



Contribución de la biomasa subsuperficial de soja al índice de cosecha

Kehoe, E. y Salvagiotti, F.

INTA EEA Oliveros. Grupo manejo de cultivos, suelo y agua

Palabras clave: cultivo de soja, biomasa, cosecha.

Introducción

El cultivo de soja (*Glycine max L.*) es una de las principales fuentes de aceite y proteína vegetal para la producción de alimentos. En Argentina este cultivo ocupa, aproximadamente, el 60% de superficie cultivable y ha tenido consecuencias negativas sobre la fertilidad del suelo, reduciendo los niveles de materia orgánica (Novelli *et al.*, 2011), y deteriorando, en el largo plazo, los balances de nutrientes en los suelos (Lavado, R. S., & Taboada, M. A. 2009, Andrade 2017).

El aporte de carbono y nutrientes de los cultivos al sistema de producción está directamente ligado a la cantidad y calidad de residuos que quedan en el sistema luego de la cosecha. Estos aportes se suelen estimar a partir de un índice de cosecha, o a través de balances parciales entre el nutriente exportado con los granos y aquel que queda en el sistema.

Sin embargo, estas estimaciones solo tienen en cuenta los aportes de estructuras aéreas, ya que pocos estudios han cuantificado las contribuciones de la biomasa subsuperficial en condiciones de campo. Además, la mayor contribución de información de raíces se ha realizado con raíces de plántulas, y es necesario determinar si el sistema radical a madurez tiene las mismas respuestas que las raíces de las plántulas ante diferentes condiciones de crecimiento (Benjamin, J. 2013).

La mayoría de los estudios han cuantificado la biomasa subsuperficial en condiciones controladas en macetas o invernadero; sin embargo, las estimaciones en estas condiciones no imitan lo que sucede con el crecimiento de raíces y nódulos en

los suelos, y no reflejan las complejas interacciones entre el suelo y las plantas y el efecto sobre el crecimiento y el desarrollo de las raíces.

Los estudios en condiciones de campo utilizados como valores de referencia son escasos y presentan grandes variaciones de resultados, debido a los diferentes métodos utilizados en la determinación de la biomasa subsuperficial o diferentes profundidades de muestreos.

Por ello, los objetivos planteados en este trabajo fueron cuantificar: (i) la distribución relativa de la biomasa aérea y subsuperficial en el cultivo de soja y (ii) el impacto de la inclusión de la biomasa radical sobre el cálculo del índice de cosecha.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el campo experimental de la EEA INTA Oliveros durante las campañas 2016/17 y 2017/18, sobre suelo Argiudol típico, serie Maciel.

Se evaluaron dos cultivares con distinto grupo de madurez (GM): Sy4x1[®] de Syngenta (GM IV) y DM53i53[®] IPRO de Don Mario (GM V) en dos condiciones hídricas (Condición Hídrica) contrastantes (riego y seco).

En consecuencia, los tratamientos fueron: i) GM IV-RIEGO, ii) GM IV-SECANO, iii) GM V-RIEGO y iv) GM V-SECANO. Las fechas de siembra fueron 7 y 8 de noviembre para cada año, utilizando semillas inoculadas con cepas comerciales de *Bradyrhizobium japonicum* (E109, 2.5 ml kg⁻¹ semillas). El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. El tamaño de las parcelas fue de 10 surcos a 0,52 m de ancho por 20 m de largo, con una densidad de emergencia 31 plantas m⁻². Los tratamientos con riego fueron



realizados con sistema de riego por goteo.

Se realizaron muestreos de biomasa aérea y subsuperficial en R2, R5 y R7 (Fehr and Caviness, 1977), retirando bloques de suelo sin disturbar de 0,52 m de ancho (centrado en surco), 0,35 m de largo y 0,3 m de profundidad (Foto 1). Se separó la parte aérea de las plantas y se realizó el lavado de raíces y nódulos con un flujo constante de agua y colado en malla de 2 mm para recuperar posibles restos finos de raíces desprendidos. En todos los momentos de muestreo se cuantificó la materia seca. La biomasa subsuperficial se separó en raíces y nódulos, mientras que la biomasa aérea se separó en hojas, tallos, vainas, carpelos y semillas, dependiendo del estadio fenológico. Todos los tejidos se secaron durante 72 hs a 60 °C, y luego se pesaron. En R7, las hojas caídas fueron recolectadas e incluidas al cálculo de biomasa aérea.

