

Efecto de los cultivos de servicio en el rendimiento de los cultivos de verano e invierno

Walter Daniel Carciochi^{1,2}, Francisco Cafaro La Menza^{1,2}, Cecilia Crespo^{1,2}, Agustina Tordó^{1,2}, María Pía Rodríguez², Nahuel Reussi Calvo^{1,2}, Leonardo Novelli^{3,5,6}, Pablo Andrés Barbieri¹, Fernando Salvagiotti^{3,4}

1- Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (IPADS Balcarce INTA-CONICET), Ruta 226 Km 73.5 (7620) Balcarce, Argentina. waltercarciochi@hotmail.com

2- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata

3- CONICET

4- Grupo Manejo de Cultivos, Suelos y Agua - INTA, EEA Oliveros, Ruta 11 km 353 (2206), Santa Fe, Argentina

5- INTA, EEA Paraná, Ruta 11 Km 12,5 (3100), Entre Ríos, Argentina

6- Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Entre Ríos, Argentina.

1- Introducción

Los sistemas agropecuarios argentinos enfrentan limitaciones en la productividad debido a la falta de rotaciones planificadas, sin alternancia con pasturas y con niveles

de fertilización por debajo de los requerimientos de los cultivos. Esta situación ha ocasionado la reducción del aporte de residuos vegetales y una mayor extracción de nutrientes del suelo (Wingeyer et al., 2015). En este contexto, la intensificación de cultivos, que implica una mayor variedad y cantidad de cultivos por unidad de tiempo y área, es un enfoque que ha demostrado un manejo agrícola sustentable (Caviglia et al., 2010). Algunas prácticas que pueden promover la intensificación sustentable de la agricultura son la fertilización de los cultivos, la diversificación e intensificación de las rotaciones, y el uso de cultivos de servicio (CS). La inclusión de CS en los sistemas de producción permite disminuir la tasa de caída de los niveles de carbono orgánico en el suelo, lo cual, junto con la presencia de raíces vivas por más tiempo mejora la calidad edáfica, revirtiendo parcialmente el deterioro de algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El efecto de los CS proporcionando protección al suelo entre períodos de crecimiento de los cultivos de cosecha, contribuye a la conservación de los suelos a través de la reducción de la erosión hídrica y eólica. Más aún, la cobertura generada sobre la superficie del suelo ayuda a disminuir la emergencia de malezas, contribuyendo

a reducir el uso de agroquímicos para su control y evitando la aparición de malezas resistentes a herbicidas. Los CS también modifican el ciclado de nutrientes en los sistemas agrícolas. En algunas regiones, los excesos hídricos durante el invierno pueden provocar pérdidas significativas de nutrientes por lavado (nitrato y sulfato) y escorrentía o erosión (principalmente fósforo). Los CS ayudan a mitigar estas pérdidas al actuar como barrera física contra el escurrimiento, absorber agua y capturar nutrientes, lo que les ha valido el nombre de “cultivos trampa”. Al finalizar su ciclo, los nutrientes acumulados en la biomasa se liberan de acuerdo a la calidad final del residuo (relación C:nutriente) y pueden beneficiar o no, al cultivo siguiente. Además, los CS pueden incrementar las reservas orgánicas de nutrientes como el N, P, y S, promoviendo el aporte de los mismos a los cultivos mediante su mineralización (Crespo et al., 2021). El presente resumen hará foco en el rol de los CS sobre el ciclado de los nutrientes en los agroecosistemas y su impacto sobre el rendimiento de los cultivos posteriores para las condiciones productivas de la región Pampeana Argentina.

2– Características de los CS y su impacto en la productividad de los cultivos

En la región Pampeana Argentina, la secuencia típica es soja de primera - trigo o cebada/soja de segunda – maíz, y en ella los CS pueden implantarse para ocupar los barbechos invernales. En este escenario, la ventana de crecimiento de los CS es acotada (abril-mayo a noviembre) a no ser que no se siembre un cultivo de segunda luego del cereal de invierno. Bajo estas condiciones, una recopilación de trabajos (Cafaro La Menza y Carciochi, 2023) indicó que, en promedio, la producción de materia seca (MS) aérea fue mayor en consociaciones gramínea+vicia (6205 kg/ha) que en gramíneas (6085 kg/ha) y vicia (4090 kg/ha) (Cuadro 1). En dicha revisión se observó que la productividad aérea estuvo explicada principalmente por el largo del ciclo de crecimiento de los CS, y que, puntualmente para vicia, de-

moras en su fecha de siembra impactaron negativamente en su productividad. Esto indica la importancia del manejo de los CS (elección de fecha de siembra y terminación) para incrementar la producción de biomasa y mejorar los servicios ecosistemas que se pretende lograr mediante su inclusión en los sistemas de producción agrícolas.

