

Cultivos de cobertura en Río Cuarto (Córdoba): impacto en biomasa aérea, agua y nitrógeno del suelo, y rendimiento de maíz

Canale, Alejandra^{1*}; Lardone, Andrea^{2*}; Andreo, Nicolás³; Boccolini, Mónica¹; Salustio, Matías¹; Álvarez, Cristian⁴; Cuffia, Agustín⁵; Lopez, Juan Manuel⁵; Paquiodo, Mayco⁵; Pelliza, Roni⁵; Gaona, Juan²; Palanza, Sergio⁶; Sansot, Ignacio⁶; Conde, María Belén⁷

¹AER INTA Río Cuarto; ²Asesor privado, ³Regional de AAPRESID de Río Cuarto, ⁴AER INTA General Pico; ⁵FAV-UNRC; ⁶Estancia Sara Beltrán; ⁷EEA INTA Marcos Juárez.

canale.alejandra@inta.gob.ar; lardone.andrea@gmail.com

Resumen

Para contribuir al conocimiento sobre la implementación sostenible de cultivos de cobertura (CC) en sistemas agrícolas puros de la región de Río Cuarto (Córdoba, Argentina), el grupo de articulación público privada integrado por INTA, AAPRESID, Grupo Río Cuarto Norte, y FAV-UNRC, realizó un ensayo a campo en la Estancia Sara Beltrán, durante la campaña 2021/2022, con el objetivo de analizar los efectos de diferentes antecesores de maíz: barbecho (T) y CC de las especies centeno (C), vicia villosa (V), y la consociación de ambos (C+V), considerando momentos de secado químico: agosto, septiembre y octubre, y la aplicación fertilizante nitrogenado a la siembra del maíz (0, 80, 160 y 240 kg/ha de urea). Se evaluó la materia seca (MS) y nitrógeno (N) de la biomasa aérea de los CC, el contenido de N de nitratos (N-NO₃⁻) en el suelo (0-60cm), el agua útil del suelo (0-150 cm), y el rendimiento en grano de maíz. La producción de MS de la biomasa aérea de los CC varió entre 818 y 6041 kg/ha. No se observó interacción entre la especie y el momento de secado ($p=0,19$), pero sí efecto de la especie ($p<0,01$, $C \geq C+V \geq V$), y del momento de secado ($p<0,01$, octubre>septiembre>agosto). El contenido de N de la MS de la biomasa aérea varió en función del momento de secado, siendo para la especie C: agosto 2,22% > septiembre 1,15% > octubre 1,02% ($p<0,01$), y V octubre 2,68% \geq agosto 2,50% \geq septiembre 2,06% ($p=0,02$). En las tres fechas de secado evaluadas se destaca el tratamiento T con mayor contenido de N-NO₃⁻ en el suelo (0-60 cm) y agua disponible (0-150 cm), y en la evaluación a la siembra de maíz estas diferencias respecto a los CC se aminoran. El rendimiento en grano de maíz varió entre 2.613 y 11.208 kg/ha con un promedio de 7.624 kg/ha. Se observó interacción entre el antecesor, la fecha de secado de los CC, y la dosis de N aplicada ($p<0,01$). El mayor valor fue en C+V secado octubre con 160 kg/ha de urea, y en contraposición el menor rendimiento fue con C secado en octubre y sin fertilización. En síntesis, la introducción de CC en rotaciones agrícolas impacta en la dinámica del suelo y rendimiento de cultivos subsiguientes. La elección cuidadosa de especies, momentos de secado y prácticas de manejo, como la fertilización nitrogenada, es crucial para optimizar los beneficios de los CC y gestionar eficientemente el agua en sistemas de secano.

Palabras clave: cultivo de cobertura, fecha de secado, maíz, fertilización nitrogenada.

1. Introducción

La creciente demanda de información local sobre la incorporación de cultivos de cobertura (CC) en la región de Río Cuarto refleja el interés y la necesidad de comprender mejor los beneficios y desafíos asociados con esta práctica. Particularmente en las rotaciones agrícolas puras, con la secuencia Soja-Maíz, en donde el CC se propone como antecesor de maíz tardío.

Los aspectos positivos de los CC son variados y significativos, destacando su capacidad para capturar carbono, generar cobertura, mejorar la salud del suelo, fomentar la biodiversidad, reducir la erosión, modular la dinámica de nutrientes, y competir eficazmente con malezas, entre otros beneficios.

