

EFECTO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN TRES MOMENTOS DE SECADO SOBRE USO CONSUNTIVO DEL AGUA, DINÁMICA DE NITRÓGENO Y EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ TARDÍO

Kette Eberle, Lucas D.¹, Maceda, Nicolás E.¹, Kloster, Nancy²,
Pérez, Micaela², Fernández, Romina² y Quiroga, Alberto^{1,2}

1 Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía. La Pampa, Argentina.
2 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA "Ing. Agr. Guillermo Covas". Anguil,
La Pampa, Argentina.
@ fernandez.romina@inta.gob.ar

Recibido: 18/03/2021
Aceptado: 15/06/2021

RESUMEN. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los momentos de secado del cultivo de cobertura (CC) sobre el rendimiento de un maíz tardío, bajo la hipótesis de que a medida que se atrasa la fecha de secado será mayor la captura de carbono (C), menor la cantidad de agua disponible para el cultivo subsiguiente, mayor la cantidad de nitrógeno (N) inmovilizado en la biomasa (mayor relación C/N del CC). Para ello se estableció un ensayo en parcelas divididas, donde la parcela principal fue la fecha de secado y la secundaria la fertilización nitrogenada. Se establecieron tres fechas de secado: 1ra fecha de secado (julio), 2da fecha de secado (agosto) y 3ra fecha de secado (septiembre), a su vez, cada parcela se dividió a la mitad para establecer tratamientos con y sin fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Se determinó agua total (AT), producción aérea, carbono y nitrógeno de biomasa aérea (C/N), biomasa de raíces, uso consuntivo (UC), eficiencia del uso del agua (EUA) contenido de nitrógeno de nitratos y rendimiento de maíz. Los resultados obtenidos en el tratamiento 1ra fecha de secado fueron: producción de biomasa aérea del CC de 3015 Kg MS.ha⁻¹, producción de biomasa radicular del CC de 1765 Kg.ha⁻¹, UC de 237 mm, EUA de 12,2 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ y rendimiento de maíz de 6566 Kg.ha⁻¹. Para el tratamiento 2da fecha de secado fueron: producción de biomasa aérea del CC de 5060 Kg MS.ha⁻¹, producción de biomasa radicular del CC de 6352 Kg.ha⁻¹, UC de 260 mm, EUA de 20 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ y rendimiento de maíz de 6450 Kg.ha⁻¹. Por último, para el tratamiento 3ra fecha de secado fueron: producción de biomasa aérea del CC de 8252 Kg MS.ha⁻¹, producción de biomasa radicular del CC de 4000 Kg.ha⁻¹, UC de 347 mm, EUA de 24,2 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ y rendimiento de maíz de 5931 Kg.ha⁻¹. El momento de secado del CC tuvo influencia sobre el rendimiento de maíz en la Región Semiárida Pampeana, ante un régimen de humedad del tipo ústico, propio de dicha región.

PALABRAS CLAVE: entisol; región semiárida; eficiencia uso del agua.

ABSTRACT. COVER CROPS EFFECT AT THREE DRYING MOMENTS ON CONSUMPTIVE WATER USE, NITROGEN DYNAMICS, AND LATE CORN CROP YIELD. In order to evaluate the effect of when we kill the cover crop on the yield of a late corn, under the hypothesis that as the desiccate date is delayed, it will increase the carbon sequestration the amount of nitrogen (N) immobilized in the biomass (lower C/N ratio) and weed suppression and it will reduce the water soil storage for the next crop. Trials established in completely randomized blocks with four repetitions of the following treatments: 1st drying date (july), 2nd drying date (august) and 3rd drying date (september), in turn, each plot was divided in half to establish treatments with and without nitrogen fertilization in the corn crop. Total water (AT), aerial production and carbon and nitrogen; root biomass production, consumptive use (UC), water use efficiency (WUE) and nitrogen availability and yield were determined. The results obtained in the treatment of the 1st drying date were: production of air biomass of the CC

of 3015 Kg MS.ha⁻¹, production of root biomass of the CC of 1765 Kg.ha⁻¹, UC of 237 mm, USA of 12.2 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ and corn yield of 6566 Kg.ha⁻¹. For the treatment 2 nd drying date were: production of aerial biomass of the CC of 5060 Kg MS.ha⁻¹, production of root biomass of the CC

Cómo citar este trabajo:

Kette Eberle, L. D., Maceda, N. E., Kloster, N., Pérez, M., Fernández, R. y Quiroga, A. (2022). Efecto de los cultivos de cobertura en tres momentos de secado sobre uso consuntivo del agua, dinámica de nitrógeno y el rendimiento del cultivo de maíz tardío. *Semiárida*, 32(1), 41-52.



Kette Eberle, L. D., Maceda, N. E., Kloster, N., Pérez, M., Fernández, R. y Quiroga, A.

of 6352 Kg.ha⁻¹, UC of 260 mm, USA of 20 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ and corn yield of 6450 Kg.ha⁻¹. Finally, for the treatment of the 3rd date of drying were: production of aerial biomass of the CC of 8252 Kg MS.ha⁻¹, production of root biomass of the CC of 4000 Kg.ha⁻¹, UC of 347 mm, USA of 24.2 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ and corn yield of 5931 Kg.ha⁻¹. The drying time of the CC have an influence on the yield in the Pampean Semi-Arid Region, given a moisture regime of the Udic type, typical of that region.

KEYWORDS: entisol; semi-arid region; water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, muchos suelos de la Región Semiárida Pampeana (RSP) han sido sometidos a altas presiones de manejo superando en muchos casos su capacidad de uso. Esto ha contribuido a desencadenar serios conflictos entre el manejo y los recursos naturales: agua y suelo. El aumento en los procesos de degradación física y la pérdida por erosión (Quiroga et al., 2015), han condicionado menores rendimientos y eficiencia de utilización de los recursos. Actualmente, existe conciencia y coincidencia en la necesidad de recuperar parte de esos atributos del suelo que fueron modificados negativamente.

Los cultivos de cobertura (CC), gramíneas y/o leguminosas, han sido difundidos ampliamente debido a la posibilidad de brindar numerosos servicios ecosistémicos (Canqui et al., 2015). Entre ellos se cita: reducir o atenuar la pérdida de carbono (C) en el suelo, prevenir la erosión, aumentar la infiltración, capturar nutrientes y reducir la contaminación de napas, contribuir al control de malezas, entre otros. Estos cultivos no son de renta directa y crecen fuera de estación (durante el barbecho) dentro de una secuencia continua de cultivos anuales de verano (Reeves et al., 1993).