En relación con el ciclado de nutrientes mediante el uso de CS, el más estudiado ha sido el N, dado su significativo impacto tanto sobre la productividad de los cultivos como sobre el ambiente. En la mencionada revisión realizada para la región Pampeana se observó que, en promedio, la vicia acumuló mayor cantidad de N (118 kg N/ha) que las mezclas (94 kg N/ha) y las gramíneas (70 kg N/ha) (Cuadro 1). Una vez terminados o suprimidos los CS, sus residuos se descomponen liberando los nutrientes retenidos en sus tejidos. La tasa de liberación de nutrientes está regulada por factores ambientales que definen la actividad de los microorganismos descomponedores, principalmente la temperatura y humedad, pero también por características del residuo, como la relación carbono:nitrógeno (C:N). Al respecto, se ha indicado que los CS de gramíneas presentaron en promedio relaciones C:N (44:1) superiores a 25:1, nivel por encima del cual se sugiere inmovilización de N (Cafaro La Menza y Carciochi, 2023). Por su parte, la vicia presentó en promedio una relación C:N de 15:1, mientras que las consociaciones mostraron un valor intermedio (27:1) (Cuadro 1). La menor relación C:N de la vicia permite una descomposición más rápida de sus residuos y una mayor liberación de nutrientes, mientras que las gramíneas tienden a inmovilizar N, afectando la disponibilidad para el cultivo siguiente. En relación con esto, un estudio en secuencias CS/maíz analizó la sincronización de N entre la liberación del nutriente desde los CS y la absorción del maíz posterior con distintos momentos de terminación de los CS (Carciochi et al., 2025). En dicho estudio se observó una liberación de N durante el ciclo del maíz del 90% con vicia, 75% con mezclas y 50% con gramíneas. Estos efectos tienen implicancias prácticas. Por ejemplo, el maíz suele presentar mayor respuesta a la fertilización

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de características de especies de cultivos de servicio.

Variable	Estadístico	Gramíneas	Consociaciones	Vicia villosa
MS aérea (kg/ha)	Min	470	500	400
	Media	6085	6205	4090
	Max	17598	14880	11600
N acumulado (kg/ha)	Min	10	10	10
	Media	70	94	118
	Max	235	193	255
Relación C:N	Min	16	12	9
	Media	44	27	15
	Max	152	57	34

nitrogenada luego de CS gramíneas, pero no luego de vicia (Carciochi et al., 2021a). Por otra parte, mezclas de gramíneas y leguminosas, con alta proporción de la primera y terminadas tardíamente, redujeron el rendimiento de maíz cuando no se fertilizó con N (Carciochi et al., 2021b). Así, el análisis de la sincronización de N indicó que esta fue mayor con vicia que con las consociaciones avena+via o la avena (81%, 70%, and 23%, respectivamente), y mayor con terminaciones tardías (1 semana antes de la siembra del maíz) que con tempranas (4 semanas antes de la siembra del maíz) (65% vs. 51%). Más aún, se observó que la sincronización de N estuvo negativamente asociada a la respuesta a N en el maíz y positivamente a las eficiencias de uso y de recuperación del nutriente.

En secuencias CS/girasol, se reportó que el girasol posterior a vicia rindió más (3.7 t/ha) que luego de avena o un barbecho (2.2 t/ha) cuando no se aplicó N, y similar al barbecho fertilizado (D'Onofrio et al., 2024). Tordó et al. (2024) confirmaron que, en años húmedos, la vicia incrementó el rendimiento del girasol en 315 kg/ha (8%) respecto al barbecho. Para el caso de vicia antecesor a soja, Rodríguez et al. (2024) indicaron que el CS afectó la dinámica de fijación biológica de N de la soja sin afectar su rendimiento (3 t/ha). Por último, recientemente se ha evaluado el uso de vicia como CS, previo a la siembra de cereales de invierno. Al respecto, Crespo et al. (2022) reportaron que sembrando vicia el 30 de enero con terminación del 11 de mayo, se logró una acumulación de MS de 4200 kg/ha y una acumulación de N de 137 kg/ha, lo

cual aumentó 25% el rendimiento de la cebada posterior.

