

EVALUACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DE NITRÓGENO DESDE VICIA EN UNA SECUENCIA SOJA-TRIGO EN EL SUDESTE BONAERENSE

Rodríguez, M.P.^{1,2*}, Crespo, C.^{1,2}, Carciochi, W.D.^{1,2}, Sainz Rozas, H.R.^{1,2}, Carcedo, A.J.³, Correndo, A.A.³, Ciampitti, I.A.³, Barbieri, P.A.^{1,2}

¹Unidad Integrada Balcarce INTA-Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata; ²CONICET; ³Kansas State University, USA; *Ruta Nacional 226 km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, rodr.mariapia@gmail.com

RESUMEN: Los cultivos de cobertura (CC) de leguminosas representan una valiosa alternativa para suministrar nitrógeno (N) en los sistemas agrícolas. Con el objetivo de analizar la contribución de N y el N residual del CC vicia (*Vicia villosa* Roth.) sobre cultivos posteriores, se evaluó i) la disponibilidad de N y el N potencialmente mineralizable en el suelo, ii) el rendimiento de los cultivos y iii) el suministro de N dentro de la secuencia soja [*Glycine max* (L.) Merrill]-trigo (*Triticum aestivum* L.) en el sudeste bonaerense. La secuencia estudiada fue vicia-soja-trigo. Se realizaron tres experimentos denominados E1, E2 y E3. Los factores investigados fueron CC vicia y barbecho, y la fertilización nitrogenada en trigo (150N y 0N). La materia seca aérea (MS) de vicia y su concentración de N se midieron al momento de la terminación. En soja se determinó la acumulación de N y concentración relativa de ureidos (CRU). Se analizó el N-NO₃⁻ y N incubado anaeróbicamente (Nan) a la siembra de soja y trigo. El contenido de N-NO₃⁻ a la siembra de soja aumentó 5,5 kg por Mg de MS acumulada de vicia y el Nan aumentó 3,6 mg kg⁻¹ por Mg de MS de vicia. El rendimiento y acumulación de N en soja no mostraron cambios con el incremento de la MS de vicia. La CRU en R5 disminuyó de 2,4 a 5,5 unidades (%) por Mg de MS de vicia. A la siembra de trigo, la MS de vicia mostró un leve incremento en el N-NO₃⁻. La vicia incrementó el rendimiento y N en grano de trigo únicamente en E1. La contribución de N de vicia se relacionó con una mayor disponibilidad de N en la soja inmediata, una disminución en la CRU, y un leve incremento en el N residual para el trigo siguiente en la rotación.

PALABRAS CLAVE: *Vicia villosa* Roth., cultivo de servicio, nitrato

INTRODUCCION

La integración de cultivos de cobertura (CC) en los sistemas agrícolas está relacionada a mejoras en las propiedades del suelo, productividad de los cultivos, reducción de la erosión a través de una mejor cobertura y el reciclaje de carbono y nutrientes (Fageria et al., 2005). Los CC leguminosas se destacan por su capacidad de fijar nitrógeno (N) atmosférico (FBN), que oscila entre 40 y 60% de la demanda total de N de la planta (Pinto et al., 2021). Además, poseen una relación C:N menor a 25:1 lo cual permite una mineralización neta de N desde sus residuos (Ackroyd et al., 2019). La vicia (*Vicia villosa* Roth.) es una leguminosa anual empleada como CC en muchas regiones agrícolas (Renzi et al., 2023). Generalmente presenta una alta producción de materia seca (MS) (superior a 4 Mg ha⁻¹) y una acumulación de N cercana a 30 kg por Mg (Pinto et al., 2021). La vicia se ha investigado como CC previo a cereales (Carciochi et al., 2021; Crespo et al., 2022); sin embargo, existen investigaciones limitadas como antecesor a leguminosas. Específicamente, los efectos de la vicia sobre el rendimiento de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] han mostrado resultados contrastantes, con incrementos (Acharya et al., 2019), reducciones o ningún cambio con relación al CC antecesor (Boselli et al., 2020). El aporte de N de vicia podría provocar un reemplazo de las fuentes de