No obstante, es esencial abordar las posibles desventajas que los CC pueden presentar, como la competencia por los recursos agua y nutrientes, que podrían afectar la implantación y el rendimiento en grano de los cultivos subsiguientes.

Desde la Agencia de Extensión Rural INTA Río Cuarto, en el marco del proyecto INTA “Uso y gestión eficiente del agua en sistemas de secano”, en un trabajo conjunto con la Regional Río Cuarto de Aapresid, el Grupo Río Cuarto Norte, y la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto, se realizó una experiencia a campo durante la campaña 2021/2022 en la Estancia Sara Beltrán.

El objetivo de este informe técnico es analizar los efectos de diferentes antecesores: barbecho y cultivos de cobertura de las especies centeno (C), Vicia villosa (V), y la consociación de ambos (C+V), considerando distintos momentos de secado químico. La evaluación se centró en aspectos clave como el contenido hídrico y de nitrógeno del suelo, el rendimiento en grano de maíz y la respuesta a dosis de fertilización nitrogenada.

2. Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en la Estancia Sara Beltrán (Grupo Río Cuarto Norte), ubicada al oeste de Río Cuarto, en un lote representativo de la región, sobre un suelo Haplustol típico, serie Río Cuarto (Fraule *et al.*, 2022).

El diseño experimental empleado fue de parcelas subdivididas con dos repeticiones. La tabla 1 detalla los tratamientos del ensayo, que incluyen un testigo de barbecho químico con rastrojo de soja (T), y especies de CC, momentos de secado químico y dosis de fertilización nitrogenada aplicadas al momento de la siembra del cultivo de maíz.

Tabla 1. Tratamientos del ensayo

Antecesores	Momentos de secado químico	Fertilización N en Maíz
Vicia villosa (V)	Agosto (07/08/2021)	0 kg urea/ha
Centeno (C)	Septiembre (13/9/2021)	80 kg urea/ha
Centeno + Vicia (C+V)	Octubre (04/10/2021)	160 kg urea/ha
Testigo (T)		240 kg urea/ha

Los cultivos de cobertura se sembraron el día 24/4/2021 bajo siembra directa, con distanciamiento entre hileras de 35 cm y sin fertilización, en un lote cuyo cultivo antecesor fue soja. La densidad de siembra fue de 30, 45 y 45+30 kg/ha para V, C, y C+V, respectivamente. Las vicias recibieron doble inoculación previo a la siembra.

El lote completo donde se estableció el ensayo recibió una fertilización al voleo de 112 kg/ha de MAP el día 27/07/2021. El día 16/12/2021 se sembró el cultivo de maíz utilizando el híbrido DK7210, con una densidad de 62.000 semillas/ha. La fertilización incorporada a la siembra se realizó con cuatro dosis de urea: 0, 80, 160 y 240 kg/ha (Tabla 1).

En abril de 2021, se realizó un muestreo compuesto de suelos de 0 a 20 cm para caracterizar las propiedades edáficas iniciales. Se analizaron el pH en agua (dilución 1:2,5), la conductividad eléctrica en agua (dilución 1:1), la materia orgánica (MO, Walkley-Black, 1934),

el contenido de fósforo extractable (P, Bray y Kurtz, 1945), y de azufre (S, método turbidimétrico). Se determinó la textura por el método hidrométrico (Bouyoucos, 1962) en las capas de 0 a 20, 20 a 40, y 40 a 60 cm de profundidad.

A los 19 días desde la siembra de los CC se realizó un recuento de plantas para determinar la implantación, donde se evaluaron 4 submuestras de 0,7 m² en cada parcela.

Se evaluó la materia seca (MS) de la biomasa aérea de los CC en los diferentes momentos de secado, mediante cortes en una superficie de 1 m², y posterior secado en estufa a 60° C hasta alcanzar peso constante, que se expresaron en kg/ha. Sobre dichas muestras obtenidas se determinó el contenido de Nitrógeno (N) (determinación de Proteína por Kjeldahl. Método AOAC 2001.11 con equivalencia a ISO 5983-2). Se calculó la cantidad de N (kg/ha) aportados por los CC, a partir de la MS de la biomasa aérea y su % de N determinado.