Dentro de los factores de manejo de los CC que condicionan el aporte de materia seca se encuentran la elección de la especie, el momento de secado y la fertilización nitrogenada (Baigorria et al., 2015; Varela et al., 2017).

Las gramíneas utilizadas como CC poseen una mayor influencia sobre la condición física de los suelos mientras las leguminosas inciden en mayor grado sobre la dinámica del nitrógeno (N). Los CC tienen la capacidad de secuestrar nitrógeno que se libera por mineralización de la materia orgánica (MO) y residuos del cultivo

previo, disminuyendo las pérdidas potenciales durante el barbecho. Dependiendo del manejo y momento de secado (relación C/N), es posible que ese N capturado quede retenido en la biomasa del CC (inmovilizado), o se libere quedando disponible para el cultivo siguiente. El aporte de N proveniente de los CC dependerá de la producción total de materia seca y de la concentración de N en su biomasa (Frasier et al., 2016a). Allison (1966) indica que cuando la relación C/N al momento de secado se sitúa entre los valores de 25 y 30, hay un equilibrio entre mineralización e inmovilización.

Los CC disminuyen el agua en el suelo en su etapa de crecimiento y conservan agua cuando finalizan su ciclo (Unger & Vigil, 1998). Fernández et al. (2012) en un trabajo llevado adelante en la RSP, concluyeron que los CC fueron capaces de reducir las pérdidas de agua almacenada a través de la evaporación no solamente durante el barbecho, sino también entre la siembra y la floración del cultivo estival. No obstante, pueden comprometer el almacenamiento del agua entre la fecha del secado y la siembra del cultivo subsiguiente, si el momento de secado se atrasa, disminuyendo el rendimiento de los cultivos estivales. Debido a ello uno de los aspectos más importantes a considerar cuando se introducen CC en la rotación es determinar el momento de secado de los mismos. La información sobre momentos de secado y los distintos efectos/consecuencias sobre el cultivo sucesor han sido poco estudiados. La mayor atención se ha prestado en establecer momentos de secado que posibiliten la recarga de agua del perfil para no condicionar los rendimientos del cultivo sucesor. No menos importante es planificar también el momento de entrega de la mayor parte de los nutrientes contenido en la biomasa aérea y de raíces de los cultivos de cobertura. Es decir “sincronizar” la oferta de

nutrientes con los requerimientos del cultivo sucesor.

Hipótesis

A medida que se atrasa la fecha de secado del CC será mayor la captura de C, menor la cantidad de agua disponible para el cultivo subsiguiente y mayor la cantidad de N inmovilizado en la biomasa (alta relación C/N).

Los rendimientos de maíz podrían ser afectados por la menor oferta hídrica y por la mayor inmovilización de N a medida que se atrasa la fecha de secado.

Objetivos

Evaluar el efecto de los distintos momentos de secado de la consociación vicia-centeno como CC sobre la acumulación de biomasa total (aérea y radicular), el UC y la oferta de N para el cultivo sucesor. Evaluar el rendimiento del cultivo de maíz en los distintos momentos de secado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se condujo en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil “Guillermo Covas” ubicada en la planicie medanosa, más precisamente en la parte sur de la misma (coordenadas del ensayo, 36° 32’ 17.40 S y 63° 59’ 39.32 O). En general la zona posee suelos profundos, con secuencias de horizontes A, AC, C con contenidos de arena superiores al 80 %. La precipitación media anual es 769 mm (+/- 194,5 mm) para el periodo 1973-2017, siendo la distribución estacional 36,5 % verano, 26 % otoño, 9 % invierno y 28,5 % primavera.

Durante el mes de marzo de 2018, se seleccionó un lote destinado al cultivo de maíz donde en abril (2018) se estableció centeno (*Secale cereale*) con vicia (*Vicia villosa*) como cultivo de cobertura. Se utilizó una densidad de siembra de 24 kg.ha (80 plantas.m⁻²) de centeno var. Quehué y

26 kg.ha⁻¹ (40 plantas.m⁻²) de *Vicia villosa*, a una distancia entre líneas de 17,5 cm y fueron secados en tres momentos mediante la aplicación de 2,5 litros.ha⁻¹ de Glifosato (66 %).

Para evaluar el efecto de tres momentos de secado del CC sobre la captura de carbono y relación C/N de la biomasa aérea se dispusieron los tratamientos en bloques al azar con cuatro repeticiones. Al respecto, se delimitaron 12 parcelas (100 m² cada una) para establecer los tres momentos de secado. Luego de los barbechos (corto, medio y largo) y la siembra del cultivo de maíz se establecieron parcelas divididas para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Para evaluar los CC se realizó un análisis de la varianza y separación de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS, p<0,05). Para evaluar rendimiento de maíz y sus componentes se utilizaron modelos mixtos para diseño en bloques completos con parcelas divididas.

El diseño del ensayo durante el cultivo de maíz se detalla en la Figura 1. Los momentos de secado fueron, 1era fecha de secado: 30/07/2018 (T1), 2da fecha de secado: 30/08/2018 (T2), 3era fecha de secado: 30/09/2018 (T3)

Determinaciones

En estratos de 20 cm de espesor y hasta 200 cm de profundidad se determinaron los contenidos de agua (método gravimétrico) al momento de la siembra y en los distintos momentos de secado de los CC. El agua

		Bloque 1			Bloque 2			Bloque 3			Bloque 4		
Maíz tardío	Sep I s/N	Ago I c/N	Jul I c/N	Ago II s/N	Jul II c/N	Sep II s/N	Sep III c/N	Ago III c/N	Jul III s/N	Sep IV c/N	Ago IV c/N	Jul IV s/N	
	Sep I c/N	Ago I s/N	Jul I s/N	Ago II c/N	Jul II s/N	Sep II c/N	Sep III s/N	Ago III s/N	Jul III c/N	Sep IV s/N	Ago IV s/N	Jul IV c/N	
Parcela	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

⇔ N

Figura 1. Diseño del ensayo (con los distintos tratamientos) y momento de secado del cultivo de cobertura. Jul: julio; Ago: agosto; Sep: septiembre, y fertilización nitrogenada con N (c/N) y sin N (s/N).

Figure 1. Design of the trial (with different treatments) and time of drying of the cover crop. Jul: july; Aug: august; Sep: september, and nitrogen fertilization with N (c / N) and without N (s / N).

disponible (AD) se expresó en mm para cada estrato, afectando el porcentaje de humedad por la densidad aparente y restando el contenido de agua en punto de marchitez permanente (PMP).

$$AD = AT - PMP$$

Donde AT = Agua Total, PMP = Punto de Marchitez Permanente. Unidad mm.