N en la soja (más N proveniente del suelo en detrimento de la FBN) (Herridge et al., 2001). Una mayor absorción de N desde el suelo por la soja disminuiría la disponibilidad de N en el suelo, ya que la soja presenta altos requerimientos de N (75 a 80 kg Mg⁻¹). Por lo tanto, el N disponible en el suelo en la rotación se vería comprometido. En el sudeste bonaerense (SEB) donde el trigo (*Triticum aestivum* L.) es el principal cultivo invernal, el N residual proveniente de una rotación con predominancia de leguminosas puede resultar favorable para disminuir el costo de fertilizantes nitrogenados (Mesbah et al., 2019). Por lo tanto, el presente estudio propone evaluar los efectos de la MS de la vicia y el aporte de N sobre i) la disponibilidad de N del suelo y el N potencialmente mineralizable, así como su asociación con ii) el rendimiento de los cultivos y iii) el suministro de N para los cultivos en una secuencia soja-trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres experimentos a campo: E1 (2018/2019), E2 (2019/2020) y E3 (2020/2021) situados en el SEB sobre suelos Argiudoles típicos con textura franca (Tabla 1). La secuencia de cultivos estudiada fue vicia/soja-trigo. Los ensayos tuvieron trigo como cultivo anterior a la vicia. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas y tres repeticiones. Los factores investigados fueron CC, como parcela principal, con dos niveles: vicia y barbecho (sin vicia), y como subparcela la fertilización nitrogenada en trigo con dos niveles: 150N (150 kg N ha⁻¹) y 0N (sin fertilizante). Las siembras y terminaciones de vicia se realizaron en un amplio rango de fechas con el objetivo de obtener variaciones en la acumulación de MS. Se describe la caracterización inicial de los experimentos en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación del experimento, latitud (Lat.) y longitud (Long.), caracterización del suelo antes de la siembra de la vicia a una profundidad de 0,2 m para materia orgánica (MO), pH, P-Bray, N incubado anaeróbicamente (Nan), y densidad aparente (DAP); y a una profundidad de 0,6 m para N-NO₃⁻.

Experimento	Lat.	Long.	MO (g kg ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (kg ha ⁻¹)	P-Bray (mg kg ⁻¹)	Nan (mg kg ⁻¹)	pH	DAP (Mg m ⁻³)
E1	37,8°S	58,3°O	51,8	16,6	8,2	55,8	6,0	1,21
E2	37,8°S	58,2°O	49,7	52,9	22,5	64,3	5,6	1,20
E3	37,8°S	57,8°O	48,6	56,2	27,7	67,6	5,6	1,26

A la siembra de soja y trigo se tomaron muestras de suelo a 0,6 m para determinar la concentración de N-NO₃⁻. En E2 y E3 se determinó Nan a 0,2 m. Se midió la densidad aparente (DAP) para calcular el contenido de N-NO₃⁻ a 0,2 m. A 0,2-0,6 m se asumió una DAP promedio de 1,30 g cm⁻³. El cultivar de vicia fue Ascasubi INTA (35 kg ha⁻¹), las semillas se inocularon con *Rhizobium leguminosarum* bv. *Viciae* antes de la siembra. Previo a la terminación de vicia, se muestreó la materia seca aérea (MS). La vicia se terminó mediante la aplicación de glifosato [N-(fosfonometil)glicina] a una dosis de 2,40 kg i.a. ha⁻¹. Las muestras de MS fueron analizadas para determinar la concentración de N total. Se calculó el Tiempo térmico acumulado en grados día (°Cd) entre las fechas de siembra y terminación de vicia, donde Tiempo térmico (°Cd) = $\sum [(T_{max} + T_{min} / 2) - T_b]$, T_{max} y T_{min} corresponden a las temperaturas máximas y mínimas diarias y T_b a la temperatura base de crecimiento (T_b = 1,9 °C para la vicia, Iannucci et al., 2008).