Se recolectaron muestras de suelo compuestas por tratamiento para analizar el contenido de N de nitratos (N-NO₃⁻) en suelo, en la capa de 0 a 60 cm, cada 20 cm de profundidad, al momento de la siembra de los cultivos de cobertura, a los 37, 21 y 23 días desde el secado de agosto, septiembre y octubre, respectivamente, y previo a la siembra del cultivo de maíz (método analítico: reducción del Cadmio, extracción: Sulfato de Calcio).

La humedad del suelo se evaluó en capas hasta 150 cm de profundidad, en cinco momentos: a la siembra de los CC, en cada fecha de secado, y a la siembra de los cultivos de maíz. Se calculó el agua disponible (AD), (mm) = [Humedad gravimétrica actual (%) – PMP (%)] * DA (g/cm) * espesor (mm). Siendo: PMP: Punto de marchitez permanente, DA: densidad aparente. Se consideró el PMP correspondiente a la serie Río Cuarto de la carta de suelos (Fraule *et al.*, 2022), y la DA se estimó. Se calculó el uso consuntivo (UC), como la suma entre el AD a la siembra de los CC y las precipitaciones del ciclo, menos el AD al secado. La eficiencia del uso del agua (EUA) de los CC, mediante el cociente de la MS de la biomasa aérea al momento de secado y el UC. En el tratamiento T se calculó la eficiencia de barbecho (EB), como la diferencia en el contenido hídrico final e inicial, sobre las precipitaciones de dicho período, expresado en %.

El rendimiento de los cultivos de maíz se evaluó mediante cosecha mecánica (27/6/2022) y obtención de datos a través del procesamiento de los mapas de rendimiento.

Se registraron las precipitaciones diarias durante el ciclo de estudio con pluviómetro manual ubicado a 100 m del ensayo.

El análisis estadístico de los datos se realizó con modelos lineales mixtos, y las medias se compararon con la prueba LSD Fisher (5%) utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2016).

3. Resultados

3.1. Condiciones iniciales de ensayo y registro pluviométrico

Las precipitaciones registradas durante el período de crecimiento de los CC fueron de 44, 90, y 107 mm, para el secado de agosto, septiembre y octubre, respectivamente. En tanto, durante el barbecho desde el secado hasta la siembra de maíz llovieron 329, 283 y 266 mm, para los secados de agosto, septiembre y octubre, respectivamente. Durante el ciclo de los cultivos de maíz se registraron 217 mm (16/12/2021 al 31/03/2022, Tabla 2).

Tabla 2. Precipitaciones mensuales e históricas en mm.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2020	92	131	108	18	0	2	0	0	2	104	95	67
2021	252	76	126	68	11	15	18	0	63	65	103	153
2022	36	94	45	8	0	0	0	-	-	-	-	-
Hist	119	93	106	61	26	15	13	15	39	35	119	129

Fuente: Estancia Sara Beltrán (Grupo Río Cuarto Norte), y Estación Meteorológica "Río Cuarto" del Servicio Meteorológico Nacional (1931-2020).

En la situación inicial del lote se determinó para la capa de 0 a 20 cm de profundidad: 6,3 pH, 0,18 ds/m CE, 1,7% MO, 34,09 ppm P y 9,37 ppm S. La textura en las capas de 0 a 20, 20 a 40, y 40 a 60 cm de profundidad fue arcillo arenoso y la granulometría superficial: arena 53%, limo 9%, y arcilla 38%.

3.2. Cultivo de cobertura

Se observó una correcta implantación de las especies de CC, con un promedio de 170 plantas logradas/m² para C puro y, 75 en la mezcla. En el caso de V se lograron 69 y 61 pl/m² sembrada pura y en mezcla, respectivamente.

La producción de MS de la biomasa aérea de los CC varió entre 818 y 6041 kg/ha. No se observó interacción entre la especie y el momento de secado ($p=0,19$), pero sí efecto de la especie ($p<0,01$) y del momento de secado ($p<0,01$), (Gráficos 1a y 1b). La especie C puro alcanzó una mayor producción de MS respecto a V pura, presentando la consociación (C+V) de ambas especies un aporte intermedio. En el tratamiento de C+V la proporción de MS de la biomasa aérea aportada por la especie C fue de 77, 77, y 79%, para el momento de secado de agosto, septiembre, y octubre, respectivamente. En todas las especies evaluadas cuanto mayor fue la duración de su período de crecimiento (por demoras en su fecha de secado), se registró una mayor producción de MS aérea.

