



Diversificación de la secuencia de cultivos con foco en cultivos de servicio

Foto: Martín Nolla

Santiago Alvarez Durán¹; Luciana Rey²

1- Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

2- Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

1– Trayectoria reciente de los sistemas de cultivos en Uruguay

Durante las últimas décadas, se produjo un marcado cambio en el uso del suelo en la región pampeana, impulsado principalmente por la creciente demanda global de alimentos. En Uruguay, el área agrícola ha reflejado las tendencias regionales, implicando una sustitución progresiva del sistema tradicional de rotación cultivos–pasturas por sistemas bajo agricultura continua (Franzluebbers et al., 2014). Esto implicó la transición hacia sistemas simplificados con un menor grado de diversificación (Baeza y Paruelo, 2020).

2– Un caso del impacto de la pérdida de diversidad

Recientemente, un análisis de datos de campo en chacras comerciales (n= 65) del litoral oeste agrícola de Uruguay, permitió identificar a la baja diversidad de la secuencia de cultivos como una de las principales carac-

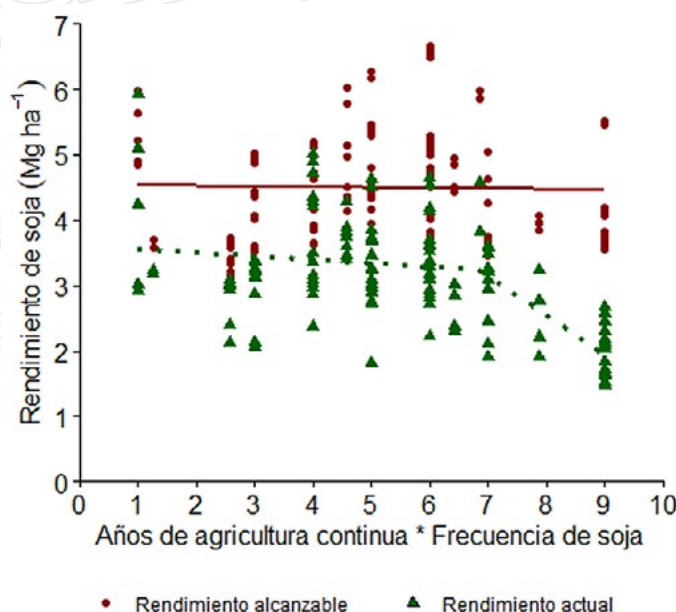


Figura 1. Gráfico de dispersión con rendimiento actual (Ya; Mg/ha; triángulos verdes) y alcanzable (Yatt; Mg/ha; círculos rojos) de soja en función de los años bajo agricultura continua por frecuencia de soja en la fase de verano. Línea roja: $p > 0.05$; Línea punteada verde: $R^2 = 0.33$; $p \leq 0.05$. Adaptado de Álvarez y Ernst, (2025).

terísticas asociadas a los sistemas agrícolas que obtienen bajos rendimientos actuales de soja (Álvarez y Ernst, 2025). Estas mermas en el rendimiento real fueron capturadas principalmente por el indicador años de agricultura continua por la frecuencia de soja en verano (Figura 1).

Estos resultados, son congruentes con los reportados por Ernst et al (2018) sobre el efecto de las pasturas en el rendimiento de trigo, y aditivos al efecto de rotar soja con maíz, que fue observado nuevamente por Álvarez y Ernst (2025) y ya había sido reportado por Mazzilli y Ernst (2019), utilizando bases de datos productores de FUCREA. Implica una ventana de oportunidad respecto a la mejora en la eficiencia de producción cuando se planifica la diversidad del sistema de cultivos.

3– La oportunidad de los cultivos de servicios para aumentar la diversidad

A partir del 2013, con el objetivo de mitigar problemas asociados a la erosión de suelos, se implementó el Plan de Uso y Manejo Responsable de Suelos. El mismo promovió la adopción de buenas prácticas agrícolas, entre ellas la incorporación de cultivos de servicio (CS) invernales, también conocidos como cultivos de cobertura (Figura 2). Si bien los CS se consolidaron como una herramienta central para proteger el suelo de la erosión en invierno, se

constituyeron en una oportunidad sin precedentes para aumentar la diversidad de los sistemas de cultivo y aportar múltiples beneficios como el manejo de malezas, la promoción de insectos benéficos, la optimización del uso de agua y nutrientes, y la contribución al secuestro de carbono.

