica superficial, debido a la reducción de la evaporación, durante el crecimiento del cultivo posterior.

En condiciones de secano, se deben maximizar las ganancias y minimizar las pérdidas del balance hídrico, por lo cual, es necesario maximizar la retención de agua del suelo, ajustar la duración del barbecho, conocer la profundidad de raíces y minimizar las pérdidas por escurrimiento y por evaporación (Carfagno *et.*, al 2012).

Una de las vías para conseguir este propósito es aplicar prácticas que mantengan los residuos de cosecha en superficie, como la siembra directa o la labranza reducida, lo cual disminuye la escorrentía, reduce la evaporación desde el suelo e incrementa el agua disponible para transpiración (Dardanelli *et al.*, 2003). De aquí la importancia de la utilización de CC como aporte de residuos al sistema y sus beneficios en la infiltración.

En la Tabla 2 se pueden apreciar los valores de Evapotranspiración (ET) sobre los diferentes tratamientos evaluados.

Tabla 2. Evapotranspiración del cultivo de maíz en diferentes etapas de su ciclo sobre ambos tratamientos: con cultivo de cobertura (centeno) y testigo (rastrojo), Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Etapa	Evapotranspiración de Maíz (mm)		DMS	CV (%)
	Cultivo de cobertura	Testigo		
5/12 al 12/1	29,8 a	29,36 a	45,83	44,11
12/1 al 10/2	185,78 a	152,08 b	30,91	5,21
10/2 al 3/3	45,78 a	35,1 a	31,25	22
3/3 al 31/3	89,59 a	79,38 a	114,87	38,7
31/3 al 30/4	44,89 a	63,99 a	108,25	56,6
Total	395,84 a	359,91 b	22,2	1,67

mm: milímetros; DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación. En filas, letras distintas indican diferencias significativas según LSD Fisher (P < 0,05).

Los resultados permiten observar que dentro de todo el ciclo del cultivo de maíz la ET total y la ET correspondiente a la etapa (12/1-10/2) presentan diferencias estadísticas

significativas a favor del tratamiento con cultivo de cobertura respecto del tratamiento testigo; 395,84 y 185,78 mm versus 359,91 y 152,08 mm respectivamente. Es de importancia destacar que dicha etapa (29 días) se corresponde fenológicamente con los estadios V9-R2, período considerado relevante en la definición del número de granos en el maíz, principal componente del rendimiento.

La Figura 3 detalla la curva de evapotranspiración (ET) en mm por etapas y total dentro del ciclo del cultivo de maíz con fecha de siembra tardía, para la campaña 2010/2011.