A madurez fisiológica se realizó la cosecha de 15 m de longitud sobre dos surcos centrales y el rendimiento se informó ajustado a un contenido de humedad estándar de 13.5%. El índice de cosecha se calculó como la relación entre grano y biomasa aérea (ICAéreo) y biomasa total (ICTotal) incluyendo estructuras subsuperficiales. Malezas, enfermedades y plagas se controlaron químicamente cuando fue necesario, siguiendo las prácticas agronómicas locales.



Foto 1: muestreo de biomasa subsuperficial y aérea a campo por excavación de bloques sin disturbar.



Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013) para evaluar los efectos del año, el grupo de madurez (GM), Condición ión Hídrica y sus interacciones en todas las variables medidas. Las diferencias entre los parámetros de las etapas de desarrollo se evaluaron utilizando modelos mixtos. Las figuras se realizaron con el software GraphPad Prism 6® (La Jolla, CA, EE. UU.).

Resultados

Condiciones climáticas

Las precipitaciones acumuladas y temperaturas variaron considerablemente en las dos campañas analizadas (Figura 1). Las precipitaciones acumuladas en 2016/17 fueron de 630 mm, 48% superior a los registros históricos, y solo fue necesario aplicar 50 mm en el tratamiento bajo riego. Mientras que la campaña 2017/18 fue 44% más seca respecto a los registros históricos (425 mm), con 240 mm de precipitación acumulada en el período de cultivo. Por lo tanto, la campaña 2017/18 se complementó con un total de 270 mm para el tratamiento con riego. La temperatura máxima promedio (TmaxAvg) durante 2016/17 no difirió respecto a la media histórica para R1-R5, y fue 4% más alta en el período R5-R7. Por el contrario, en 2017/18, TmaxAvg fue 9% y 13% mayor durante R1-R5 y R5-R7 con respecto a los registros históricos.