4– Proyecto de Cultivos de Servicio

Durante los últimos tres años se desarrolló el FPTA 357 “Cultivos de Servicio: promoción y validación de su manejo en sistemas agrícolas del litoral y centro-sur del Uruguay”, el cual tuvo por objetivo transferir la tecnología de los CS a los productores agrícolas y generar información de manejo sobre su efecto en la secuencia de cultivos. Los resultados globales del proyecto estarán compilados próximamente en una Serie FPTA que se encuentra en edición

5– Aporte de los cultivos de servicio

Esta disertación se centrará sobre el efecto residual de la inclusión de CS invernales en el invierno siguiente. Los resultados provienen de dos experimentos realizados en EEMAC, que comenzaron con la siembra de los CS en 2022 y 2023. El diseño del experimento fue un DBCA con siete tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: i) barbecho de invierno, ii) CS de *Avena byzantina*,

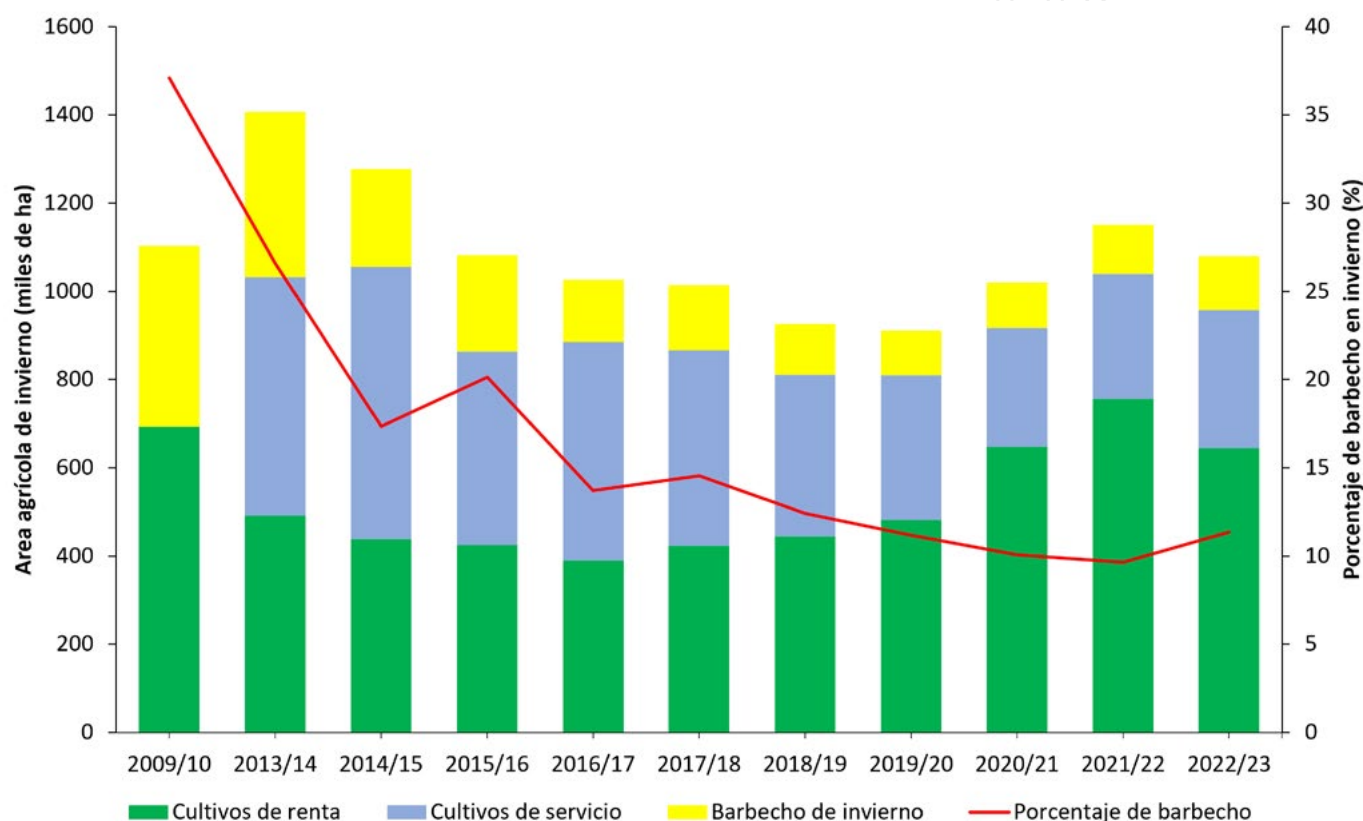


Figura 2. Evolución del área sembrada de invierno desde la implementación de los Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos. Fuente: elaborado en base a datos de DIEA-MGAP.

iii) CS de *Avena strigosa*, iv) CS de *Vicia villosa*, v) CS de *Trifolium resupinatum*, vi) CS de *Vicia villosa* y *Avena byzantina*, vii) CS de *Vicia villosa* y *Avena strigosa*. Para evaluar el enmalezamiento residual se tomaron todos los tratamientos, mientras que para el estudio del efecto sobre la dinámica de N y el rendimiento de los cultivos de invierno se utilizaron los tratamientos i, iii, iv y vi por considerarse los más representativos. Luego de suprimidos los CS, se realizó un cultivo de maíz y al siguiente invierno se sembraron cultivos de renta de cebada (2023) y trigo (2024), manteniéndose sin fertilización nitrogenada.

6– Resultados globales de los CS

La producción de biomasa de los CS fue alta (5,4 Mg/ha), superando monitoreos realizados en chacras comerciales. Las diferencias en N total absorbido (37–327 kg/ha) y en la relación C/N (10–49) reflejaron una amplia variabilidad en la dinámica del N: algunos CS promovieron inmovilización (C/N > 33) y otros mineralización (C/N < 24) neta. La elevada biomasa aérea explicó los altos niveles de cobertura del suelo (77% a supresión) y el bajo enmalezamiento invernal (6%) de manera general (Tabla 1).