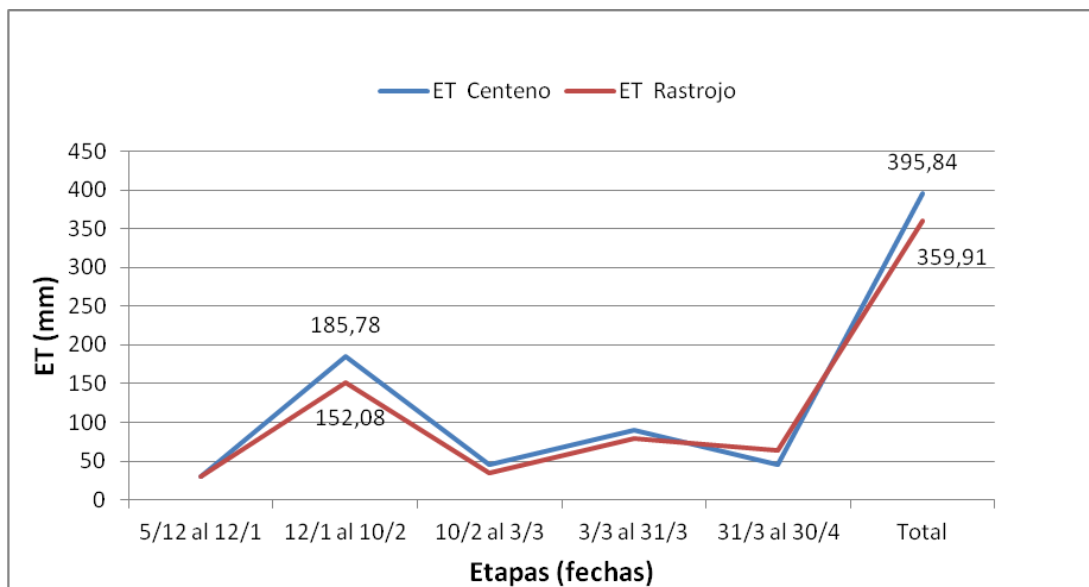


Figura 3. Curva de evapotranspiración del cultivo de maíz en etapas y total, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Se puede visualizar que los valores de ET total y por etapas del maíz sobre el tratamiento con centeno son mayores al tratamiento testigo excepto sobre la finalización del ciclo del cultivo (etapa alrededor de R6) valor atribuido al mayor grado de enmalezamiento (valor alto de cobertura) con especies principalmente gramíneas Pasto Cuaresma (*Digitaria sanguinalis*) y Eleusine (*Eleusine indica*) (datos no mostrados). Baigorria y Cazorla (2010 b) mencionan que los residuos de centeno y vicia provocan una disminución de alrededor de 80 % de la población de malezas. En estudios realizados en otras regiones se reportan reducciones de la población de malezas entre 30 y 90 % dependiendo del sitio y año; Mischler *et al.*, (2010); Zotarelli *et al.*, (2009) citados por Baigorria y Cazorla (2010 b).

La mayor ET del maíz sobre el centeno se atribuye a una mayor lámina de agua disponible (LAD) debido probablemente a una mayor capacidad de captación de agua de lluvia (infiltración) asociada al nivel de cobertura presente al momento de la siembra. Los mayores valores de ET permiten explicar los mayores rendimientos del maíz sobre el tratamiento con cultivo de cobertura. Estos fundamentos coinciden con los encontrados por

Bonvecchi y Cabrera (2010) en el partido de Luján, provincia de Buenos Aires trabajando sobre un ensayo con soja.

Por otro lado se podría inferir que los residuos del CC permitieron una disminución en la evaporación durante los primeros estadios fenológicos del maíz donde la arquitectura del canopeo no cerró el surco redireccionando el agua disponible al flujo transpiratorio. Lu *et al.*, (2000) mencionan que la evaporación puede ser reducida con coberturas vivas como CC que, reasignan el agua potencialmente evaporada al flujo transpiratorio de las plantas.

Por su parte, Baumhardt & Jones (2002) y Bono *et al.*, (2006) citados por (Carfagno *et al.*, 2012) observaron un efecto positivo de los residuos de cobertura sobre la conservación del agua del suelo al reducir las pérdidas por evaporación e incrementar la captación de agua de lluvia. Baigorria y Cazorla (2010 b) consideran que para suelos donde los volúmenes de rastrojo son inferiores, debido a menores rendimientos, el efecto de los CC en la dinámica del agua es muy marcado, dado que el residuo de cobertura provoca una disminución en la temperatura del suelo, disminuyendo la evaporación del mismo.

V. c. Uso Consuntivo, Eficiencia en el Uso del Agua y Costo Hídrico del Centeno

En la Tabla 3 se muestran los parámetros medidos y utilizados para el cálculo del uso consuntivo (UC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH) del centeno.

Tabla 3. Biomasa (kg ha^{-1}), Contenido de agua útil (AU) en mm (120cm) al inicio y final del Cultivo de Cobertura (CC), precipitaciones durante el Cultivo de Cobertura (CC) en mm y AU en mm al momento de la siembra del maíz. Campaña 2010-11, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Biomasa CC	2193 kg ha^{-1}
Agua útil inicio	82,8 mm
Agua útil fin CC	24,45 mm
Agua útil fin Testigo	67,73 mm
Precipitaciones	15,5 mm
Agua útil siembra maíz en CC	120,7 mm
Agua útil siembra maíz en Barbecho	123,5 mm

Las condiciones del ensayo arrojaron un valor de UC de 73,8 mm (Tabla 4). Éste parámetro al tener en cuenta la precipitaciones varía ampliamente según la campaña, el sitio y el ciclo de crecimiento del CC. Scianca *et al.*, (2007 c) obtuvieron valores de UC de entre 88 y 207 mm para diferentes ambientes de la región pampeana arenosa (RPA).

Tabla 4. Uso consuntivo (UC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH) del centeno campaña 2010, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Campaña	UC (mm)	EUA (kg MS.mm ⁻¹)	CH (mm)
2010	73,8	29,7	43,3

Con respecto a la eficiencia de uso del agua (EUA), la misma es un claro indicador de la utilización del recurso bajo determinados sistemas de manejo y de la sostenibilidad de esos sistemas, especialmente en ambientes subhúmedos (Eiza *et al.*, 2009).