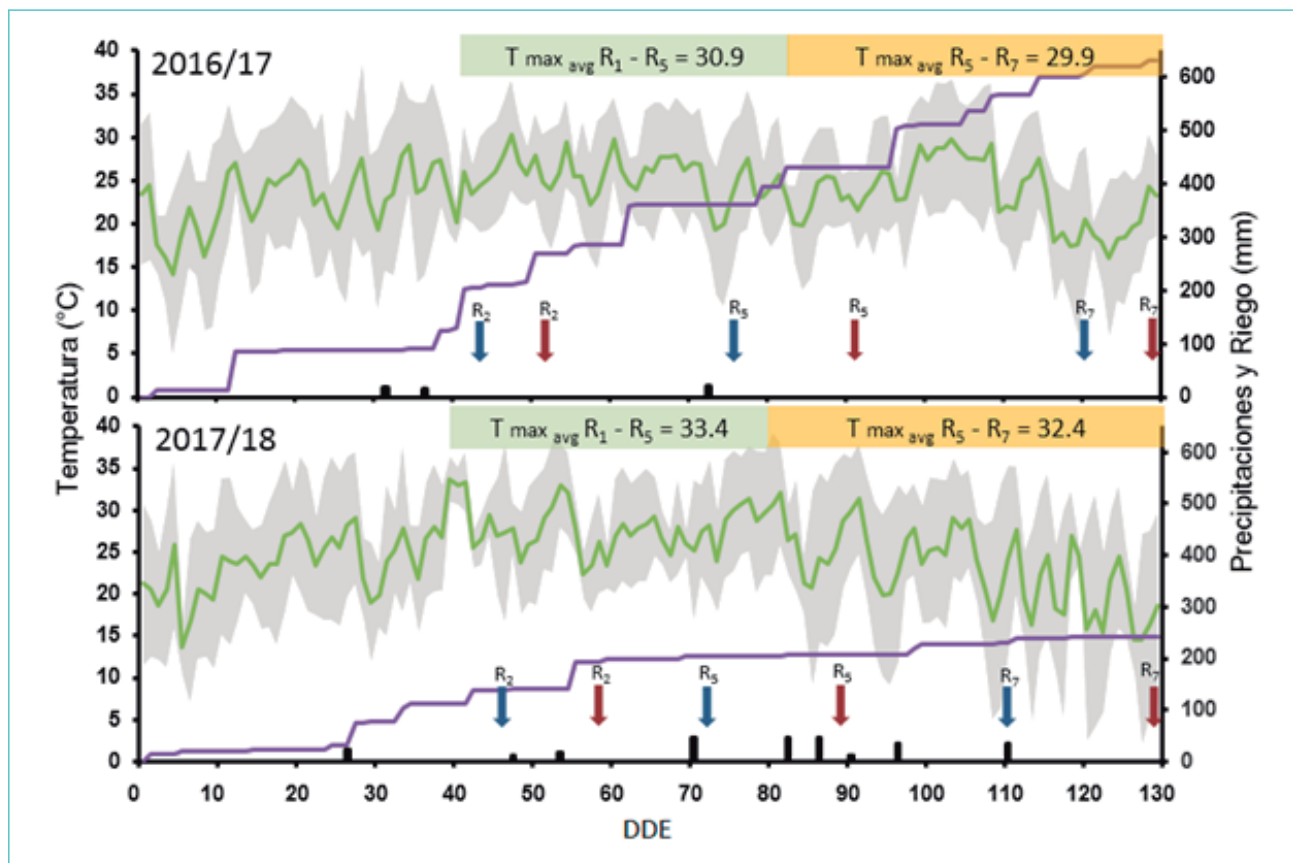


Figura 1. Condiciones climáticas durante las campañas 2016/17 y 2017/18. La línea verde y el área sombreada representan la temperatura media y rango de máxima y mínima de temperatura del aire, respectivamente. La línea escalonada y las barras negras representan la lluvia acumulada y el riego. Las flechas azules y rojas son estadios fenológicos para grupo de madurez IV y V respectivamente. DDE; días después de emergencia.



Rendimiento

El rendimiento promedio de los dos años analizados fue 4042 kg ha⁻¹, observando interacción significativa de los factores Año x GM x Condición Hídrica (Tabla 1). En la campaña 2016/17, el rendimiento de semillas fue de 5110 kg ha⁻¹, 72% mayor que en la campaña 2017/18 debido, principalmente, a los bajos aportes de precipitaciones en la última campaña (Figura 1). Las diferencias entre GM y Condición Hídrica no fueron significativas en 2016/17; sin embargo, en 2017/18 el rendimiento de semillas en el tratamiento de riego fue de 3845 kg ha⁻¹, 83% mayor que el tratamiento de secano. En este año, el rendimiento de semillas de GM IV fue de 3336 kg ha⁻¹, un 28% más que el MG V (Tabla 1).



Tabla 1. Análisis de varianza y p-value para índice de cosecha calculado según biomasa aérea (ICAéreo) o biomasa total (ICTotal) y rendimiento de cosecha (kg ha⁻¹) a madurez fisiológica (ajustado a 13.5% humedad). Resultados de dos grupos de madurez (GM) bajo diferentes condiciones hídricas (riego y secano) durante dos años. Valores medios de los efectos principales año, GM y Condición Hídrica, y su interacción también son presentados.