En soja y trigo se aplicó fertilizante fosforado a la siembra como superfosfato triple (0-46-0) al voleo, considerando la extracción de los cultivos y para evitar deficiencias (25 kg P ha⁻¹).

La semilla de soja fue inoculada con *Bradyrhizobium japonicum* antes de la siembra. La siembra se realizó en la 2da quincena de noviembre (DM3810). Se muestrearon plantas en R5 y R7 para determinar la acumulación de N y la concentración relativa de ureidos (CRU) (disponible en E2 y E3). La cosecha se realizó en R8 y se ajustó el contenido de humedad a 13,5 g 100g⁻¹.

El trigo se sembró la 1ra quincena de agosto (SY330 en E1 y E3 y Buck Saeta en E3). El fertilizante nitrogenado en trigo fue urea (46-0-0) aplicada al voleo después de la siembra

(etapa de macollamiento Z25). Los experimentos se mantuvieron libre de malezas, insectos y enfermedades, se realizaron bajo condiciones de siembra directa y en secano. Los datos meteorológicos se obtuvieron de estaciones meteorológicas ubicadas a menos de 1 km de los experimentos. El trigo fue cosecha en Z90 y el contenido de humedad se ajustó a $14 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$. Tanto en soja como en trigo, se determinó la concentración de N total en granos.

Se analizaron los efectos de interacción y los efectos principales de los factores CC (vicia y barbecho) y fertilización nitrogenada en trigo (150N y 0N) sobre el rendimiento, concentración y contenido de N en soja y trigo mediante un ANOVA, con un alfa = 0,05. Cuando hubo efectos significativos se compararon las medias. Se analizó la relación entre las variables bajo estudio a partir de modelos lineales y lineales mixtos utilizando el software R (R Core Team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSION

La MS aérea de vicia al momento de terminación se ubicó en un rango de 1,2 a $8,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ y mostró una relación positiva con el largo del ciclo de vicia, expresado como tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) (Figura 1a). La acumulación de N en la MS de la vicia al momento de terminación también mostró una asociación positiva con $^{\circ}\text{Cd}$. Los valores de acumulación de N abarcaron un amplio rango, de 40 a 350 kg ha^{-1} (Figura 1b).

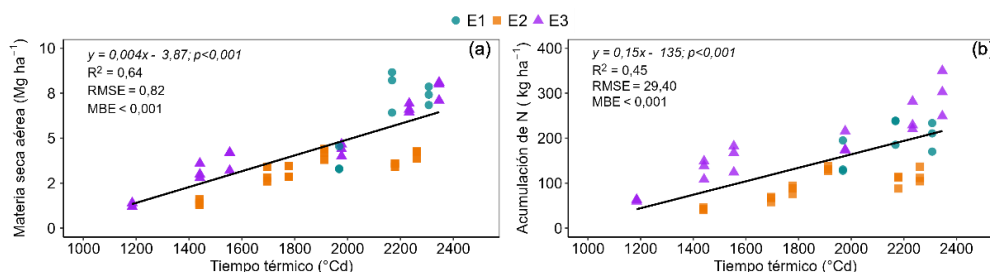


Figura 1. Producción de MS aérea (a) y acumulación de nitrógeno (b) de vicia al momento de terminación en función del largo del ciclo de vicia, expresados como suma de tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$). En cada panel se muestra la ecuación lineal ajustada, el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio (RMSE) y el error de sesgo medio (MBE). Se realizaron tres experimentos (E1, E2, E3) en el sudeste bonaerense. Tiempo térmico = $\sum [(T_{\text{max}} + T_{\text{min}} / 2) - T_b]$, donde T_{max} y T_{min} corresponden a temperaturas máximas y mínimas diarias y T_b a la temperatura base de crecimiento para vicia ($T_b = 1,9^{\circ}\text{C}$).