Para las condiciones edafoclimáticas del ensayo la EUA fue de 29,7 kg mm⁻¹. Similares resultados fueron encontrados por varios autores como Scianca *et al.*, (2007 c) en la región subhúmeda pampeana sobre suelos Hapludol thapto árgico y Argiudol típico; Eiza *et al.*, (2009) sobre un Hapludol del Oeste de Buenos Aires; Baigorria y Cazorla (2010 a) en un Argiudol típico de la EEA INTA Marcos Juarez. Se puede destacar que el período de crecimiento y las condiciones climáticas condicionan la EUA; en la medida que las condiciones ambientales sean favorables para la producción de materia seca la EUA se verá favorecida.

El costo hídrico (CH) estimado como la diferencia entre el agua útil del barbecho y el agua útil al momento de secado del CC fue de 43,3 mm. Fernandez y Quiroga (2007) obtuvieron valores semejantes de CH trabajando en la EEA INTA Anguil. Por otro lado Baigorria y Cazorla (2010 b) reportaron valores de entre 40 y 80 mm dependiendo las precipitaciones de cada año sobre un Argiudol típico en la EEA INTA Marcos Juarez. Éste parámetro es de importancia ya que la inclusión de CC podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002).

Cabe destacar la fuerte dependencia de este parámetro respecto de las precipitaciones de cada campaña y el período de crecimiento del CC.

V. d. Producción de Biomasa del Centeno

Los efectos negativos de un suelo con escasa cobertura disminuyen no sólo la eficiencia del barbecho, sino la eficiencia del uso del agua (EUA) del cultivo sucesor, con la consiguiente pérdida de potencial de rinde y de renta económica (Anselmi y Feresin, 2012). Por ende, los volúmenes de material vegetal aportados por los cultivos de cobertura son una alternativa de manejo favorable para el suelo, ya que generan protección al mismo y luego de su descomposición formarán parte de la materia orgánica (Ruffo, 2003).

En la Figura 4 se muestra la producción de MS aérea acumulada del centeno (2193 kg ha⁻¹) y las tasas de crecimiento del cultivo (TCC) en el transcurso de su ciclo durante la campaña 2010. Similares resultados de producción de biomasa fueron encontrados en la EEA Inta Anguil (Quiroga *et al.*, 2008). Las TCC medias fueron de 13, 26, 20 y 4 kgMS ha⁻¹

día⁻¹ para las etapas de 33-67-102-138 días desde la siembra. Ésta variación y cambio abrupto en la disminución de la TCC está dada por valores bajos de LAD principalmente. Cabe mencionar que las precipitaciones durante el ciclo del CC (138 días) fueron de 15,5 mm. Los registros normales para ese período ascienden a 77,1 mm. De lo dicho anteriormente se destaca que la producción de materia seca y la TCC, se vieron claramente influenciada por las precipitaciones (campana particular, registros mínimos de humedad en el suelo de una serie de 20 años) en combinación con temperaturas bajas (datos no mostrados) y la fecha de siembra, que en su conjunto determinan la duración del cultivo (tiempo transcurrido entre la siembra y el momento de secado). Por otro lado, si consideramos las precipitaciones de abril como aquellas que permiten recargar el perfil de suelo, podemos ver (Figura 1) que las mismas fueron un 41,6% inferiores a la normal, lo cual también condicionaría el desempeño del CC.