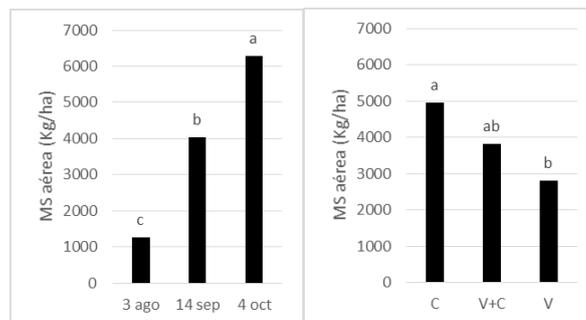


Gráfico 1a. Producción de materia seca (MS) de la biomasa aérea de los cultivos de cobertura a los 101 (3 ago), 142 (14 sep) y 163 (4 oct) días desde la siembra. 1.b. Producción de materia seca promedio de la biomasa aérea de los cultivos de cobertura C, C+V, y V. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p<0,05$), para cada gráfico analizado de forma independiente.

El contenido de N de la MS de la biomasa aérea de los CC, C y V, no presentó diferencias cuando se encontraban puras o en mezcla ($p=0,26$ y $p=0,51$, respectivamente). En la especie C el N de la MS de su biomasa aérea varió entre 0,73 y 2,66%, con diferencias según el momento de secado ($p<0,01$). El contenido medio de N en agosto (2,22%), fue mayor respecto a septiembre (1,15%) y octubre (1,02%). En la especie V, también se registró efecto del momento de secado ($p=0,02$), con mayor contenido de N en octubre (2,68%), respecto de septiembre (2,06%), en tanto, el momento de agosto (2,50%) presentó un comportamiento intermedio entre ambos.

En el análisis del contenido de N en función de la cantidad de MS de la biomasa aérea lograda por tratamiento se observó interacción entre la especie y el momento de secado ($p<0,01$), con valores de entre 23 y 144 kg/ha de N en biomasa aérea. La especie V en el mes de octubre, presentó el mayor contenido de N en biomasa con respecto al resto de los tratamientos evaluados (Gráfico 2).

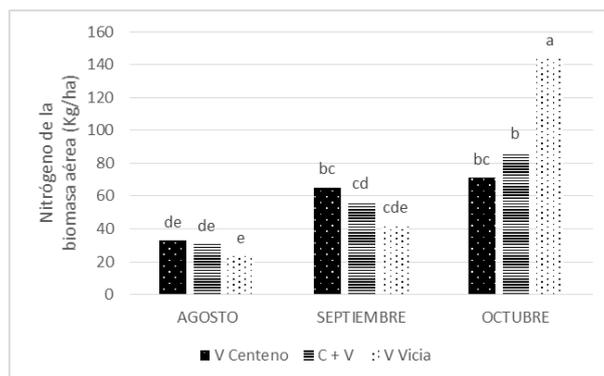


Gráfico 2. Contenido de N en biomasa aérea. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los tratamientos analizados (p<0,01).

3.3. Dinámica de nitrógeno y agua nitrógeno en el suelo

En la situación inicial del ensayo, el contenido de N-NO₃⁻ en el suelo, de 0 a 60 cm de profundidad, fue de 70 kg N/ha. En las tres fechas de secado evaluadas, el contenido de N-NO₃⁻ en el suelo hasta los 60 cm, fue significativamente mayor (p≤ 0,03) en el tratamiento T con respecto a los CC (Tabla 3). Solo en agosto, existieron diferencias (p<0,01) entre los tratamientos con CC; donde V presentó el mayor contenido con 63 kg/ha, luego de T con 85 Kg/ha; mientras que C y C+V, no se diferenciaron y presentaron los menores valores (39 y 42 Kg/ha respectivamente). En septiembre y octubre no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos con CC.

Tabla 3. Contenido de Nitrógeno de nitratos en el suelo de la capa de 0 a 60 cm de profundidad (en kg N /ha) en los diferentes momentos de secado en cada tratamiento.