Además, se calculó el uso consuntivo (UC) de los cultivos de cobertura, mediante la siguiente formula:

$$UC = AUI + PP - AUF$$

Donde AUI = Agua Útil Inicial, AUF = Agua Útil Final, PP = Precipitaciones. Unidad: mm.

En el estrato de suelo de 0-60 cm se determinaron los contenidos de N de nitratos (NO₃⁻) mediante el método del ácido cromotrópico, en cada momento de secado a floración y cosecha de maíz.

En cada momento de secado de los CC se cuantificó la Materia Seca (MS) de la biomasa aérea, para lo cual se realizaron cortes sobre una superficie de 0,25 m² por parcela y fueron secados en estufa a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Se determinó la eficiencia en el uso del agua (EUA) mediante el cociente entre la MS y el UC durante el periodo a evaluar.

$$EUA = MS / UC$$

Además, en cada momento de secado, se determinó biomasa de raíces hasta 1 m de profundidad. Se utilizó el método descrito por Frasier et al. (2016b). En biomasa aérea se determinó el contenido de carbono (C) y nitrógeno (N) para poder obtener la relación C/N en los diferentes momentos de secado, mediante combustión seca empleando un equipo LECO (Truspec).

En madurez fisiológica del cultivo de maíz se cosechó de forma manual

sobre una superficie de 4,2 m².

Durante el periodo comprendido de estudio se registraron las precipitaciones en la estación meteorológica de la EEA INTA Anguil, distante 200 m del sitio experimental.

RESULTADOS

Precipitaciones

En la Figura 2 se presentan las precipitaciones acumuladas desde la siembra del CC hasta la primera fecha de secado (30-Jul), segunda fecha de secado (30-Ago) y hasta la tercera fecha de secado del CC (30-Sep). Luego se presentan las precipitaciones hasta la siembra y por ultimo hasta cosecha del cultivo de maíz. Las precipitaciones durante la experiencia fueron similares a las históricas hasta la tercera fecha de secado del CC. No obstante, debido a las mayores precipitaciones registradas desde octubre a diciembre (barbecho más corto) fue superior el agua acumulada en el total del periodo evaluado (519,2 mm desde abril a diciembre) con respecto al promedio histórico (404,7 mm).

Agua total en el suelo

En general entre 1,60 y 1,80 m, se determinaron valores de humedad por encima de la capacidad de campo por aporte de la napa freática. El agua total a la siembra del CC (inicio

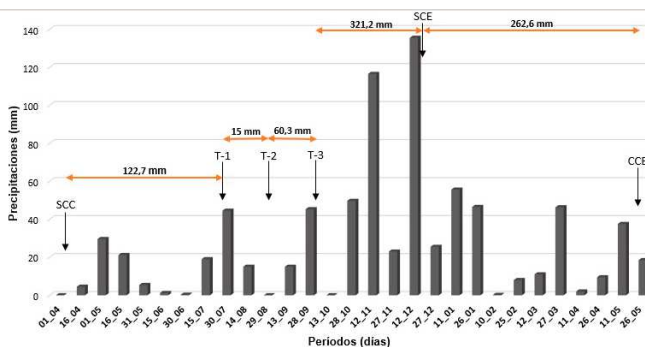


Figura 2. Precipitaciones acumuladas en los distintos periodos desde la siembra del CC (04-04) hasta la cosecha del maíz (21 – May). SCC: siembra del cultivo de cobertura, T1: primera fecha de secado, T2: segunda fecha de secado, T3: tercera fecha de secado, SCE: siembra del cultivo estival, CCE: cosecha del cultivo estival.

Figure 2. Accumulated rainfall in the different periods from the CC sowing (04-04) to the corn harvest (21 – May). SCC: cover crop sowing, T1: 1st drying date, T2: 2nd drying date, T3: 3rd drying date, SCE: planting of the summer crop, CCE: harvest of the summer crop.

de la experiencia) hasta los 2 m fue de 260 mm y correspondió a capacidad de campo.

En la Figura 3 se encuentra representado los resultados del agua total obtenidos durante la experiencia. En T1 y T2 el contenido de agua total se encontró cerca de los 400 mm. En T3, se observaron diferencias significativas para agua total entre tratamientos ($p < 0,10$), siendo el agua total mayor en los tratamientos correspondientes a T1 y T2 con respecto a T3. Este resultado coincide con el obtenido por Carfagno et al. (2012) donde el secado tardío (septiembre) mostró una marcada disminución del contenido de agua debido al mayor consumo que el resto de los tratamientos en los cuales solo había residuos de CC en superficie. A su vez no hubo diferencias entre la primera y segunda fecha de secado.

Las altas precipitaciones (350 mm) que se registraron en primavera permitieron la recarga el perfil. Sin embargo, en la siembra del cultivo estival fueron significativas las diferencias ($p < 0,10$) para agua total, donde la tercera fecha de secado del CC presentó mayor contenido de agua que la primera fecha de secado. Este resultado podría explicarse por la mayor cobertura de suelo por parte del secado intermedio y tardío, a diferencia del secado

temprano donde la escasa cobertura favorece una mayor evaporación y también una mayor presencia de malezas que pueden condicionar un menor almacenaje de agua en el perfil.

Por último, al momento de la cosecha de maíz el contenido de agua total fue mayor en la segunda (388 mm) y tercera fecha de secado (389 mm) con respecto a la primera fecha (370 mm) sin ser significativa esta diferencia ($p < 0,10$).

Producción de biomasa aérea del CC

La producción de biomasa aérea, en la primera fecha de secado (30-Jul) fue 3015 kg MS.ha⁻¹, de los cuales 87 kg MS.ha⁻¹ correspondieron a la leguminosa (Figura 4). A partir de la segunda fecha de secado (30-Ago) se observaron diferencias significativas entre el tratamiento de primera fecha de secado, 2755 kg MS.ha⁻¹, de los cuales tan solo 8,3 kg MS.ha⁻¹ correspondieron a vicia, evidenciando un acelerado proceso de mineralización. En esta fecha de secado, se acumuló en promedio 5060 kg MS.ha⁻¹ (308 kg MS.ha⁻¹ correspondieron a vicia). En la última fecha de secado se evidenció una diferencia significativa entre tratamientos, con producciones de biomasa de 2362, 5000 y 8292 kg MS.ha⁻¹ para T1, T2 y T3, respectivamente.