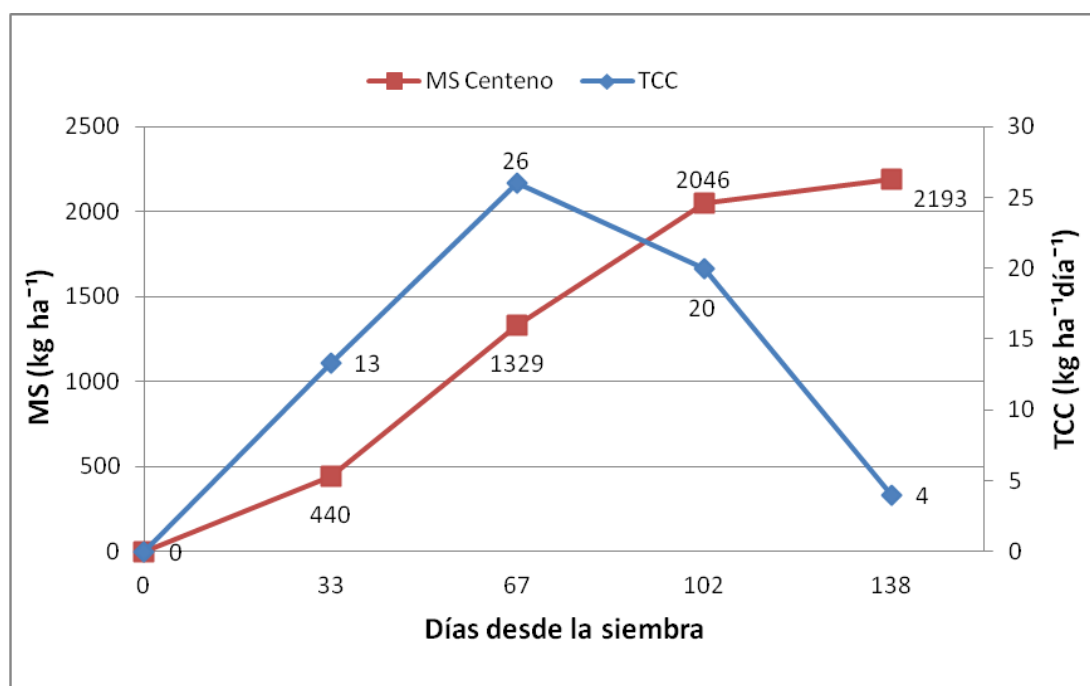


Figura 4. Acumulación de biomasa (kg ha⁻¹) y TCC (kg.ha⁻¹.día⁻¹) de centeno, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

V. e. Producción de Biomasa del cultivo de Maíz

En la Tabla 5 se puede observar los valores de producción de materia seca de maíz sobre ambos tratamientos: testigo (T) y cultivo de cobertura (CC). Como se puede apreciar, en ninguna de las fechas analizadas se encontró diferencia significativa por la inclusión de CC, aunque si se puede destacar una mayor cantidad de biomasa a partir de R₂ (4,7% superior) y un volumen final acumulado de materia seca mayor a cosecha (6,2 %).

Tabla 5. Producción de materia seca (kg/ha) del cultivo de maíz en los diferentes estadios fenológicos sobre ambos tratamientos: testigo (T) y cultivo de cobertura (CC), Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Fecha	F	Materia Seca de Maíz		DMS	CV (%)
		Testigo (kg/ha)	Cultivo de Cobertura (kg/ha)		
29/12/2010	V ₅	477 a	462 a	36,6	7,7
12/01/2011	V ₉	1912 a	1940 a	292,5	15,0
10/02/2011	R ₂	8483 a	8901 a	1432,5	16,3
03/03/2011	R ₃	13745 a	14076 a	1426,8	10,1
31/03/2011	R ₅	15789 a	17780 a	2208,8	13,0
16/05/2011	MC	17867 a	19051 a	1787,4	9,6

Estados fenológicos del maíz según la escala Ritchie y Hanway (Ritchie y Hanway, 1997); V5: 5 hojas desarrolladas; V9: 9 hojas desarrolladas; R1 floración; R3: grano pastoso; R5: grano duro y MC; madurez de cosecha. DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación. En filas, letras distintas indican diferencias significativas según LSD Fisher ($P < 0,05$).

Los asimilatos utilizados para el crecimiento del cultivo provienen de la fijación fotosintética de CO₂ en los tejidos clorofílicos de las plantas. La apertura estomática permite el ingreso de CO₂ siguiendo un gradiente de concentración desde la atmósfera hacia la cámara subestomática produciéndose un flujo de agua en estado de vapor, en sentido inverso (transpiración). La simultaneidad entre los procesos de transpiración y fijación de CO₂ permite considerar la producción de materia seca de un cultivo en función del agua transpirada y de la eficiencia con que la planta la aprovecha en términos de producción de biomasa (Andrade *et al*, 1996).

V. f. Rendimiento

Los valores de rendimiento, número y peso de mil granos del cultivo de maíz se observan en la Tabla 6. El tratamiento con CC obtuvo el mayor rendimiento logrando 10207 kg ha⁻¹, mientras que el rendimiento del tratamiento testigo (barbecho) fue un 18,6 % inferior ($p=0,0003$); ésta diferencia se explica por un mayor número de granos del tratamiento CC ($p=0,0046$). Esta respuesta puede explicarse debido a los mayores valores de ET atribuidos a una mayor disponibilidad de agua útil por una mayor infiltración lograda a partir de los residuos de centeno. A su vez, hubo una mejora en la EUA al relacionar la ET y el rendimiento en grano. Por otro lado la duración del barbecho y las precipitaciones oportunas permitieron despreciar el CH del cultivo de cobertura ya que, a la siembra del cultivo de maíz los perfiles presentaban humedad similar. Sumado a esto, la presencia de CC mejoró la precipitación efectiva debido a una menor escorrentía (72 mm) respecto de la parcela en barbecho (96,72 mm); es decir una diferencia de 34,47 %, lográndose así una mayor disponibilidad de agua para la producción. Éstos fundamentos de la mejora del rendimiento

por la inclusión de centeno como CC coinciden con lo mencionado por Anselmi y Feresin (2012) donde el uso de cultivos de cobertura (CC) de gramíneas invernales incrementaron el nivel de carbono del suelo, mejoraron la eficiencia de barbecho y la EUA ya que aumentan la precipitación efectiva, mejorando la eficiencia global del uso del agua y disminuyendo pérdidas por escorrentías.