GM	Condición Hídrica	IC Aéreo %	IC Total	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
2016/17				
IV	RIEGO	0.42	0.38	5196
	SECANO	0.40	0.37	5214
V	RIEGO	0.41	0.37	4991
	SECANO	0.40	0.37	5040
2017/18				
IV	RIEGO	0.34	0.31	4523
	SECANO	0.29	0.25	2148
V	RIEGO	0.24	0.22	3166
	SECANO	0.25	0.22	2054
E.E.		0.01	0.004	144
p-value				
Año		<0.0001	<0.0001	<0.01
GM		<0.0001	<0.0001	<0.01
Condición Hídrica		<0.001	<0.0001	<0.01
Año * GM		<0.0001	<0.0001	0.02
Año * Condición Hídrica		0.3	<0.001	<0.01
GM * Condición Hídrica		<0.001	<0.0001	<0.01
Año * GM * Condición Hídrica		<0.01	<0.01	<0.01

Biomasa aérea y subsuperficial

No se encontró interacción año x GM x Condición Hídrica en biomasa aérea y subsuperficial en los estadíos fenológicos analizados.

En ambos años, la biomasa aérea promedio del GM V fue 2706 kg ha⁻¹ en R2, siendo 84% mayor respecto a GM IV, mientras la producción de biomasa subsuperficial fue de 624 kg ha⁻¹, aumentando solo 31% sobre GM IV. La duración del período vegetativo (E-R2) fue de 46 y 59 días para MG IV y V, respectivamente, pudiendo explicar estas diferencias. La biomasa sub-subsuperficial fue 33% mayor en 2017/18 (627 kg ha⁻¹) respecto de 2016/17 y 24% mayor en tratamientos bajo riego (607 kg ha⁻¹) en comparación con secano.

En R5, la biomasa aérea del GM V fue 6634 kg ha⁻¹, 30% superior que GM IV, sin diferencias significativas en biomasa subsuperficial que promedió 1005 kg ha⁻¹. Hubo interacción año x Condición Hídrica en biomasa aérea sin diferencias entre los tratamientos 2016/17, mientras la biomasa aérea de tratamientos riego 2017/18 fue de 5993 kg ha⁻¹, un 27% más en comparación con secano. Hubo interacción año x GM en biomasa subsuperficial siendo el GM IV (1116 kg ha⁻¹) 18% mayor en comparación con GM V en 2016/17 y 19% (874 kg ha⁻¹) más bajo en 2017/18, posiblemente relacionado con el potencial de GM ante diferentes condiciones de crecimiento.

En R7, la biomasa aérea 2016/17 fue 10880 kg ha⁻¹, un 21% mayor que 2017/18. No se observó diferen-



cias entre los tratamientos 2016/17; sin embargo, la biomasa aérea para los tratamientos con riego 2017/18 fue de 11304 kg ha⁻¹, un 68% superior que los tratamientos de secano 2017/18. Las contribuciones promedio de biomasa subsuperficial en madurez fisiológica fueron de 1086 kg ha⁻¹, sin diferencias estadísticas entre tratamientos.

Comparando la contribución de biomasa subsuperficial entre estadios fenológicos (R5-R7), la mayor contribución absoluta de las raíces y los nódulos se dio en R7, con un promedio de 1086 kg ha⁻¹, sin diferencias estadísticas respecto las contribuciones de biomasa subsuperficial en R5 (1005 kg ha⁻¹). En términos relativos, la proporción máxima de biomasa subsuperficial se registró en R2, representando el 16 - 27% de la biomasa total; sin embargo, en R7 esta proporción se redujo a 7 - 14%.

Promediando ambos años, la biomasa subsuperficial representó el 21, 16 y 10% de la biomasa total en R2, R5 y R7, respectivamente (Figura 2).