Secado y muestreo	P valor	C	V	C+V	T
Agosto 03/08/2021	p<0,01	39 c	63 b	42 c	85 a
Septiembre 14/09/2021	p<0,01	32 b	42 b	24 b	85 a
Octubre 04/10/2021	p=0,03	34 b	45 b	37 b	92 a

C (centeno), V (vicia), C+V (consociación de centeno y vicia) y T (testigo barbecho de rastrojo de soja).. Letras diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre tratamientos, para cada momento de secado

El contenido de N-NO₃⁻ en el suelo para la capa de 0 a 60 cm de profundidad, al momento de la siembra del cultivo maíz, varió en función de los antecesores (CC y momento de secado). Se destacó una mayor concentración en los tratamientos T y C+V secada en octubre (Gráfico 3). Cuando se analizaron por separado las capas de suelo 0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm de profundidad, no se registraron diferencias entre los tratamientos de antecesores y momentos de secado evaluados.

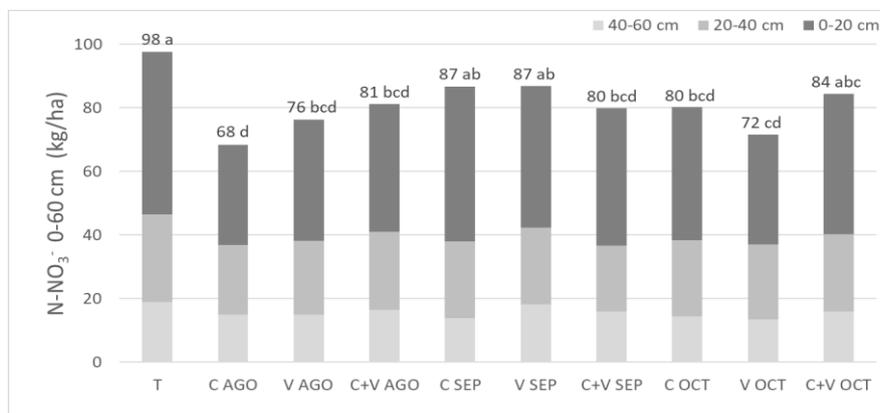


Gráfico 3. Contenido de N-NO₃⁻ en el suelo en cada tratamiento.

C (centeno), V (vicia), C+V (consociación de centeno y vicia) y T (testigo barbecho de rastrojo de soja), en los momentos de secado: AGO (agosto), SEP (septiembre), y OCT (octubre). Letras diferentes indican diferencias estadísticas en la capa de 0-60 cm de profundidad entre los tratamientos analizados (p<0,01).

Para la variable contenido hídrico del suelo, en la situación inicial del ensayo (28/04/2021) se registraron 182 mm de agua disponible hasta 150 cm de profundidad.

Para cada fecha o momento de secado, el contenido de agua disponible de 0 a 150 cm de profundidad varió según el antecesor (Tabla 5). En agosto se observaron significativas entre los antecesores, donde C presentó el menor valor de agua disponible, y el T el mayor contenido, en tanto que V y C+V presentaron un valor intermedio entre ambos. El tratamiento T presentó el mayor contenido de agua en las fechas de septiembre y octubre, sin registrarse diferencias entre las especies de CC.

Tabla 5. Contenido de agua disponible del suelo (en mm) de 0 a 150 cm de profundidad, en los diferentes momentos de secado de cada tratamiento

Momento de secado	P valor	C	V	C+V	T
Agosto	(p<0,01)	77 b	131 ab	88 ab	153 a
Septiembre	(p=0,02)	141 b	136 b	123 b	197 a
Octubre	(p<0,01)	73 b	85 b	76 b	183 a

C (centeno), V (vicia), C+V (consociación de centeno y vicia) y T (testigo barbecho de rastrojo de soja). Letras diferentes en sentido horizontal indican diferencias significativas entre tratamiento, para cada momento de secado.

El uso consuntivo de los CC varió entre 95 y 213 mm, y el costo hídrico entre 22 y 107 mm, en tanto la eficiencia del uso del agua (EUA) varió entre 8 y 47 kg MS/ mm (Tabla 6). La eficiencia de barbecho calculada en el tratamiento T durante el periodo comprendido entre la siembra del cultivo de cobertura y la siembra del maíz fue 4%, con una precipitación acumulada de 373 mm en dicho período (Tabla 6).

Tabla 6: Uso consuntivo de los cultivos de cobertura: mm inicial + precipitaciones durante el ciclo – mm final, Costo hídrico de los cultivos de los cultivos de cobertura, respecto al Testigo (mm), y Eficiencia del uso del agua (kg MS/mm de uso consuntivo).