Tabla 6. Rendimiento (kg ha^{-1}) y componentes directos (número y peso de mil granos) del cultivo de maíz. Campaña 2010-11, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Tratamiento	Rto. (Kg.ha^{-1})	NG.m ⁻²	P1000 (g)
CC	10207 a	4119 a	248,7 a
T	8309 b	3340 b	251,6 a
DMS	844	496	23
CV (%)	9,02	13,15	9,28

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas según LSD Fisher ($P < 0,05$).

Con respecto a los resultados de rendimientos obtenidos, en la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires, con antecesor vicia como CC el incremento fue de 1.500 kg ha^{-1} , mientras que con centeno superan los 3.500 kg ha^{-1} (Barraco *et al.*, 2009). Fernandez *et al.*, (2007) mencionan que en suelos Hapludoles de la región semiárida pampeana, el efecto de los CC en maíz es notorio, logrando incrementos en el rendimiento de 1.000 a 1.500 kg ha^{-1} .

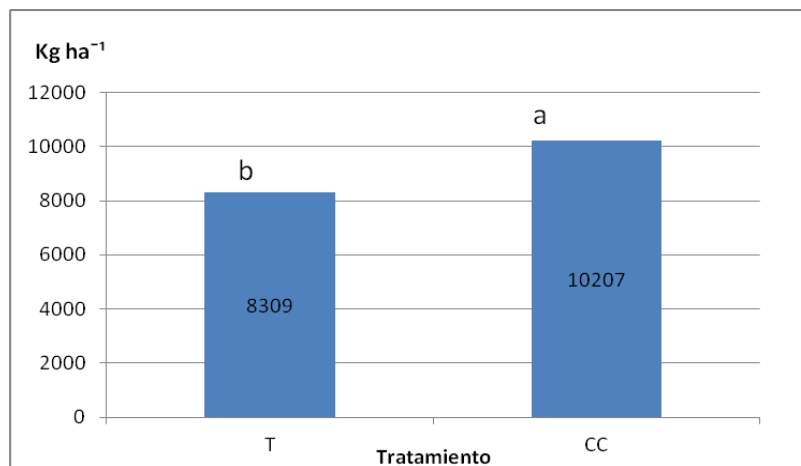


Figura 5. Rendimiento (kg ha^{-1}) del cultivo de maíz. Sobre ambos tratamientos (testigo) y (cultivo de cobertura), Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

El rendimiento en granos depende de la cantidad de agua que el cultivo pueda transpirar, la eficiencia con que usa esa agua para producir materia seca y la proporción de ésta que finalmente es destinada a la formación del grano. Los tres factores mencionados son

afectados por procesos relacionados al balance de agua y el impacto de esos procesos puede ser modificado por determinadas prácticas de manejo (Dardanelli *et al.*, 2003).

En el Tabla 7 se detallan los Índices de Cosecha (IC) y la EUA para ambos tratamientos. Éstos parámetros son estadísticamente significativos a favor del tratamiento con cultivo de cobertura ($p=0,0267$) y ($p=0,0191$) respectivamente.

Con respecto al IC se encontraron valores de 0,54 y 0,47 para el tratamiento con centeno y testigo, respectivamente. Esto muestra que pese a no encontrar valores estadísticamente significativos de materia seca total ($p= 0,1774$), la partición a grano fue mayor. Esta mejora en el IC se puede relacionar con lo mencionado por Sadras y Connor (1991) citados por Dardanelli *et al.*, (2003) dónde demostraron que el IC se relaciona con la proporción de transpiración post antesis. La fracción de agua transpirada post antesis variará en gran medida en función de la distribución de las lluvias en el ciclo y las reservas de agua en el suelo. Al analizar el balance de agua (Tabla 2) se mencionó que solo la etapa (V9-R2) es significativamente diferente, pero se debe considerar que durante el período post-antesis (R2-R4) se observaron valores mayores de ET, que aunque no significativos, podrían explicar lo ocurrido con el IC.