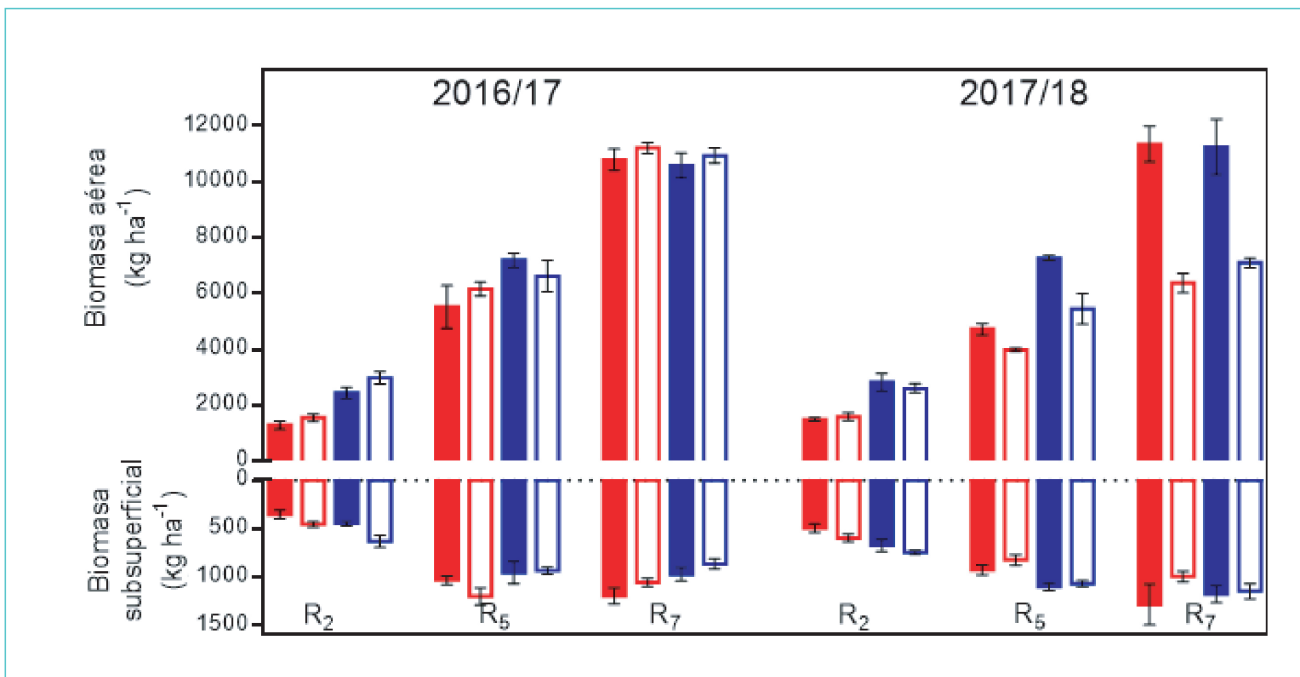


Figura 2. Materia seca aérea, materia seca subsuperficial (kg ha⁻¹) y error estándar, evaluado en las campañas 2016/17 y 2017/18 durante los estadios R2, R5 y R7. Columnas rojas y azules indican GM IV y GM V. Barras llenas refieren tratamientos con riego y vacías secano.





Índice de cosecha

Se observó interacción significativa año x GM x Condición Hídrica en ICAéreo e ICTotal con resultados estadístico similares entre ambos (Tabla 1).

El ICAéreo fue 0.41 en 2016/17, 46% mayor que 2017/18. El promedio de ICAéreo en GM IV fue 0.36, 9% más alto que MG V y los tratamientos con riego fueron 0.35, solo 3% más altos que seco.

Al incluir la biomasa subsuperficial, el ICTotal se redujo levemente a 0.37 en 2016/17, 48% más alto que 2017/18. El promedio de ICTotal en GM IV fue 0.33, 14% más alto que GM V y los tratamientos con riego fueron 0.32, 7% más altos que los de seco. La diferencia de medias de ICAéreo e ICTotal muestra significancia ($p < 0.01$) debido a la inclusión de estructuras subsuperficiales en el caculo del IC. Por ello, se ajustó una relación lineal entre las variables mostrando gran ajuste de la relación, que podría ser utilizado para estimar ICTotal y biomasa subsuperficial partiendo del ICAéreo (Figura 3).