Dado el efecto de los CS sobre la dinámica de N, es necesario contar con métodos para definir el manejo del nutriente. Particularmente, en secuencias vicia/maíz, Cafaro La Menza et al. (2025a) reportaron a partir de una revisión que, si bien la vicia realiza un aporte de N al cultivo siguiente, aún con dicho antecesor existe respuesta a la fertilización nitrogenada (promedio de 1800 kg/ha), pero de menor magnitud respecto a un barbecho (promedio de 1200 kg/ha). Sin embargo, el aporte de N de la vicia (o indirectamente la biomasa producida), no es el único factor que explica la respuesta (o ausencia de respuesta) a la fertilización nitrogenada en el maíz posterior. Esto es debido a que en el doble cultivo también existe una competencia por el recurso agua, la cual está ligada a la fecha de terminación del CS y las precipitaciones de la región. El análisis realizado para la región pampeana por Cafaro La Menza et al. (2025a) indicó que la respuesta a la fertilización con N en cultivos de maíz cuyo antecesor fue vicia estuvo asociada a: (i) el grado de limitación con N del ambiente (ambientes con alta respuesta a N luego de un barbecho, también responderán a N aunque hayan tenido vicia), (ii) la acumulación de N en vicia (menor acumulación de N implicó una mayor respuesta a la fertilización), (iii) la disponibilidad de agua (mayor respuesta a N con balances hídricos más favorables) y (iv) el contenido de materia orgánica del suelo (mayor respuesta a N con menores valores de materia orgánica por menor aporte de N nativo) (Figura 1). En síntesis, la respuesta o no a la fertilización con N

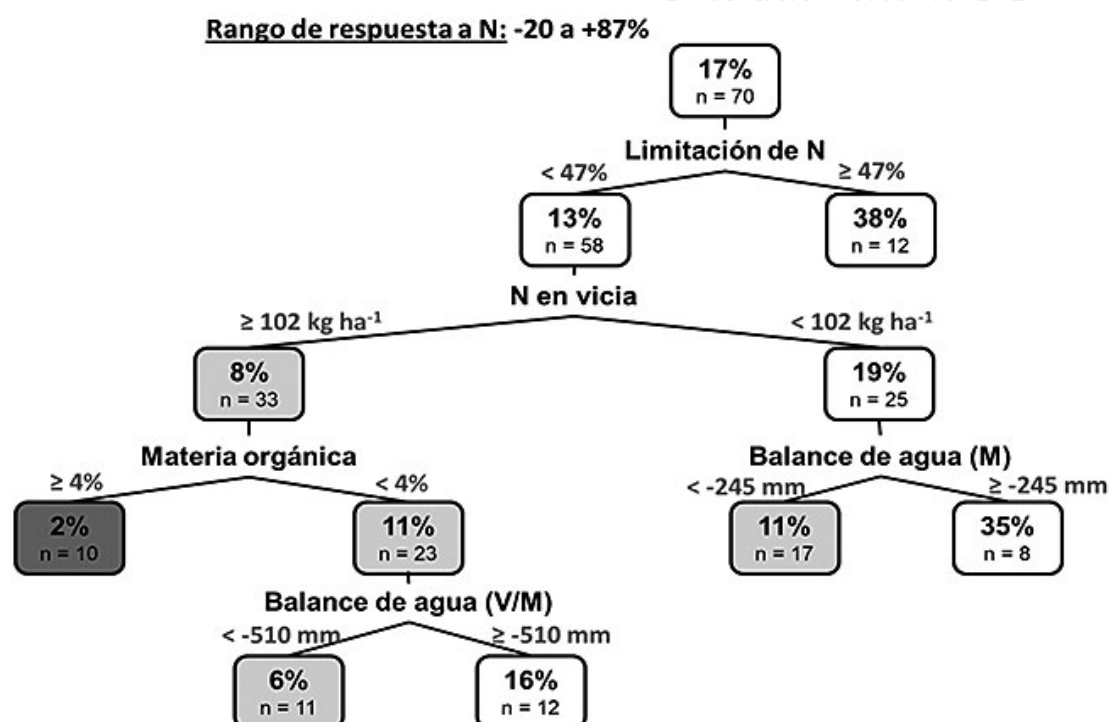


Figura 1. Árbol de regresión de la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz luego de vicia. La respuesta es expresada en % sobre el maíz no fertilizado. La limitación de N fue calculada como la respuesta a N de un maíz luego de barbecho, y los balances de agua (precipitación – evapotranspiración de referencia) fueron calculados para el ciclo del maíz (M) y la secuencia vicia/maíz (V/M). Adaptado de Cafaro La Menza et al. (2025a).

en maíz aún con antecesor vicia se explicó por el balance entre la demanda y oferta de N.