Dardanelli *et al.*, (2003) también mencionan que las prácticas de labranza que aumentan la infiltración de agua en el suelo pueden incrementar el IC, porque el agua adicional almacenada en el perfil se destina principalmente al consumo post antesis. Esto coincidiría con lo explicado en el balance de agua para las condiciones del ensayo, es decir en un aumento en la disponibilidad de agua útil por una mejora en la infiltración debido a los restos de cultivo.

Por otro lado la EUA ($\text{kg grano mm ET}^{-1}$) muestra valores estadísticamente superiores para el tratamiento con CC, lo cual resulta lógico ya que los valores son proporcionalmente mayores y favorables para ambas variables.

Tabla 7. Índice de Cosecha (IC) y eficiencia del Uso del Agua (EUA) ($\text{kg grano. mm ET}^{-1}$) del cultivo de maíz. Campaña 2010-11, Establecimiento San Beltrán (Río Cuarto, Córdoba).

Tratamiento	IC	EUA($\text{kg grano. mm ET}^{-1}$)
Cultivo de Cobertura	0,54 a	25,79 a
Testigo	0,47 b	23,09 b
DMS	0,059	2,18
CV (%)	11,73	8,85

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas según LSD Fisher ($P < 0,05$).

VI. CONCLUSIONES

Para las condiciones particulares del ensayo, es factible la inclusión de centeno como cultivo de cobertura a manera de intensificar la rotación permitiendo aumentar la cantidad de rastrojos que protejan el suelo y generen beneficios en la dinámica del agua principalmente aumentando la infiltración, en detrimento del escurrimiento y por ende mayor lamina de agua disponible.

La inclusión de CC generó respuesta positiva en el rendimiento del cultivo sucesor (maíz) a través de un mejor aprovechamiento del agua de lluvia, es decir una mejora en la EUA cumpliéndose la hipótesis formulada.

Es de destacar la importancia de éste tipo de estudios en la Región Semiárida Pampeana con el objetivo de mejorar los sistemas de cultivo a través de la diversificación y prácticas de manejo que contemplen conciencia ambiental en la utilización de los recursos suelo-agua.

Queda abierto el interés y otros estudios en detalle sobre los tiempos de cultivo, tiempos de barbecho, mejoras en las condiciones de suelo sobre la dinámica del agua, etc. que logren generar información de manera que resulte más predecible la inclusión de estas prácticas conservacionistas en los sistemas de producción actuales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, C. y C. SCIANCA. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas. Boletín para profesionales. Jornada profesional agrícola. 28 y 29 de septiembre de 2006.
- ALVAREZ, C., C. SCIANCA., M. BARRACO., y M. DIAZ-ZORITA. 2006. Inclusión de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja. En: www.inta.gov.ar/villegas/info/indices/tematica/suelos.htm. Consultado: 15/05/10.
- ANDRADE, F., A. CIRILO., S. UARTH Y M. OTEGUI. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Requerimientos Hídricos. Capítulo5. Pág 121-146.
- ANSEMI, H. y P. FERESIN. 2012. Efecto de cultivos de cobertura sobre soja en un suelo de La Carlota. En: <http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-cultivos-de-cobertura-sobre-soja-en-un-suelo-de-la-carlota.-campana-2011-12> Consultado: 2/09/12.
- BAIGORRIA, T y C. CAZORLA. 2010 a. Eficiencia en el uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio de 2010.
- BAIGORRIA, T y C. CAZORLA. 2010 b. Antecesoros de maíz: barbecho o cultivos de cobertura? EEA INTA Marcos Juárez. Jornada cultivos de cobertura. Agosto 2010
- BALBOA, G. 2007. Relación entre el índice diferencial de vegetación (NDVI) y el rendimiento en grano de maíz (*Zea mays L.*), fertilizado con nitrógeno en diferentes zonas de manejo. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Río Cuarto, Argentina. 40 p.
- BARRACO, M.; ÁLVAREZ, C y SCIANCA, C. 2009. Aporte de especies utilizadas como cultivos de cobertura. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía Blanca, 10 y 11 de agosto de 2009.
- BENNIE, A & M. HENSLEY. 2001. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *Journal of Hydrology*. 241: 124-139.
- BOCCOLINI, M., B. AIMETTA., C. LORENZON., C. CAZORLA., T. BAIGORRIA., B. CONDE., y V. FAGGIOLI. 2010. Resultados preliminares sobre el efecto de cultivos de cobertura y la fertilización en propiedades del suelo relacionadas al ciclo del nitrógeno. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.
- BOLLERO, P. 2005. El uso ambiental de los cultivos de cobertura en el medio-oeste norteamericano. En: www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/17/11AM17.htm. Consultado: 20/07/10.