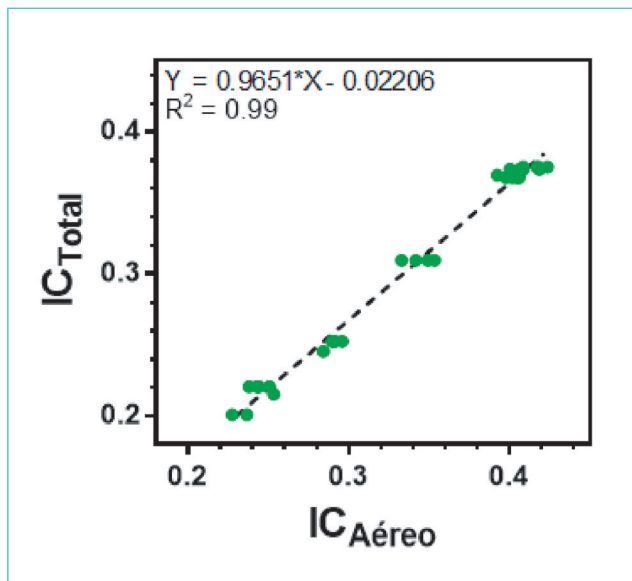


Figura 2. Relación y ajuste de índice de cosecha calculado según biomasa aérea (ICAéreo) o biomasa total (ICTotal).



Discusión

Estos resultados demuestran que la inclusión de biomasa subsuperficial a la biomasa total tiene un impacto positivo, ya que existen diferencias de medias entre biomasa total y biomasa aérea en cada estadio analizado.

Las condiciones de crecimiento permitieron explorar un amplio rango de rendimiento de 2000 a 5200 kg ha⁻¹. A pesar que Condición Hídrica y GM afectaron en mayor medida la biomasa aérea, las diferencias en el crecimiento no se tradujeron en diferencias significativas en la biomasa subsuperficial.

Índices como S:R ratio (relación Aéreo:Raíz) y porcentaje de biomasa subsuperficial sobre biomasa total, suelen utilizarse en comparaciones de resultados para evitar sesgos según diferencias en metodología de muestreo de raíces y condiciones de suelo. Los resultados de este trabajo demuestran que incluso ante una brecha de rendimiento tan amplia, el porcentaje que representan las raíces y nódulos no mostró grandes variaciones entre tratamientos para cada estadio fenológico, representando 21%, 16% y 10% de la biomasa total en R2, R5 y R7.

Resultados similares fueron reportados por Setiyono et al. (2010), mediante compilado de resultados previos (Mayaki et al. 1976; Roder et al. 1989; Cheng et al. 2003) demostrando que la biomasa subsuperficial representa 19% de la biomasa total en R2 y R5 y 10% en R7.

El coeficiente de variación (CV) en mediciones de raíz de soja es aproximadamente del 60% (Bolinder et al. 2006). El CV de los resultados de ésta investigación varió entre 18% - 24%, demostrando que las metodologías de excavación en el campo permiten reducir la variabilidad de resultados, captando con mayor precisión la distribución espacial y permitiendo determinar con exactitud la biomasa subsuperficial.

No se observaron grandes diferencias absolutas en resultados previos de biomasa subsuperficial determinada por métodos de excavaciones (House et al. 1984; Mayaki et al. 1976 a; Osaki et al. 1995; Hudak et al. 1995); sin embargo, en trabajos con determinaciones por metodología de cilindro los resultados absolutos fueron aproximadamente 4 veces más grande (Buyanovsky y Wagner 1995, Scheiner et al. 1997, Mayaki et al. 1976 b).



En la campaña 2017/18, los tratamientos bajo riego en madurez fisiológica lograron similar biomasa aérea que 2016/17 (Figura 2); sin embargo, los rendimientos fueron 25% inferiores, posiblemente debido a las mayores temperaturas máximas que provocaron aborto de flores y vainas, produciendo mayor reducción en el IC.

A pesar que el aporte de biomasa subsuperficial es pequeño en comparación a la biomasa aérea, se observó la significancia de inclusión de ésta en los cálculos de IC, permitiendo precisar los balances de nutrientes.