Tabla 1. Estadística descriptiva de los seis CS evaluados para algunas variables evaluadas durante el período de crecimiento de los CS (2022 y 2023) en EEMAC.

Variable	Unidad	Media	Mediana	Máx	Mín
Biomasa aérea	Mg/ha	5.4	5.6	9.7	1.3
Nitrógeno total absorbido	Kg/ha	106	80	327	37
Relación C/N del residuo	#	25	23	49	10
Cobertura de los CS a 60 días de siembra	%	48	56	94	1
Cobertura de los CS a supresión	%	77	76	98	37
Cobertura de malezas a supresión	%	6	1	43	0
Malezas en estado reproductivo a supresión	#	12	2	65	1

7– Efecto residual de los CS

Para evaluar el efecto residual de invierno de los CS, se sembró al siguiente invierno de cada experimento de CS, cebada y trigo. Los CS modificaron el ambiente de producción, con efectos residuales durante el invierno siguiente (Tabla 2). Se registraron diferencias significativas en el enmalezamiento previo a siembra y a cosecha, concentración de N-NO₃-a siembra, N en planta a previo a encañado, altura de hoja bandera y rendimiento relativo.

8– Efecto en el enmalezamiento

Los CS con gramíneas redujeron el enmalezamiento al año siguiente respecto al barbecho (p < 0.05), debido a (i) menor reinfestación del banco de semillas y (ii) mayor cantidad y persistencia de rastrojo.

En barbecho, previo a la siembra de los cultivos cereales, las parcelas donde se había sembrado avena negra presentaron consistentemente el menor enmalezamiento. Las parcelas donde se habían sembrado las mezclas, vicia y avena común, presentaron enmalezamientos intermedios, aunque su efecto residual se mostró dependiente del año evaluado. El tratamiento con trébol persa mostró el peor

Tabla 2. Efectos principales cultivo de servicio, sitio y su interacción sobre variables evaluadas durante el cultivo de renta del invierno siguiente (2023 y 2024) en EEMAC. Códigos de significancia: **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 + 0.1 'NS' No significativo.