- BONVECCHI, V.E. y A.E. CABRERA. 2010. Cultivo de cobertura y duración del barbecho en sistemas agrícolas pampeanos. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, del 16 al 20 de abril de 2012.
- CARFAGNO, P. 2008. Cultivos de cobertura en agricultura de secano en la región pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Instituto de suelos INTA Castelar. En: www.insuelos.org.ar/Informes/CultivosSecano.pdf. Consultado: 20/07/10.
- CARFAGNO, P., M. EIZA., A. QUIROGA., y F. BABINEC. 2008. Cultivos de cobertura: efectos sobre la dinámica del agua en el suelo. En: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Potrero de los Funes (San Luis), 13 al 16 de mayo de 2008. Buenos Aires: AACCS. 1 CD)
- CARFAGNO, T., M. J. EIZA, A. QUIROGA y F. BABINEC. 2012. Disponibilidad de agua en monocultivo de soja con cultivos de cobertura. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, del 16 al 20 de abril de 2012.
- CISNEROS, J; A. CANTERO y C. CHOLAKY. 2000. Uso y Manejo de Suelos. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. Río Cuarto, Córdoba. p: 41
- DARDANELLI, J., D. COLLINO., M.E. OTEGUI y V.O SADRAS. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: SATORRE, E., R. BENECH ARNOLD., G. SLAFER., E. de la FUENTE., D. MIRALLES., M. OTEGUI., R. SAVIN. *Producción De Granos*. Ed. FAUBA. Cap. 16. p. 377-440.
- DI RENZO, J.A, F. CASANOVES., M.G. BALZARINI., L. GONZALES., M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DING, G., X. LIU., S. HERBERT., J. NOVAK., A. DULA y B. XING. 2005. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*. Article in Press.
- DUARTE, G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda argentina. En manual práctico para el cultivo de girasol. Editores Díaz-Zorita M. y Duarte G., 2002. 313 pp.
- EIZA, M. y P. CARFAGNO. 2009. Un aporte a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En: www.cpia.org.ar/download/agropost. Consultado: 15/05/10.
- EIZA. M.J., P.F. CARFAGNO y A. QUIROGA. 2009. Eficiencia en el uso del agua de distintos cultivos de cobertura en el oeste de la provincia de Buenos Aires. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.

- ESPOSITO, G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a distintos sistemas de labranza en cultivo de maíz. Tesis Magister en Producción Vegetal. FAV-UNRC.
- FERNANDEZ, R. y A. QUIROGA. 2007. Cultivo de cobertura. Costo hídrico de su inclusión en sistemas mixtos. En: http://www.concienciarural.com.ar/agricultura/cultivo-de-cobertura-costo-hidrico-de-su-inclusion-en-sistemas-mixtos_a3857 Consultado: 5/06/10.
- FERNANDEZ, R., A. QUIROGA., F. ARENAS., C. ANTONINI y M. SACKS. 2007. Contribución 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. Capítulo V.
- FERNANDEZ, R., D. FUNARO y A. QUIROGA. 2005. Influencia de cultivos de cobertura en el aporte de residuos, balance de agua y contenido de nitratos. Boletín de divulgación técnica N° 87. Aspectos del manejo de los suelos en sistemas mixtos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana.
- GALARZA, C., C.CAZORLA y F. BONACCI. 2010. Influencia de los cultivos de cobertura en algunas propiedades físicas del suelo en sistemas agrícolas en siembra directa. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. P: 59. Rosario. Argentina.
- HOYT, G., M. WAGGER., C. CROZIER y N. RANELLS. 2004. Soil Facts: Winter annual cover crops. North Carolina (EE.UU): NC State University Cooperative Extension Service. 9 p.
- ISLAM, N., W. WALLENDER., J. MITCHELL., S. WICKS & R., HOWITT. 2006. A comprehensive experimental study with mathematical modeling to investigate the effects of cropping practices on water balance variables. Agricultural Water Management 82: 129-147.
- LU, Y.C., K.B. WATKINS., J.R. TEASDALE & A.A. ABDUL-BAKI. 2000. Cover crop in sustainable food production. Food Rev. Int. 16: 121-157.
- MARCOS, J. 2000. Simulation based assessment of alternative crop in the dryland Pacific Northwest. Thesis of Ph. D. in Soils. Washington State University. Department Crop and soils sciences. USA.
- PEREZ, M. y C. SCIANCA. 2009. Efecto de los cultivos de cobertura sobre las poblaciones de malezas en un Hapludol thapto árgico del NO bonaerense. En: www.inta.gov.ar/villegas/info/indices/tematica/suelos.htm. Consultado: 15/05/10.
- QUIROGA, A., R. FERNANDEZ., I. FRASIER y C. SCIANCA. 2008. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. EEA INTA Marcos Juárez. Jornada cultivos de cobertura. Agosto 2010