A la siembra del cultivo de maíz los residuos en superficie fueron de 2000 kg MS.ha⁻¹, 2264 y 4757 kg MS.ha⁻¹ para T1, T2 y T3, respectivamente (Figura 4). Los resultados son similares a los hallados por Servera et al. (2016) donde encontraron diferencias significativas en la biomasa aérea del CC secado en julio (2930 kg.ha⁻¹) respecto a los secados en agosto (4073 kg.ha⁻¹) y septiembre (4106 kg.ha⁻¹). Durante el ciclo del cultivo de maíz (muestreo del 1 de febrero de 2019) el contenido de MS (residuos

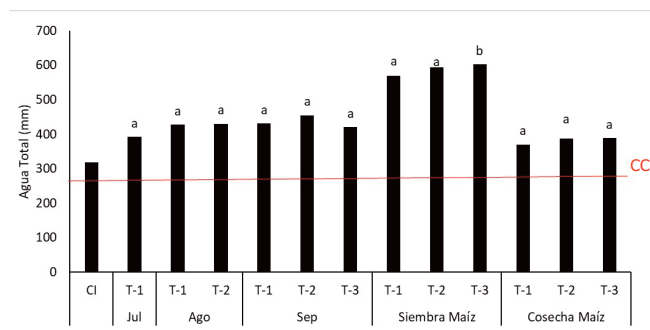


Figura 3. Agua total durante el ciclo del cultivo de cobertura, CI: contenido inicial, T1: primer secado del CC, T2: segundo secado del CC, T3: Tercer secado del CC. Julio: Jul, agosto: Ago, septiembre: Sep. Las diferencias dentro de cada fecha de muestreo denotan diferencias significativas ($p < 0,10$). CCa: capacidad de campo

Figure 3. Total water during the cover crop cycle (5 - Apr CC planting, 30 - Jul first drying date, 30 - Aug second drying date, 30 - Sep third drying date). In corn cultivation (11 - Dec sowing and 21 - May harvest). CI: Initial content, T1: 1st drying date, T2: 2nd drying date, T3: 3rd drying. The differences within each sampling date denote significant differences ($p < 0,10$). CC: field capacity

remanentes sobre el suelo) fue de 428, 1900 y 3963 Kg.ha⁻¹ para T1, T2 y T3, respectivamente.

La Figura 5 presenta la evolución del contenido de biomasa aérea seca en superficie. Luego de los 117 días (inicio barbecho largo) y cumpliéndose con la primera fecha de secado, el T1 comienza con su descomposición a la vez que los dos tratamientos restantes continúan acumulando biomasa. Lo mismo sucede con el T2 a los 148 días (inicio de barbecho medio) y con el T3 a los 177 días (inicio de barbecho corto). A floración del cultivo de maíz la biomasa remanente fue de 14,8 % en T1, 38,4 % en T2 y 47,8 % en T3.

En la Figura 6 se representa el contenido de C y N para los diferentes tratamientos. El primer secado (30-Jul) presentó un contenido de C de 1188 Kg.ha⁻¹ y N de 66 Kg.ha⁻¹. El segundo secado (30-Ago) contenía 2281 kg ha⁻¹ de C y 81 kg.ha⁻¹ de N y el tercer secado (30-Sep) arrojó valores de 3731 kg.ha⁻¹ de C y 99 kg.ha⁻¹ de N. Estos valores de N (66 y 99 kg.ha⁻¹) estarían comprendidos en el rango de contenidos de N en biomasa de gramíneas (51,3 a 111,4 kg.ha⁻¹ de N) expuesto por Kramberger et al. (2009) y Fernández et al. (2020).

En el primer secado la relación C/N fue 18, en el segundo secado fue 28 y en el tercer secado fue 37. Ruffo y Bollero (2006) registraron relaciones C/N de 28 para centeno utilizado como CC. Los

secados más tempranos arrojan valores menores, debido a que el CC se encuentra en estado vegetativo, con mayor contenido proteico y menor porcentaje de fibra en su biomasa. Es importante que los residuos de CC liberen los nutrientes en el tiempo suficiente para que puedan ser utilizados por el cultivo subsiguiente, de esta forma se podrían disminuir los requerimientos de fertilización nitrogenada y

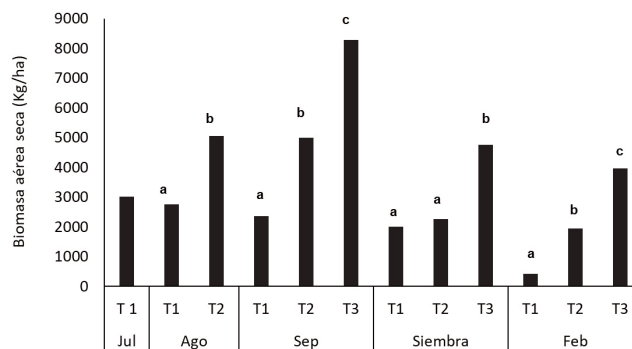


Figura 4. Biomasa aérea seca (kg.ha⁻¹) en cinco cortes correspondiente a cada fecha de secado del CC, siembra del cultivo estival y durante el cultivo estival. Letras diferentes dentro de cada fecha de muestreo indican diferencias significativas (p<0,10).

Figure 4. Dry aerial biomass (kg.ha⁻¹) in five cuts corresponding to each date of drying CC, sowing of the summer crop and during the summer crop. Different letters within each sampling date indicate significant differences (p<0.10).

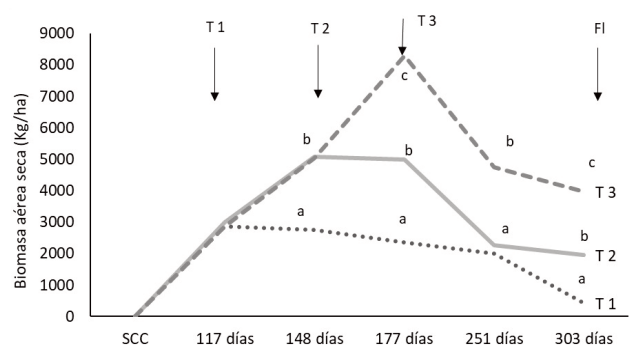


Figura 5. Evolución del contenido de biomasa aérea seca (kg.ha⁻¹) desde la siembra del cultivo de cobertura (SCC) hasta floración del maíz (FI). T1: primer momento de secado del CC (barbecho largo), T2: segundo momento de secado del CC (barbecho medio), T3: tercer momento de secado del CC (barbecho corto).