3– Impacto de los CS en el mediano-largo plazo

Las secuencias de cultivo que consistentemente incluyen CS han mostrado efectos más allá del cultivo de cosecha posterior. En un estudio de larga duración en Oliveros (Santa Fe) se observó que luego de 16 años, aquellas secuencias que ocuparon el suelo con cereales y CS incrementaron la producción de soja en aproximadamente 400 kg/ha respecto del monocultivo continuo de soja (Salvagiotti et al., 2024). Este efecto residual de la inclusión de CS es consecuencia de los múltiples beneficios sobre la fertilidad física, química y biológica del suelo, donde la dinámica de nutrientes es modificada. Con respecto a la dinámica del N, Rodríguez et al. (2024) en la zona del sudeste de Bs As mostraron que en secuencias vicia/soja/trigo, el contenido de N-nitrato a la siembra del trigo incrementó (20 a 40 kgN/ha) con la acumulación de materia seca de la vicia, y en uno de tres ensayos, la vicia aumentó significativamente el rendimiento de trigo respecto a la secuencia barbecho/

soja/trigo. Estudios en el sur de Santa Fe han mostrado que el aporte neto de N de cultivos de vicia (con producciones de biomasa aérea mayores a 5000 kg/ha) osciló entre 32 y 40 kg N/ha en el cultivo de maíz de segunda siguiente y sumó además un efecto residual de 12 kg N/ha en el cultivo de trigo siguiente (Biassoni et al., 2024).

4– Análisis económico

La vicia es uno de los CS más empleados cuando el objetivo es aportar nutrientes, principalmente N, a los cereales de verano, como el maíz. Un análisis realizado por Cafaro La Menza et al. (2025b), reportó para la región Pampeana Argentina una respuesta positiva a la vicia en 49% de las situaciones, con una respuesta promedio de 2200 kg/ha. Asumiendo que dicha respuesta es debida principalmente al aporte de N de la vicia, sería necesario fertilizar el maíz posterior a un barbecho invernal con 174 kg urea/ha para obtener la misma respuesta en rendimiento (asumiendo un requerimiento de N del maíz de 20 kg N/t grano y una eficiencia de recuperación del 55%). Considerando precios históricos promedio, el costo por hectárea de implantar vicia es de US\$86,7 y el costo de aplicar los 174 kg urea/ha es de US\$96, lo cual resulta en promedio en un margen bruto favorable para la vicia. Si bien los cálculos demuestran un beneficio económico de incluir vicia previa a maíz debido a su aporte de N, hay otros servicios ecosistémicos, como el control de la erosión o el aporte de carbono orgánico que son difíciles de monetizar y que generan un beneficio para el sistema. Más aún, y tal como se mencionó, los efectos positivos de la vicia se extienden más allá del cultivo inmediato, lo cual también debe considerarse al analizar la conveniencia económica de incluir un CS.



Mezcla de cultivos de servicio de vicia y centeno previo a su terminación

Bibliografía

Biassoni, M. M.; Agosti, M. B.; Kehoe, E.; Enrico, J. M.; Gutiérrez Boem, F. H.; Salvagiotti, F. 2024. *N Stress Alleviation in Crops—A System Approach Analysing Residual N From Winter Crops in a Late-Maize-Wheat Sequence*. *J AgronomyCropScience*, 210(5) e12761. doi: 10.1111/jac.12761

Cafaro La Menza, F.; Salvagiotti, F.; Maltese, N. E.; Ecclesia, R. P.; Barraco, M.; Echarte, L.; Barbieri, P. A. y Carciochi, W. D. 2025a. *New insights to understand the influence of hairy vetch on maize yield and its response to nitrogen application*. *European Journal of Agronomy*, 162, 127434.