- RITCHIE, W y J. HANWAY. 1997. How a corn plant develops. Special Reports N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. 21 p.
- RUFFO, M. 2003 Factibilidad de inclusión de cultivos de cobertura en Argentina. Actas XI Congreso de AAPRESID: 171-176.
- RUFFO, M y A. PARSON. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. En: www.ipni.net/ppiweb/iaarg.../Cultivo+Cobertura-Matias+Ruffo.pdf. Consultado: 25/05/10
- SCIANCA, C. C. ALVAREZ., M. BARRACO., M. PEREZ y A. QUIROGA. 2007 a. Cultivos de cobertura: aporte de nutrientes y rastrojo de las diferentes especies. En: www.inta.gov.ar/villegas/info/indices/tematica/suelos.htm. Consultado: 15/05/10.
- SCIANCA, C., C. ALVAREZ., M. BARRACO., M. PEREZ y A. QUIROGA. 2007 b. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos. Aporte de carbono y dinámica de malezas. Actas de XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta y Jujuy, 19-22 de septiembre del 2006.
- SCIANCA, C., C. ÁLVAREZ, M. BARRACO y A. QUIROGA. 2007 c. Centeno utilizado como cultivo de cobertura en diferentes ambientes de la región pampeana. En: memoria técnica 2008-2009. General Villegas: Ediciones INTA pp. 29-34.
- SEILER, R., R. FABRICIUS, V. ROTONDO y M. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto – 1974 / 1993. Volumen I. UNRC. p: 41
- SMITH, M., W. FRYE., y J. VARCO. 1987. Legume winter cover crops. En: Stewart, B.A. (Ed.) Advances in soil Science, vol 7. New York: Springer-Verlag. pp. 95-139.)
- STIPESEVIC, B & E. J. KLADIVKO. 2005. Effects of winter wheat cover crop desiccation times on soil moisture, temperature and early maize growth. Plant Soil Environ. 51: 255-261
- VARELA, M., P. L. FERNÁNDEZ., G. RUBIO y M. A. TABOADA. 2010. ¿Mejora la macroporosidad y la estabilidad estructural de los suelos limosos luego de la incorporación de cultivos de cobertura? Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010
- WANDER, M y S. TRAINA. 1996. Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 60, 1081– 1087.
- ZADOKS, J., CHANG, T. y C. KONZAK. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14: pp 415-421.

VIII. ANEXO

VIII. i. PERFIL DEL SUELO

Los datos de suelo del lote particular donde se realizó el ensayo se obtuvieron de (Balboa, 2007) quien experimentalmente los determino mediante una calicata. La descripción del perfil del suelo que se detalla en el tabla 8.

Tabla 8. Perfil del suelo Establecimiento San Beltrán, Río Cuarto (Córdoba).

<i>Horizonte</i>	<i>Profundidad (cm)</i>	<i>Arcilla (%)</i>	<i>Limo (%)</i>	<i>Arena (%)</i>
Ap	0 – 11	17	35	48
A2	11 – 20	17	35	48
AB	20 – 30	17	33	50
Bw1	30 – 47	15	33	50
Bw2	47– 57	14	32	54
BC	57 – 68	12	31	57
C	68 –	8	30	62

Fuente: Balboa, 2007

La Tabla 8 muestra la descripción del perfil del suelo donde se llevo a cabo el ensayo. Los datos de granulometría, sus diferentes fracciones, se utilizaron para obtener las constantes hidrofísicas del suelo CC y PMP mediante la incorporación de las mismas al software Soil Water Characteristics. Con ambos parámetros y con la DAP también adaptada de (Balboa, 2007) mediante el método del cilindro se pudo calcular la lámina de agua útil disponible.

Debido a que los muestreos de suelo hasta 1,20 m de profundidad se obtuvieron sobre estratos de 0,20 m, se ponderaron las constantes de los horizontes determinados, con los estratos para poder llevar a cabo los cálculos correspondientes.



Foto 1: Ubicación del ensayo. Establecimiento San Beltrán, Río Cuarto, Córdoba. Imagen satelital Digital Globe, Google Earth (Fecha 16/06/2009)



Fuente (Balboa, 2007)

Foto 2: Ensayo San Beltrán: Perfil del suelo calicata en zona de manejo Productividad Media



Foto 3: Centeno luego del momento de secado en ensayo San Beltrán, Río Cuarto, Córdoba