Figure 5. Evolution of the dry aerial biomass content (k.ha⁻¹) since the sowing of the cover crop (SCC) hasta floración (FI). T1: 1st drying date (long fallow), T2: 2nd drying date (intermediate fallow), T3: 3rd drying (short fallow).

fosforada (Arguello et al., 2011). Fernández et al. (2012) expresan que la liberación de N durante el crecimiento del cultivo de verano por parte de los residuos del CC además de incrementar la biodisponibilidad de N para el cultivo de maíz, permitiría reducir el riesgo de lixiviación de N que podría producirse en suelos de texturas arenosas, principalmente durante barbechos largos (6 - 7 meses) que median entre

dos cultivos de verano destinados a la producción de grano. A su vez, estos autores explican que algunos factores que inciden sobre la tasa de mineralización de los residuos se pueden manejar, tales como la relación C/N a través del aporte de nutrientes mediante fertilización o la fecha de secado del CC, mientras que otros factores, sobre todo las condiciones de temperatura y humedad, también afectan la tasa de mineralización.

Producción de biomasa radicular del CC

La Figura 7 muestra el contenido de biomasa de raíces totales para cada tratamiento en los primeros 100 cm del perfil. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el primer momento de secado con los dos restantes. La biomasa de raíces fue de 1765, 5621 y 4000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la primera, segunda y tercera fecha de secado, respectivamente, sin diferencias estadísticamente significativas para la segunda y tercera fecha de secado. Oderiz et al. (2017) hallaron valores de 4459 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para un centeno utilizado como CC en un suelo Ustipsamment.

La relación entre la biomasa de raíces y la biomasa aérea ha sido utilizada como un indicador de la partición de fotoasimilados a estos órganos (Iwasa & Roughgarden, 1984). De esta forma el primer tratamiento arrojó una relación de 0,61, el segundo de 1,1 y el tercero de 0,48.

Algunos estudios

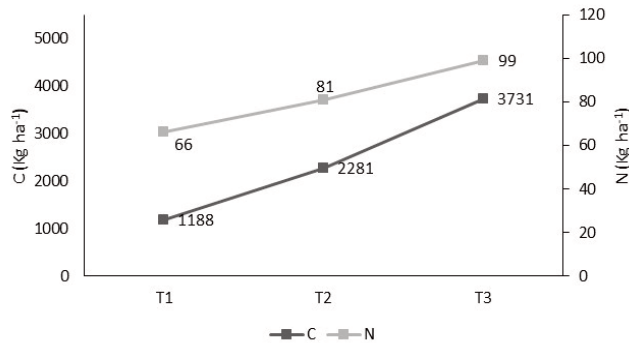


Figura 6. Carbono (C) y nitrógeno (N) en residuos de cultivo de cobertura ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para cada momento de secado. T1: primer momento de secado del CC (barbecho largo), T2: segundo momento de secado del CC (barbecho intermedio), T3: tercer momento de secado del CC (barbecho corto).

Figure 6. Carbon (C) and nitrogen (N) in cover crop residues ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) for each moment of dryin. T1: 1st drying date (long fallow), T2: 2nd drying date (intermediate fallow), T3: 3rd drying (short fallow).

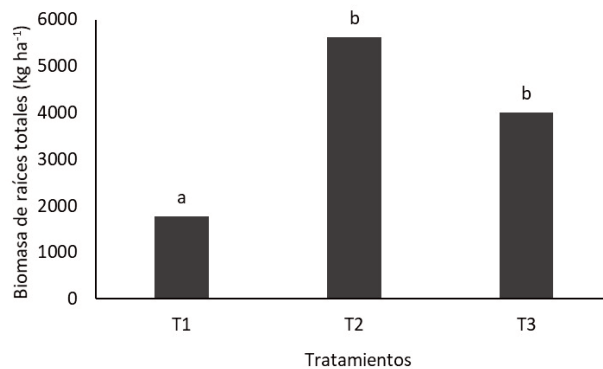


Figura 7. Biomasa de raíces totales ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) correspondiente a cada tratamiento. T1: primer momento de secado del CC (barbecho largo), T2: segundo momento de secado del CC (barbecho intermedio), T3: tercer momento de secado del CC (barbecho corto). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figure 7. Total root biomass ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) corresponding to each treatment. T1: 1st drying date (long fallow), T2: 2nd drying date (intermediate fallow), T3: 3rd drying (short fallow). Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$).

demuestran que la productividad de raíces puede ser mayor o igual a la productividad aérea (Sainju et al., 1998; Gardner y Sarrantonio, 2012). Probablemente el menor valor encontrado en la tercera fecha de secado (30-Sep) se puede deber a que el centeno se encontraba espigado, este estado fenológico implica la involución del crecimiento de las raíces ya que gran parte de los fotoasimilados son destinados a la inflorescencia. Conocer la dinámica de las raíces resulta fundamental para una mejor comprensión del impacto de las estrategias de manejo sobre los procesos ecológicos que ocurren dentro del suelo (Frasier et al., 2019).

En la Figura 8 se observa la distribución vertical de la proporción de biomasa de raíces hasta el metro de profundidad. En los diferentes estratos el porcentaje de biomasa de raíces total es similar entre tratamientos, observándose una mayor abundancia en los primeros 20 cm. Esta mayor abundancia de raíces en el estrato superficial se encontraría asociada no solo con la morfología propia de los sistemas radiculares que concentran en el mismo una mayor proporción de raíces primarias y secundarias sino también con un mayor contenido de materia orgánica, nutrientes, aireación y disponibilidad de agua comparado con los estratos inferiores del suelo (Stone et al., 2001; Sainju et al., 2005; Fageria y Moreyra, 2011).

Uso consuntivo y eficiencia en el uso del agua del CC

El UC de los diferentes tratamientos de CC mostraron diferencias significativas ($p < 0,10$) con dependencia de la fecha de secado (Figura

9). De esta forma, los valores de UC fueron de 237, 260 y 347 mm para el primero, segundo y tercer momento de secado, respectivamente. Carfagno et al. (2012) encontraron que la producción de biomasa por parte del CC fue explicada un 87 % por el UC, lo que pone de manifiesto que la disponibilidad de agua es el principal factor limitante para el crecimiento del CC. También aclararon que el UC del CC puede afectar de forma importante el agua disponible para el cultivo siguiente en años en los que las precipitaciones no sean suficientes para la recarga del perfil antes de la siembra de este.