El contenido de N-NO_3^- en el suelo a la siembra de soja aumentó con el incremento en la MS de vicia (Figura 2a). El barbecho (0 Mg ha^{-1} de MS de vicia) mostró un contenido promedio de N-NO_3^- de 51 kg ha^{-1} , mientras que la máxima MS de vicia alcanzada ($8,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) mostró un contenido medio 99 kg ha^{-1} . Estos aumentos en la disponibilidad de N-NO_3^- están en línea con lo informado por Carciochi et al. (2021) y Crespo et al. (2022). El Nan a la siembra de soja mostró una relación positiva con la MS de vicia, aumentando $3,6 \text{ mg kg}^{-1}$ por Mg de MS y presentó una variabilidad moderada ($R^2 = 0,42$) (Figura 2b). En concordancia con lo observado por Boselli et al. (2020), la vicia no incidió en el rendimiento de la soja, ni con el N acumulado en grano (Figura 2c, 2d).

En R5, la MS de vicia afectó negativamente la CRU, con disminuciones de 2,4 (E2) y 5,5 unidades (%) (E3) por Mg de MS de vicia (Figura 3a). En R7, E3 mostró una disminución de 3 unidades (%) por Mg de MS de vicia (Figura 3b). La acumulación de N en soja no se vio afectada en R7. La acumulación de N de la soja promedió 332 kg N ha^{-1} y abarcó $256\text{-}419 \text{ kg N ha}^{-1}$ en ambos experimentos (Figura 3c). De manera similar, la diferencia en la acumulación de N entre R7 y R5 se mantuvo constante en 96 kg N ha^{-1} independientemente de la MS de vicia (Figura 3d). Estos resultados son similares a los informados por Navarro et al. (2015), quienes observaron una disminución en la nodulación de soja con antecesor vicia, pero sin afectar negativamente la acumulación de N en el cultivo. Esto sugiere una posible sustitución de fuentes de N por mayor absorción de N de la vicia y menor de la FBN. No obstante, en escenarios donde la soja podría estar limitada por N, el aporte de N desde la vicia podría ser

una alternativa de interés para satisfacer la demanda del nutriente (ej. Soja irrigada con rendimientos que oscilan en 6 a 8 Mg ha⁻¹ en el SEB).

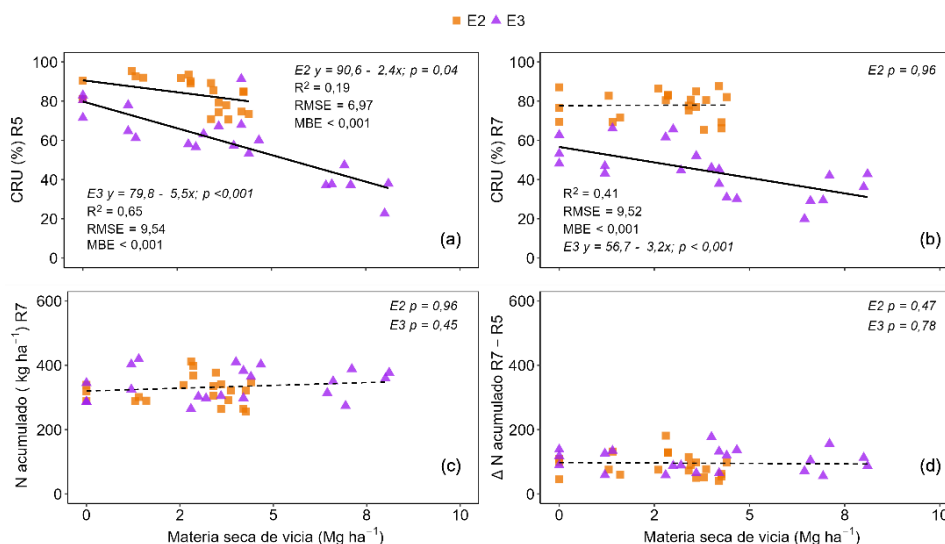
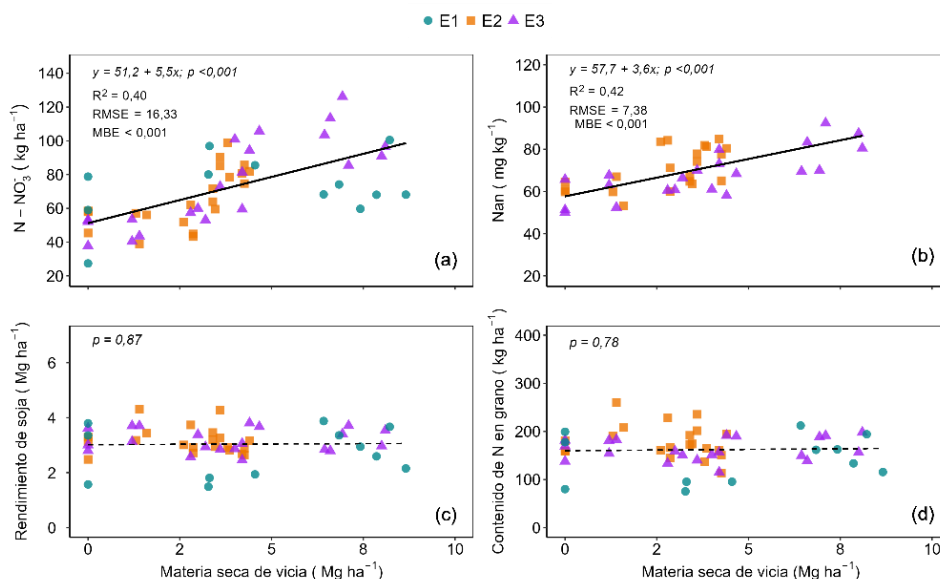