Conclusiones

La biomasa de raíces y nódulos representa 21%, 16% y 10% de la biomasa total en R2, R5 y R7, sin diferencias en aportes de biomasa subsuperficial entre R5 y R7. Las condiciones de crecimiento influyen, en mayor medida, en biomasa aérea y en menor medida en biomasa subsuperficial, siendo ésta última más sensible en estadios más tempranos del desarrollo. La inclusión de estructuras subsuperficiales al IC permitiría mejorar significativamente los balances de nutrientes y se observó una alta relación entre ICAéreo e ICTotal.

Bibliografía

- Andrade, F. H. (2016). Los desafíos de la agricultura. 1a ed. – Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ediciones INTA, 2017.
- Benjamin, J. (2013). Effect of soil attributes on root growth and distribution in some common crops: A synthesis of knowledge and future needs. Enhancing understanding and quantification of soil-root growth interactions, 4, 31-43.
- Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., & VandenBygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 29-42.
- Buyanovsky, G. A., & Wagner, G. H. (1985). Post-harvest residue input to cropland. *Plant and Soil*, 93(1), 57-65.
- Cheng, W., Johnson, D. W., & Fu, S. (2003). Rhizosphere effects on decomposition: controls of plant species, phenology, and fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 67(5), 1418-1427.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González L.; Tablada M. & Robledo, C.W. 2013. Infostat versión 2013. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fehr, W.R., Caviness, C.E., 1977. Stages of soybean development. Iowa Agricultural and Home Economics Experiment Station Special Report, pp. 3-11.
- House, G. J., Stinner, B. R., Crossley Jr, D. A., & Odum, E. P. (1984). Nitrogen cycling in conventional and no-tillage agro-ecosystems: analysis of pathways and processes. *Journal of Applied Ecology*, 991-1012.
- Hudak, C. M., & Patterson, R. P. (1995). Vegetative Growth Analysis of a Drought-Resistant Soybean Plant Introduction. *Crop Science*, 35(2), 464-471.
- Lavado, R. S., & Taboada, M. A. (2009). The Argentinean Pampas: A key region with a negative nutrient balance and soil degradation needs better nutrient management and conservation programs to sustain its future viability as a world agrosresource. *Journal of Soil and Water Conservation*, 64(5), 150A-153A.
- Mayaki, W. C., Stone, L. R., & Teare, I. D. (1976) a. Irrigated and Nonirrigated Soybean, Corn, and Grain Sorghum Root Systems 1. *Agronomy Journal*, 68(3), 532-534.
- Mayaki, W. C., Teare, I. D., & Stone, L. R. (1976) b. Top and Root Growth of Irrigated and Nonirrigated Soybeans 1. *Crop Science*, 16(1), 92-94.
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., & Melchiori, R. J. M. (2011). Impact of soybean cropping frequency on soil carbon storage in Mollisols and Vertisols. *Geoderma*, 167, 254-260.
- Osaki, M., Shinano, T., Matsumoto, M., Ushiki, J., Shinano, M. M., Urayama, M., & Tadano, T. (1995). Productivity of high-yielding crops. *Soil Science and Plant Nutrition*, 41(4), 635-647. <https://doi.org/10.1080/00380768.1995.10417014>
- Roder, W., Mason, S. C., Clegg, M. D., & Kniep, K. R. (1989). Crop root distribution as influenced by grain sorghum-soybean rotation and fertilization. *Soil science society of America Journal*, 53(5), 1464-1470.



- Scheiner, J. D., Renzi, D. Á., Lavado, R. S., & Torri, S. I. (1997). Efecto de la fertilización fosforada y nitrogenada en soja en el centro-oeste bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 15(1), 36-38.
- Setiyono, T. D., Cassman, K. G., Specht, J. E., Dobermann, A., Weiss, A., Yang, H. & De Bruin, J. L. (2010). Simulation of soybean growth and yield in near-optimal growth conditions. *Field Crops Research*, 119(1), 161-174.