La EUA de la biomasa aérea mostró diferencias significativas ($p < 0,10$) entre tratamientos de CC. El primer momento de secado arrojó un valor de 12,2 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹, en el secado el 30-Ago la EUA fue de 20 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ y en el secado del 30-Sep de 24,2 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹. Frasier et al. (2019) evaluaron la producción de centeno Quehué como CC hasta encañazón sobre un Haplustol éntico y obtuvieron valores de EUA de 35 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹. Scianca (2010) para un centeno como CC en un suelo Argiudol típico halló valores de EUA entre 34 y 54 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹, mientras que en un Hapludol thapto árgico las EUA oscilaron entre 9 y 30 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹. Cuando consideramos la producción de biomasa total (aérea y de raíces) las EUA resultan de 19,7 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹, 42,5 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ y 36,3 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ para el primer, segundo y tercer momento de secado respectivamente, hallándose diferencias significativas entre los dos últimos con respecto

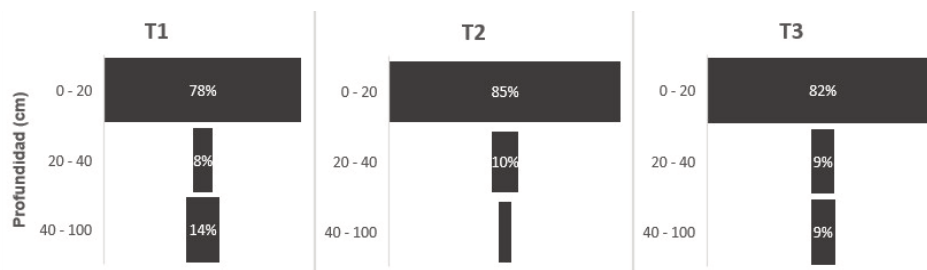


Figura 8. Distribución vertical de la proporción de biomasa de raíces (%) hasta el metro de profundidad en los estratos de 0-20 cm, 20-40 cm y 40 -100 cm para cada uno de los tratamientos.

Figure 8. Vertical distribution of the proportion of root biomass (%) up to one meter deep in the 0-20 cm, 20-40 cm and 40 -100 cm for each of the treatments.

al primero.

Disponibilidad de nitrógeno

En la Figura 10 se resume el contenido de nitrógeno en 0-60 cm de profundidad para cada tratamiento y fechas en las que se realizaron los muestreos. A partir de un contenido inicial de 57 kg N.ha⁻¹, los mismos disminuyen marcadamente durante los primeros 120 días del CC, alcanzando valores de 17 kg N.ha⁻¹. Posteriormente, en función de la fecha de secado se produce un aumento registrándose a partir de los 180 días diferencias significativas entre tratamientos. Durante floración de maíz T1 y T2, presentaron mayores valores que el T3. Estas diferencias tienden a mantenerse hasta la cosecha de maíz. Este comportamiento puede ser atribuido a la menor relación C/N en los residuos de las fechas de secado tempranas, que liberan antes los nutrientes en comparación con una fecha de secado tardía, donde puede haber una mayor inmovilización de los mismos. Wagger (1989) encontró que 8 semanas después del secado de los CC, el 50 % del N proveniente del residuo de un cultivo de centeno fue liberado para el cultivo subsiguiente. Fernández et al. (2012) en la región semiárida pampeana, hallaron valores superiores del orden del 80 % del N del CC que fue liberado desde el secado del CC en

julio a la cosecha del maíz. También en otro trabajo más reciente, concluyeron que el CC aportó alrededor del 60 % del N que contenía el CC al momento del secado (octubre) hasta la cosecha de soja (Fernández et al., 2020).

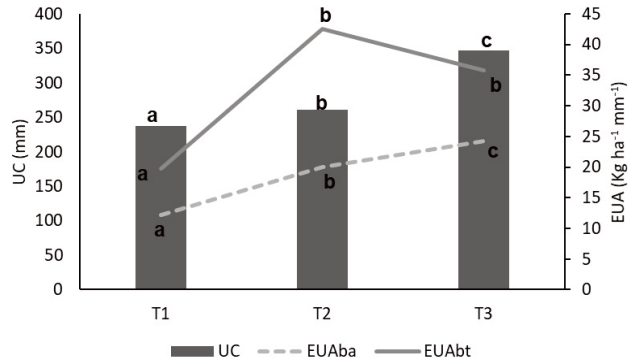


Figura 9. Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) de biomasa aérea (EUAba) y total (EUAbt) del CC. T1: primer momento de secado del CC (barbecho largo), T2: segundo momento de secado del CC (barbecho intermedio), T3: tercer momento de secado del CC (barbecho corto). Letras diferentes en cada tratamiento indican diferencias significativas (p<0,10).

Figure 9. Consumptive use (UC) and water use efficiency (EUA) of aerial biomass (EUAba) and total (EUAbt) of the CC. T1: 1st drying date (long fallow), T2: 2nd drying date (intermediate fallow), T3: 3rd drying (short fallow). Different letters in each treatment indicate significant differences (p<0.10).

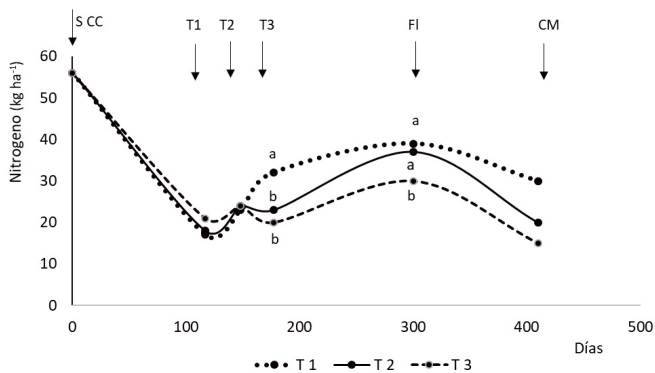


Figura 10. Contenido de nitrógeno de nitratos (kg.ha⁻¹) en suelo de 0–60 cm en función de los tratamientos y fechas de muestreo. SCC: Siembra cultivo de cobertura, T1: primer momento de secado del CC (barbecho largo), T2: segundo momento de secado del CC (barbecho intermedio), T3: tercer momento de secado del CC (barbecho corto).

Figure 10. Nitrate nitrogen content (kg.ha⁻¹) in soil of 0 - 60 cm depending on the treatments and sampling dates. SCC: Sowing cover crop, T1: 1st drying date (long fallow), T2: 2nd drying date (intermediate fallow), T3: 3rd drying (short fallow).