Figura 3. Concentración relativa de ureidos de soja (CRU) en R5 (a) y R7 (b), acumulación de nitrógeno (N) en R7 (c) y diferencia en la acumulación de N entre R7 y R5 (d) en soja, en función de la MS de vicia al momento de terminación. La línea sólida muestra el modelo lineal significativo y la línea discontinua el modelo lineal no significativo. En (a) y (b) se muestra el coeficiente de determinación (R²), el error cuadrático medio (RMSE) y el error de sesgo medio (MBE). Se describen los experimentos E2 y E3 en el sudeste bonaerense.

La MS de vicia mostró una relación positiva con el contenido de N-NO₃⁻ a la siembra de trigo (Figura 4a). Sin embargo, el modelo ajustado explicó una baja proporción de la variación de

N-NO_3^- ($R^2 = 0,15$). Por otro lado, el aumento en la MS de vicia no se relacionó con el Nan a la siembra de trigo (Figura 4b).

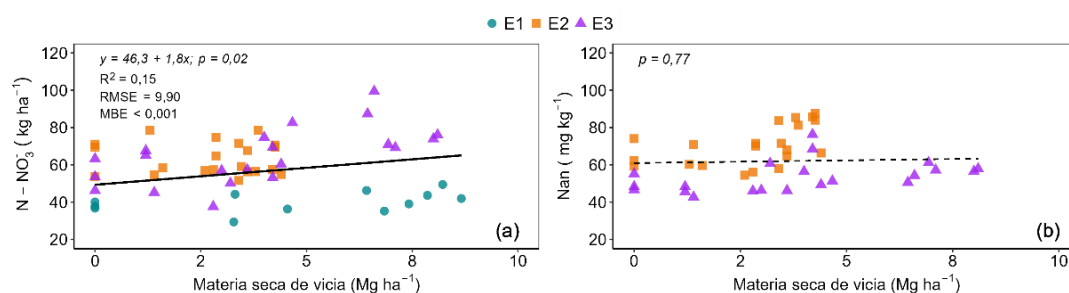


Figura 4. Contenido de N-NO_3^- en el suelo (0,6 m de profundidad) a la siembra de trigo (a), y N incubado anaeróbicamente (Nan) a la siembra de trigo (0,2 m de profundidad) (b), en función de la materia seca aérea de vicia al momento de terminación. Se muestra una línea sólida para los modelos significativos y una línea discontinua para los modelos no significativos. Para modelos significativos se muestra el coeficiente de determinación (R^2), el error cuadrático medio (RMSE) y el error de sesgo medio (MBE). Se realizaron tres experimentos (E1, E2, E3) en el sudeste bonaerense. La información de Nan estuvo disponible en E2 y E3.