Cafaro La Menza, F.; Salvagiotti, F.; Maltese, N.; Barraco, M.; Ecclesia, P.; Barbieri, P. A.; de Sá Pereyra, E.; Gudelj, V.; Urcola, H.; Ducos, I.; Guazzelli, S.; Reussi Calvo, N.; Crespo, C.; Sainz Rozas, H.R.; Carciochi, W.D. 2025b. *Evaluación económica del uso de vicia previa a maíz tardío en la Región Pampeana*. Simposio Fertilidad, Mayo 2025.

Cafaro La Menza, F.; Carciochi, W.D. 2023. *Catch crops in the Argentinean Pampas: a synthesis-analysis on nutrient characteristics and their implications for a sustainable agriculture*. *Frontiers in Agronomy*, 5, p.1244057.

Carciochi, W. D.; Cafaro La Menza, F.; Terwissen Gjerloff, D. G.; Reussi Calvo, N. I.; Divito, G. A.; Avila Manotoa, O. R.; Rodriguez, M. P.; Tovar Hernandez, S.; Lapaz Oliveira, A.; Sainz Rozas, H. R.; Barbieri, P. A. 2025. *A comprehensive analysis of the nitrogen synchrony between cover crops release and maize uptake*. *Plant Soil*.

Carciochi, W. D.; Crespo, C.; Eliceche, M.; Barbieri, P. A. 2021a. *Nitrogen and Sulfur Recycling and Diagnostic in Cover Crop-Maize Systems*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 801–812.

Carciochi, W. D.; Massigoge, I.; Lapaz Oliveira, A.; Reussi Calvo, N. I.; Cafaro La Menza, F.; Sainz Rozas, H. R.; Barbieri, P. A.; Di Napoli, M.; Gonzalez Montaner, J.; Ciampitti, I. A. 2021b. *Cover crop species can increase or decrease the fertilizer-nitrogen requirement in maize*. *Agronomy Journal*, 113(6), 5412–5423.

Caviglia, O. P.; Andrade, F. H. 2010. *Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: Capture and use efficiency of environmental resources*. *American Journal of Plant Sciences Biotechnology*, 3:1-8.

Crespo, C.; Wyngaard, N.; Sainz Rozas, H.; Barbagelata, P.; Barraco, M.; Gudelj, V.; Barbieri, P. 2021. *Improving soil organic nitrogen and sulfur pools by cover cropping and crop fertilization in soybean-based cropping systems*. *Soil and Tillage Research*.

Crespo, C.; Igarza, J.; Divito, G.; Barbieri, P. 2022. *Efecto de vicia como cultivo de cobertura sobre el rendimiento de cebada*. XXVIII Congreso argentino de la Ciencia del Suelo (CACS). Buenos Aires.

D'Onofrio, E. P.; Tordó, A. L.; Crespo, C.; Wyngaard, N.; Sainz Rozas, H. R.; Carciochi, W. D.; Barbieri, P. A. 2024. *Cultivos de cobertura: disponibilidad de nitrógeno y agua en la rotación girasol-trigo*. XXIX CACS. Catamarca, Mayo 2024.

Rodriguez, M. P.; Carcedo, A. J. P.; Correndo, A. A.; Crespo, C.; Carciochi, W. D.; Sainz Rozas, H. R.; Ciampitti, I. A.; Barbieri, P. A. 2024. *Assessing the nitrogen supply of hairy vetch in a soybean-wheat sequence*. *Field Crops Research*, 316, 109496.

Salvagiotti, F.; Biassoni, M. M.; Magnano, L. y Bacigaluppo, S. 2024. *Enhanced seed yield of full-season soybean when rotated with cereals and cover crops as compared to monoculture in a long-term experiment*. *European Journal of Agronomy*, 161, 127382. doi: 10.1016/j.eja.2024.127382.

Tordó, A. L.; Crespo, C.; Wyngaard, N.; Sainz Rozas, H. R.; Carciochi, W. D.; Barbieri, P. A. 2024. *Vicia como cultivo de cobertura: ¿Existe residualidad de nitrógeno en rotación con girasol y trigo?*. XXIX CACS. Catamarca, Mayo 2024.

Wingeyer, A. B.; Amado, T. J.; Pérez-Bidegain, M.; Studdert, G. A.; Perdomo Varela, C. H.; Garcia, F. O.; Karlen, D. L. 2015. *Soil quality impacts of current South American agricultural practices*. *Sustainability*, 7(2), pp.2213-2242.