Rendimiento de maíz

El momento de secado y la fertilización incidieron sobre el rendimiento de maíz (Figura 11). Los resultados del rendimiento de maíz no mostraron interacción ($p = 0,69$) entre momento de secado y fertilización. Por su parte tanto, la influencia del momento de secado ($p = 0,01$) como la fertilización ($p = 0,002$) afectaron significativamente el rendimiento de grano.

Los rendimientos en T1 y T2 (barbecho largo y medio, respectivamente), con rindes de 6566 kg.ha^{-1} y 6450 kg.ha^{-1} respectivamente, superaron de forma significativa ($p > 0,05$) al T3 (barbecho corto) cuyo rinde fue de 5931 kg.ha^{-1} . A su vez se evidenció el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento con diferencias también significativas ($p = 0,05$), donde las parcelas que fueron sometidas a este tratamiento arrojaron un valor medio de 6590 kg.ha^{-1} en comparación con el testigo (6042 kg.ha^{-1}).

Mientras en T1 (barbecho largo) las diferencias entre testigo y fertilizado no fueron significativas, en T2 y T3 (barbechos más cortos) el aporte de N por fertilización incrementó significativamente los rendimientos

Servera et al. (2016) hallaron un comportamiento similar, donde los diferentes momentos de secado del CC afectaron significativamente el rendimiento del cultivo de maíz, de este modo el barbecho largo arrojó el mayor rinde (10033 kg.ha^{-1}) con respecto al barbecho medio (8825 kg.ha^{-1}) y corto (7547 kg.ha^{-1}).

La Figura 12 muestra el efecto de la acumulación de biomasa del CC sobre el rendimiento del cultivo de maíz testigo y fertilizado. A medida que se prolongó el ciclo del CC se obtuvo una mayor producción de biomasa que a su vez mostró

una menor velocidad de descomposición. De acuerdo a la relación C/N puede haber predominado los procesos de inmovilización respecto de los de mineralización. Ello puede haber afectado negativamente el rendimiento de maíz, tanto en los T ($R^2 = 0,52$) como en los fertilizados ($R^2 = 0,45$).

Lardone et al. (2014) observaron que el atraso en el momento de secado del cultivo de cobertura no produjo diferencias en los rendimientos de una leguminosa como soja, es decir, que ante condiciones de un régimen de humedad del tipo údico, no se esperarían diferencias en los rendimientos del cultivo sucesor al cultivo de cobertura considerando distintos momentos de secado, debido a mayores precipitaciones. Ante un régimen de humedad del tipo ústico como en la Región Semiárida Pampeana, el momento de secado tiene gran influencia sobre el rendimiento del cultivo sucesor.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que las hipótesis planteadas se cumplieron parcialmente, dado que a medida que se prolongó el ciclo del CC se incrementó el contenido de biomasa total del mismo en forma significativa y la relación C/N.

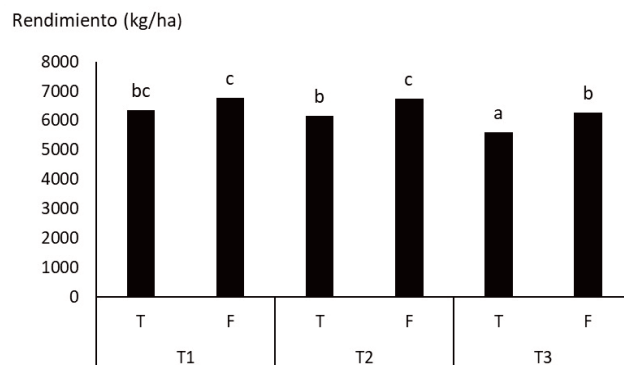


Figura 11. Rendimiento de maíz (kg.ha^{-1}) en función de los diferentes momentos de secado. T1: primer momento de secado del CC (barbecho largo), T2: segundo momento de secado del CC (barbecho intermedio), T3: tercer momento de secado del CC (barbecho corto). En testigo (sin fertilización en maíz) y fertilizado (F). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p > 0,05$).

Figure 11. Corn yield (kg.ha^{-1}) as a function of the different drying times. T1: 1st drying date (long fallow), T2: 2nd drying date (intermediate fallow), T3: 3rd drying date (short fallow). Different letters in indicate significant differences ($p > 0.05$).

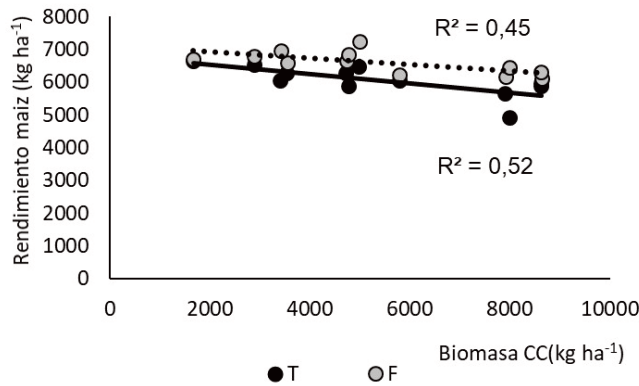


Figura 12. Rendimiento de maíz en testigo (T) y fertilizado (F) en función a la biomasa del cultivo de cobertura.

Figure 12. Maize yield in control (T) and fertilized (F) as a function of the biomass of the fertilized cover crop.

Además, disminuyó el contenido de N disponible en el suelo, sin embargo, la disponibilidad de agua a la siembra de maíz fue mayor en T3 (tratamiento de mayor cobertura, barbecho más corto) contrariamente a lo planteado en la hipótesis.

También es importante resaltar que T2 (barbecho medio) presentó valores de biomasa radicular superiores a los restantes.

El tratamiento T1, barbecho largo, presentó una mayor tasa de descomposición de los residuos y comparativamente una rápida disminución de la cobertura del suelo. Ello generó problemas de enmalezamiento que implicó un mayor uso de herbicidas (datos no mostrados) debiéndose realizar dos controles durante el barbecho en relación a T2 y T3 (barbecho medio y corto) donde solo fue necesario realizar una aplicación.

El análisis del UC mostró diferencias significativas entre tratamientos a medida que se prolonga el ciclo del CC se incrementa significativamente el UC. Sin embargo, cuando se analiza la EUA total (biomasa aérea y raíces) la misma resultó mayor en T2.