	CS	Año	CS * año
Malezas en reproductivo a supresión del CS	**	***	***
Cobertura de malezas a siembra de CR ¹ de invierno	***	***	NS
Cobertura de rastrojo a siembra de CR ¹ de invierno	**	NS	NS
Cobertura de malezas a implantación de CR de invierno	NS	+	NS
Cobertura de malezas a cosechade CR de invierno	***	***	NS
N-NO ₃ -a siembra del CR de invierno	*	**	*
N-NO ₃ -a Z.22 del CR de invierno	NS	NS	NS
N en planta previo a encañado del CR de invierno	*	**	+
Altura de hoja bandera del CR de invierno sin N	**	**	*
Rendimiento relativo ² del CR de invierno sin N	*	NS	*

¹Cultivo de renta; ²Rendimiento relativo = Rendimiento de cultivo de renta post CS en sitio n/Máximo rendimiento de cultivo de renta en sitio n.Fuente: proyecto FPTA 357

desempeño. Previo a la siembra del cultivo de renta de invierno, la menor cobertura de suelo ofrecida por el rastrojo de las leguminosas facilitó la emergencia de nuevas malezas. Aunque las diferencias entre antecesores se atenuaron durante el crecimiento del cultivo de renta ($p \geq 0.05$), al final del ciclo avena negra y vicia mantuvieron la menor infestación ($p < 0.001$), destacando la consistencia en el control de malezas de avena negra a lo largo del tiempo.

9– Efecto residual sobre nitrógeno

Los residuos de CS de avena por su alta C/N continuaron inmovilizando N en el suelo al invierno siguiente, reduciendo los valores de $N-NO_3^-$ a siembra, la absorción de N a inicio del encañado y la altura de hoja bandera. En cambio, el CS de *Vicia villosa*, que logró una alta producción de biomasa con un alto contenido de N y baja relación C/N, permitió una mayor disponibilidad de este en suelo y una mayor absorción por los cultivos de renta gramínea a inicio del encañado.

10– Efecto en el rendimiento de los cultivos

Debido a las mejoras observadas en la nutrición de N, los cultivos de renta gramínea sin fertilización nitrogenada vieron incrementado su rendimiento en un 30% cuando el antecesor de invierno fue el CS de *Vicia villosa* en comparación a Avena común ($p < 0.05$). El aumento en el rendimiento de los cultivos de invierno gramínea permite asumir que el costo de incorporar un CS de *Vicia villosa*

en la secuencia de cultivos puede ser disuelto en al menos dos zafras, en la medida que se ajuste la fertilización nitrogenada. Estos resultados se obtuvieron con CS de *Vicia villosa* que en promedio alcanzaron en torno a 4 Mg/ha biomasa seca aérea.

11– Conclusiones

Estos resultados permiten orientar el diseño de rotaciones diversificadas en zonas agrícolas del Uruguay, destacando la importancia de seleccionar especies de CS según el servicio ecosistémico prioritario. Los CS gramíneos se destacaron por su alta cobertura y persistencia de rastrojo, reduciendo la reinfestación de malezas. Mientras que los CS leguminosos aportaron N y mejoraron el rendimiento de cereales de invierno, aunque requieren un manejo adecuado para maximizar su biomasa. Los efectos de mediano plazo reportados representan una oportunidad para avanzar hacia sistemas más productivos, diversos y sostenibles.

Bibliografía

- Alvarez, S.; & Ernst, O.** (2025). *Explaining how diversified crop rotation systems reduce soybean yield gap: The case of Uruguay. Field Crops Research*, 325, 109823. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109823>
- Baeza, S.; Paruelo, J. M.** (2020). *Land use/land cover change (2000–2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. Remote sensing*, 12, 381, pp 1-22. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12030381>
- Franzluebbers, A. J.; Sawchik, J.; Taboada, M. A.** (2014). *Agronomic and environmental impacts of pasture-crop rotations in temperate North and South America. Agric Ecosyst Environ*, 190, pp 18–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017>