Fecha	Uso consuntivo (mm)			Costo hídrico (mm)			EUA (kg MS/mm)		
	C	V	C+V	C	V	C+V	C	V	C+V
3 ago	149	95	138	76	22	65	10	8	8
13 sep	131	136	149	56	61	74	47	14	27
4 oct	216	204	213	110	98	107	33	28	29

Tratamientos: centeno (C), vicia (V), y consociación centeno y vicia (C+V).

El contenido hídrico del suelo a la siembra de maíz varió entre 137 y 197 mm. Se registraron diferencias entre tratamientos (antecesor y fechas de secado) para la capa de 60 a 150 cm de profundidad (p=0,02), (Gráfico 4). Los tratamientos que registraron los mayores valores de contenido hídrico (60-150 cm) fueron T, V secado agosto y septiembre, aunque sin diferencias con respecto al resto de los CC, y los menores contenidos se registraron para las fechas de secado de octubre en todos los tratamientos con CC.

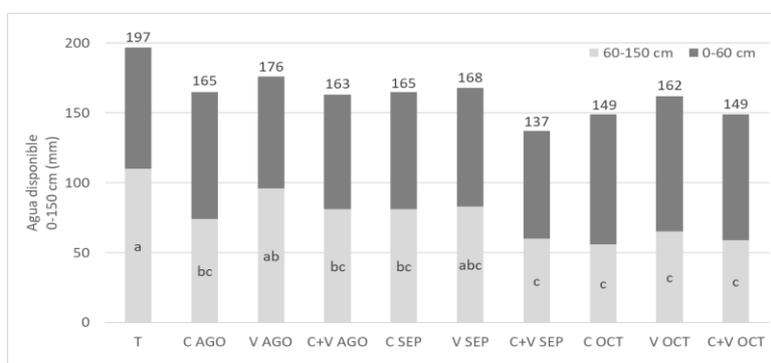


Gráfico 4. Contenido de agua disponible del suelo (en mm) en los diferentes momentos de secado de cada tratamiento.

(AGO: agosto, SEP: septiembre, OCT: octubre). C (centeno), V (vicia), C+V (consociación de centeno y vicia), T (testigo barbecho de rastrojo de soja). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

3.4. Rendimiento en grano de maíz

El rendimiento en grano del maíz varió entre 2.613 y 11.208 kg/ha con un promedio de 7.624 kg/ha (Gráficos 5 y 6). Se observó interacción entre el antecesor, la fecha de secado de los CC, y la dosis de N aplicada ($p < 0,01$). El mayor valor se obtuvo con la mezcla C+V secada en el mes octubre y fertilizado con una dosis de urea de 160 kg/ha. En contraposición el menor rendimiento se registró con antecesor CC de especie C secado en octubre y sin fertilización nitrogenada.

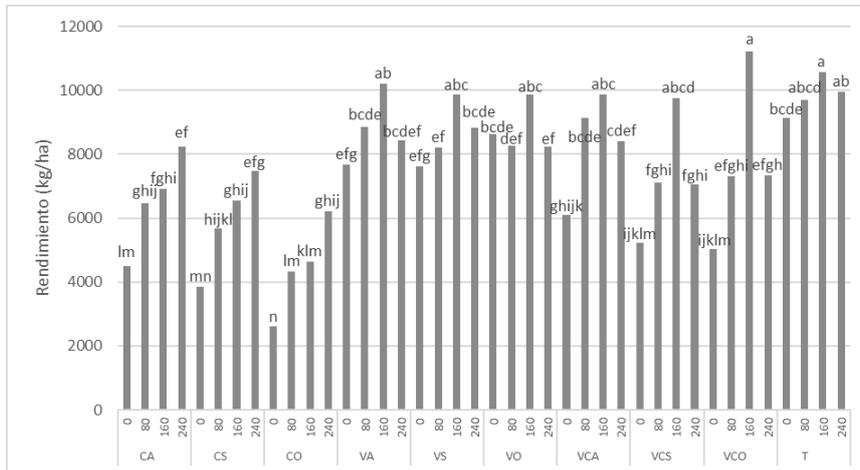


Gráfico 5. Rendimientos en grano del cultivo de maíz, expresado en kg/ha, en función de la combinación de cultivo antecesor, fecha de secado y dosis de fertilización

CA, CS y CO (centeno secado en agosto, septiembre y octubre); VA, VS y VO CO (vicia secado en agosto, septiembre y octubre), VCA, VCS, VCO CO (centeno + vicia secado en agosto, septiembre y octubre), y con dosis de fertilización de 0, 80, 160 y 240 kg/ha de urea. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los tratamientos analizados ($p < 0,01$).