La productividad del cultivo de maíz fue mayor en T1 y T2 (barbecho largo y medio) registrándose respuesta significativa a la

fertilización en T2 y T3.

Sobre la base de estos resultados, T2 (barbecho medio) tendría ciertas ventajas, dado que el UC fue intermedio, la EUA total fue mayor, la disponibilidad de N fue similar a T1, los residuos mostraron una tasa de descomposición intermedia que permitió mantener adecuados niveles de cobertura del suelo con menor presencia de malezas y uso de herbicida con respecto a T1.

En suelos con régimen de humedad ústico, el momento de secado de los CC resulta clave para no condicionar por agua y nutrientes el rendimiento del cultivo sucesor.

BIBLIOGRAFÍA

- Allison, F. E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy*, 18, 219-258.
- Arguello, J., Saks, J., Fernández, R. y Noellemeyer, E. (2011). Evaluación de la viabilidad de los cultivos de cobertura en la región semiárida pampeana (Tesis de grado, Facultad de Agronomía Universidad Nacional de La Pampa).
- Baigorria, T., Álvarez, C., Cazorla, C., Belluccini, P., Aimetta, B., Pegoraro, V., Boccolini, M., Faagioli, V. y Tuesca, D. (2015). XXII Congreso de la ALAM y I Congreso de la ASACIM. Buenos Aires, Argentina.
- Canqui, H., Shaver, T., Lindquist, J., Shapiro, C., Elmore, R., Francis, C. & Hergert, G. (2015). Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. *Agronomy Journal*, 107(6). <https://doi.org/10.2134/agronj15.0086>
- Carfagno, P., Eiza, M., Quiroga, A., Babinec, F., Chagas, C. y Michelena, R. (2012). Agua disponible en monocultivo de soja con cultivos de cobertura y barbechos reducidos en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *Ciencia del Suelo*, 31(1), 67-83.
- Fageria, N. K. y Moreira, A. (2011) The Role of Mineral Nutrition on Root Growth of Crop Plants. *Advances in Agronomy*, 110, 251-331.
- Fernández, R., Álvarez, C., Eggmann Owen, E. y Quiroga, A. (2020). Efecto del uso de cultivo de cobertura en una secuencia de soja continua en la Región Semiárida Pampeana. *Semiárida*, 30, 37-49. [http://dx.doi.org/10.19137/semiárida.2020\(02\).3749](http://dx.doi.org/10.19137/semiárida.2020(02).3749)

- Kette Eberle, L. D., Maceda, N. E., Kloster, N., Pérez, M., Fernández, R. y Quiroga, A.
- Fernández, R., Quiroga, A. y Noellemeyer, E. (2012). Cultivo de Cobertura, ¿Una alternativa viable para la Región Semiárida Pampeana?. *Ciencia del suelo*, 30(2), 137-150.
- Frasier, I., Quiroga, A., Fernández, R., Álvarez, C., Gómez, F., Scherger, E., Gili, A., & Noellemeyer, E. (2019). Soil type, land-use and -management as drivers of root-C inputs and soil C storage in the semiarid pampa region, Argentina. *Soil & Tillage Research*, 192, 134-143.
- Frasier, I., Quiroga, A., & Noellemeyer, E. (2016a). Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Science of the Total Environment*, 562(2), 628-639.
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Fernández, R., & Quiroga, A. (2016b). Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX*, 3, 513-519.
- Gardner, M., & Sarrantonio, M. (2012). Cover crop root composition and density in a long-term vegetable cropping system trial. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(6), 719-737.
- Iwasa, Y., & Roughgarden, J. (1984). Shoot/root balance of plants: Optimal growth of a system with many vegetative organs. *Theoretical Population Biology*, 25(1), 78-105.
- Kramberger, B., Gselman, A., Janzekovic, M., Kaligalic, M., & Bracko, B. (2009). Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy*, 31, 103-109.
- Lardone, A., Scianca, C., Barraco, M., Miranda, W., Álvarez, C., Quiroga, A. y Babinec, F. (2014). Momentos de secado de especies de Cultivos de Cobertura. Congreso AACs. Bahía Blanca.
- Oderiz, J. A., Uhaldegaray, M. G., Frasier, I., Quiroga, A. R., Amiotti, N. y Zalba, P. (2017). Raíces de cultivos de cobertura. cantidad, distribución e influencia sobre el N mineral. *Ciencia del suelo*, 35(2), 249-258.
- Quiroga, A., Gaggioli, C., Fernandez, R. y Noellemeyer, E. (2015). Contribución al manejo sustentable de suelos en zonas semiáridas. (pp. 167-181). En: R. Casas y G. Albarracín (Eds.), *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*. Tomo 1. PROSA-FECIC.
- Reeves, D.W., Wood C. W., & Touchton, J. T. (1993). Timing nitrogen application for corn. In: a winter legume conservation-tillage system. *Agronomy Journal*, 85, 30-85
- Ruffo, M. L., & Bollero, G. A. (2006). Winter cover crops in Illinois: Evaluation of ecophysiological characteristics of corn. *Crop Science*, 46, 1536-1545.
- Sainju, U. M., Singh, B. P., & Whitehead, W. F. (1998). Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agronomy Journal*, 90(4), 511-518.
- Sainju, U. M., Singh, B. P., & Whitehead, W. F. (2005). Tillage, cover crops and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon and nitrogen. *Agronomy Journal*, 97(5), 1279-1290.
- Scianca, C. (2010). Cultivo de cobertura en molisoles de la región pampeana: aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas y dinámica de malezas (Tesis de posgrado, Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur).
- Servera, M., Zamora, C., Quiroga, A., Frigerio, F., Aimar, D. y Abascal, S. (2016). Efecto del momento de quemado del centeno utilizado como cultivo de cobertura sobre propiedades edáficas, malezas y rendimiento de maíz. *Semiárida*, 26(1), 11-18.
- Stone, L. R., Goodrum, D. E., Jaafar, M. N., & Khan, A. H. (2001). Rooting front and water depletion depths in grain sorghum and sunflower. *Agronomy Journal*, 93(5), 1105-1110.
- Unger, P. W., & Vigil, M. F. (1998). Cover crops effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53, 200-207.
- Varela, M. F., Barraco, M., Gili, A., Taboada, M. A., & Rubio, G. (2017). Biomass Decomposition and Phosphorus Release from Residues of Cover Crops under No-Tillage. *Agronomy Journal*, 109, 317. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2016.03.0168>.
- Wagger, M. (1989). Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till Corn. *Agronomy Journal*, 81, 533-538.