No se observó una interacción entre CC y el fertilizante nitrogenado al analizar el rendimiento, la concentración y el contenido de N en el grano de trigo (Tabla 2). En E1, el rendimiento y el contenido de N fue mayor con vicia en comparación al barbecho, mientras que no se observaron diferencias en la concentración de N (Tabla 2). Este incremento en el rendimiento de trigo puede relacionarse con la MS acumulada en vicia que superó siempre los 3 Mg ha^{-1} y con la siembra temprana de vicia en dicho experimento (principios de abril) que pudo haber contribuido al rápido crecimiento inicial de la vicia (datos no mostrados). El fertilizante (150N) mejoró el rendimiento de trigo en todos los experimentos ($p < 0,05$). En E1 y E3, la fertilización aumentó la concentración y el contenido de N en el grano en comparación con el tratamiento sin fertilizante (0N). En E2, la concentración de N no difirió significativamente entre 150N y 0N, mientras que la fertilización (150N) aumentó el contenido de N en el grano (Tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento, concentración y contenido de N en grano de trigo, en dos tratamientos de cultivo de cobertura: vicia y barbecho (sin vicia), y dos tratamientos de fertilización, 150N (150 kg ha^{-1}) y 0N (0 kg ha^{-1}). Los valores se muestran como media $\pm$ error estándar. En cada experimento, letras idénticas indican diferencias no significativas entre medias (prueba de Tukey, $\alpha = 0,05$). Se describen los experimentos E1, E2 y E3 en el sudeste bonaerense.

Experimento	Tratamiento	Rendimiento (Mg ha^{-1})	Concentración de N (g kg^{-1})	Contenido de N (kg ha^{-1})
E1	Vicia	$5,25 \pm 0,12 \text{ a}$	$18,2 \pm 0,68 \text{ a}$	$95,3 \pm 4,42 \text{ a}$
	Barbecho	$4,71 \pm 0,21 \text{ b}$	$17,3 \pm 1,18 \text{ a}$	$82,3 \pm 7,65 \text{ b}$
E2	Vicia	$5,06 \pm 0,13 \text{ a}$	$21,1 \pm 0,48 \text{ a}$	$106 \pm 2,21 \text{ a}$
	Barbecho	$4,89 \pm 0,32 \text{ a}$	$20,5 \pm 1,18 \text{ a}$	$98,5 \pm 5,41 \text{ a}$
E3	Vicia	$4,91 \pm 0,15 \text{ a}$	$22,5 \pm 0,50 \text{ a}$	$112 \pm 4,90 \text{ a}$
	Barbecho	$4,96 \pm 0,37 \text{ a}$	$21,6 \pm 1,23 \text{ a}$	$108 \pm 12,0 \text{ a}$
E1	0N	$4,88 \pm 0,15 \text{ b}$	$16,0 \pm 0,44 \text{ b}$	$78,2 \pm 3,30 \text{ b}$
	150N	$5,35 \pm 0,12 \text{ a}$	$19,9 \pm 0,75 \text{ a}$	$106 \pm 4,02 \text{ a}$
E2	0N	$4,52 \pm 0,12 \text{ b}$	$23,0 \pm 0,54 \text{ a}$	$104 \pm 3,27 \text{ b}$
	150N	$5,54 \pm 0,15 \text{ a}$	$22,5 \pm 0,29 \text{ a}$	$124 \pm 2,82 \text{ a}$

E3	0N	4,35 ± 0,16 b	20,8 ± 0,50 b	91,1 ± 4,58 b
	150N	5,48 ± 0,16 a	24,0 ± 0,56 a	131 ± 4,55 a