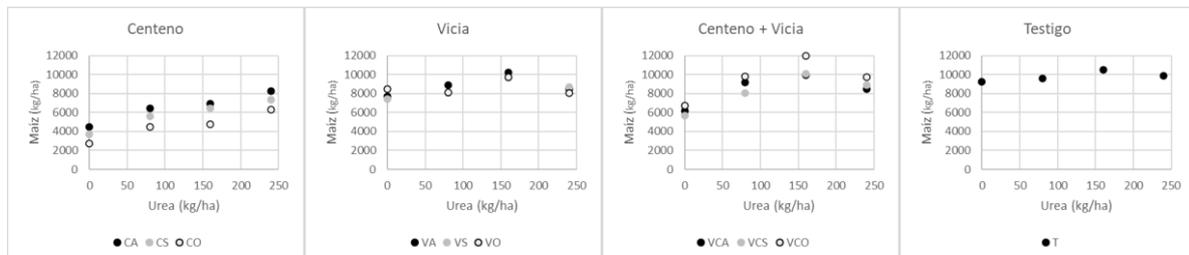


Gráfico 6. Rendimientos en grano del cultivo de maíz, expresado en kg/ha, en función de las dosis de fertilización de 0, 80, 160 y 240 kg/ha de urea aplicadas al momento de la siembra, para cada tratamiento y fechas de secado de los cultivos de cobertura. 6a. Centeno secado en agosto, septiembre y octubre CA, CS y CO. 6b. Vicia secada en agosto, septiembre y octubre (VA, VS y VO). 6c. Consociación de centeno + vicia secado en agosto, septiembre y octubre (VCA, VCS, VCO). 6d. Testigo barbecho de rastrojo de soja (T).

4. Conclusiones

Bajo las condiciones de manejo evaluadas en el presente trabajo durante la campaña 2021/2011, se logró una adecuada implantación de las especies de CC, con notables diferencias en la producción de MS de la biomasa aérea y su contenido de N, entre especies y momentos de secado.

Tanto la dinámica del nitrógeno (0 a 60 cm) y del agua (0-150 cm) evaluada en el suelo, varió en función de los antecesores evaluados, pero estos efectos no se trasladaron a la evaluación al momento de la siembra de maíz.

El rendimiento del cultivo de maíz presentó diferencias entre antecesores, fechas de secado y dosis de N (aplicado en forma de urea a la siembra estival), donde el mayor valor se obtuvo con la consociación de C+V secados en el mes octubre y fertilización con una dosis de 160 kg/ha de urea.

En síntesis, la introducción de CC en la rotación agrícola generó impactos significativos en la dinámica del suelo y el rendimiento de los cultivos subsiguientes. La elección de especies, momentos de secado y prácticas de manejo, como la fertilización nitrogenada, juega un papel crucial en la optimización de los beneficios de los CC y la gestión eficiente del agua en sistemas de secano. Estos resultados ofrecen valiosas pautas para los productores de la región de Río Cuarto y contribuyen al conocimiento global sobre la implementación sostenible de cultivos de cobertura en sistemas agrícolas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores, al personal del establecimiento, a los docentes y profesionales de las instituciones participantes, que hicieron posible la planificación, el aporte de recursos, herramientas e instrumental, la ejecución, y el análisis de la información generada.

Bibliografía

Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis de soils. Agron. J. 54: 464.

Bray, R.H. & L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils Soil Sci. 59: 39-45.

Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo InfoStat versión 2011. 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Faule, L; M Lanfranco; S Renaudeau; M Pérez; R. Porcel de Peralta; J.C. Colazo; E. Zamora; C. Alvarez; J.P. Giubergia; D.S. Salas; M.A. Bóveda; R.A. Cuevas. 2022. Cartas de Suelos, Hoja Achiras N° 3366-24. Disponible en: <https://suelos.cba.gov.ar/ACHIRAS/index.html>

Walkley, A. & I. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.