CONCLUSIONES

La vicia aumentó la disponibilidad de N en el suelo para la soja inmediata, y hubo un leve incremento en el N residual para el cultivo de trigo en la secuencia propuesta en el presente estudio. La soja mostró una tendencia a obtener más N del suelo y utilizar menos N de la atmósfera, reflejado por una disminución de la CRU. Si bien el N residual de vicia produjo un aumento en la productividad de trigo solo en un experimento, la contribución de N de vicia podría conducir a menores aplicaciones de fertilización nitrogenada en otros escenarios agrícolas. Estudios futuros deberían analizar el N residual de vicia en condiciones ambientales contrastantes

AGRADECIMIENTOS

El financiamiento para este trabajo fue otorgado por FONCyT PICT 2016-910, CONICET, proyecto macrorregional INTA “Intensificación Sostenible de la Agricultura Extensiva en la Región Pampeana” (Código: 2023-PE-L01-I012) y Kansas Agricultural Experiment Station.

BIBLIOGRAFIA

- Acharya, B.S., Dodla, S., Gaston, L.A., Darapuneni, M., Wang, J.J., Sepat, S. & Bohara, H. (2019). Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. *Soil and Tillage Research*. 195:104430.
- Ackroyd, V.J., Cavigelli, M.A., Spargo, J.T., Davis, B., Garst, G. & Mirsky, S.B. (2019). Legume cover crops reduce poultry litter application requirements in organic systems. *Agronomy Journal*. 111(5): 2361-2369.
- Boselli, R., Fiorini, A., Santelli, S., Ardeni, F., Capra, F., Maris, S.C. & Tabaglio, V. (2020). Cover crops during transition to no-till maintain yield and enhance soil fertility in intensive agro-ecosystems. *Field Crops Research*. 255:107871.
- Carciocchi, 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. (2021). Cover crop species can increase or decrease the fertilizer-nitrogen requirement in maize. *Agronomy Journal*. 113(6): 5412-5423.
- Crespo, C., Corral, R.A., Diez, S.N., Delgado, S.G., Domínguez, G.F., Agostini, M.A., Cendoya, M.G., Sainz Rozas, H.R., García, G.V. & Studdert, G.A. (2022). Green bridge crops to manage corn nitrogen nutrition in the Southeastern Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*. 218:105311.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. & Bailey, B.A. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in soil science and plant analysis*. 36(19-20): 2733.
- Herridge, D.F., Turpin, J.E. & Robertson, M.J. (2001). Improving nitrogen fixation of crop legumes through breeding and agronomic management: analysis with simulation modelling. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41(3): 391-401.
- Iannucci, A., Terribile, M.R. & Martiniello, P. (2008). Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*. 106(2):156-162.
- Mesbah, A., Nilahyane, A., Ghimire, B., Beck, L. & Ghimire, R. (2019). Efficacy of cover crops on weed suppression, wheat yield, and water conservation in winter wheat–sorghum–fallow. *Crop Science*. 59(4):1745-1752.
- Navarro, G., Boccolini, M.F., Baigorria, T., Aimetta, M.B., Bertolla, A. y Cazorla, C.R. (2015). ¿Los cultivos de cobertura pueden modificar el patrón de nodulación de soja (*Glycine max* L.)?. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*. 41: 47-52.
- Pinto, P., Rubio, G., Gutiérrez, F., Sawchik, J., Arana, S. & Piñeiro, G. (2021). Variable root: shoot ratios and plant nitrogen concentrations discourage using just aboveground biomass to select legume service crops. *Plant and Soil*, 463: 347-358.

Renzi, J.P., Garayalde, A.F., Brus, J., Pohankova, T., Smýkal, P. & Cantamutto, M.A. (2023). Environmental and agronomic determinants of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) seed yield in rainfed temperate agroecosystems. *European Journal of Agronomy*. 147:126822.

R Core Team. (2023). R: The R Project for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>