

## Aspectos de la ecofisiología y manejo del cultivo de soja

Aspects of soybean crop ecophysiology and management

DOI: [10.5281/zenodo.7484767](https://doi.org/10.5281/zenodo.7484767)

Federico Daniel Morla<sup>1,2</sup> , María Fernanda Sosa-Daniele<sup>1</sup> ,  
Natalia Marcellino<sup>1,2</sup> , Guillermo Ángel Cerioni<sup>1</sup> 

1- Cultivos Oleaginosos, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y Veterinaria – Universidad Nacional de Río Cuarto.

2- Instituto de Investigaciones Agrobiotecnológicas - INIAB. CONICET - Universidad Nacional de Río Cuarto.

**Resumen.** Esta revisión tiene como objetivo detallar algunos de los factores que determinan el rendimiento del cultivo de soja, centrándose en recientes aportes al conocimiento de la ecofisiología, los procesos de crecimiento y desarrollo, y la generación del rendimiento del cultivo. Busca identificar los factores que definen y limitan los rendimientos de soja, y que pueden ser usados para guiar prácticas tendientes a lograr máximos rendimientos, contribuir a la sustentabilidad del cultivo y disminuir las brechas existentes en la actualidad. También se analizan algunos aspectos del manejo agronómico del cultivo de soja como son: i) fecha de siembra, ii) elección del genotipo, iii) marco de plantación, y iv) manejo nutricional. Se consideraron conocimientos científicos y tecnológicos logrados para la región sojera de Argentina, con énfasis en la región centro sur de la provincia de Córdoba.

**Palabras clave:** soja, ecofisiología del cultivo, manejo agronómico, rendimiento, sustentabilidad.

**Abstract.** This review aims to detail some of the factors that determine the soybean crop yield focusing on recent contributions to the knowledge of ecophysiology, growth and development processes, and crop yield generation. It seeks to identify the factors that define and limit soybean yields, and that can be used to guide practices aimed at achieving maximum yields, contributing to the crop sustainability and reducing the yield gaps that currently exist. Some aspects of the agronomic management of soybean cultivation are also analyzed, such as: i) sowing date, ii) choice of genotype, iii) plant population density, and iv) nutritional management. Was considered scientific and technological knowledge achieved for the soybean growing region in Argentina, with emphasis on the south central region of Córdoba province.

**Keywords:** soybean, crop ecophysiology, crop management, crop yield, sustainability.

Artículo recibido: 9/8/22. Artículo aceptado: 12/12/22

\***Autor para correspondencia:** Federico Daniel Morla. Of 92 - Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. RN36 - Km 601 (CP. 5800). Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Tel. +54 0358-4676159 int. 3. fmorla@ayv.unrc.edu.ar

**Financiamiento:** Este trabajo fue escrito en el marco de la Unidad de Servicios del Departamento de Producción Vegetal (USPROVEG) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto y Stoller Argentina S.A.

El rendimiento promedio de soja (*Glycine max* (L.) Merr.) aumentó constantemente en los últimos años tanto a nivel mundial como en Argentina (Di Mauro *et al.*, 2017; Egli & Hatfield, 2014; Grassini *et al.*, 2021). La identificación de los factores involucrados en la variación del rendimiento se convierte en un desafío debido a las interacciones entre el manejo del cultivo y el ambiente donde se lo produce (Andrade *et al.*, 2010). Con frecuencia, variables ambientales como la condición hídrica de la estación de crecimiento (relacionada al fenómeno El niño, ENOS), y la capacidad productiva (biológica, física y química) de los suelos explican la variación del rendimiento del cultivo a través de los años (Faé *et al.*, 2020). No obstante, variables de manejo del cultivo como la fecha de siembra, densidad, elección de cultivares y nutrición tienen una importancia preponderante en los resultados que obtiene el productor (Madias *et al.*, 2021; Salvagiotti, 2009; Vitantonio-Mazzini *et al.*, 2020).

Un acercamiento comúnmente utilizado para caracterizar numéricamente la determinación del rendimiento, es la resultante del producto de sus componentes directos: número de granos por unidad de superficie (granos m<sup>-2</sup>) y el peso individual de esos granos (g). Desde el punto de vista ecofisiológico, el número de granos, principal componente del rendimiento, se determina en la fase R3-R6 denominada período crítico (PC). Recientes estudios señalan que la variación en la materia seca acumulada durante la fase R3-R6, explica mayormente la variación en el número de granos, en comparación con la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y/o la duración de esta fase (Monzon *et al.*, 2021). Esta acumulación de biomasa está determinada por la radiación solar, la temperatura, el CO<sub>2</sub> atmosférico y los rasgos del genotipo a utilizar (Van Ittersum *et al.*, 2013). Además de las prácticas agronómicas que influenciarán la duración del período de crecimiento, la interceptación de la radiación por el canopeo del cultivo, su conversión en biomasa y su partición hacia los órganos cosechables (Lobell *et al.*, 2009). A su vez, para las condiciones de producción de la región, el manejo del agua es el factor principal sobre el cual trabajar para la obtención de una alta producción en soja (Salvagiotti, 2009).

A continuación, se analizarán algunos aspectos del manejo agronómico del cultivo de soja teniendo en cuenta nuevos conocimientos científicos y tecnológicos logrados para la región sojera de Argentina, con énfasis en la región centro sur de Córdoba.

## Fecha de siembra

La elección de la fecha de siembra (FS) tiene como objetivo maximizar el rendimiento y la calidad del producto, procurando ofrecer al cultivo las condiciones más favorables para la expresión máxima del potencial genético (Mourtzinis *et al.*, 2019). La FS posee una alta influencia sobre el crecimiento y definición del rendimiento. Permite, además, contrarrestar los efectos adversos del estrés ambiental como sequías, temperaturas tanto extremas por defecto (heladas) como sub o supra-óptimas, o condiciones predisponentes para el desarrollo de plagas y/o enfermedades (Bastidas *et al.*, 2008; Rattalino Edreira *et al.*, 2017; Vitantonio-Mazzini *et al.*, 2020).

La fecha óptima de siembra es aquella que permite obtener los más altos rendimientos, y varía desde finales de octubre hasta principios de noviembre en la región centro de Argentina. A su vez, la literatura sugiere que FS tempranas permiten capturar mayor cantidad de radiación durante el PC y, por lo tanto, aprovechar el potencial del genotipo utilizado para alcanzar mayores rendimientos. Pero, a su vez, este PC queda expuesto a condiciones desfavorables de estrés hídrico, asociadas a elevada demanda atmosférica de agua, a periodos de sequía y a la ocurrencia de episodios de calor (Grassini *et al.*, 2021; Mourtzinis *et al.*, 2019). Por ello, FS tempranas permiten llegar a un mayor potencial de rendimiento bajo condiciones ambientales favorables, pero también a un mayor riesgo productivo (mayor brecha de rendimientos) cuando éstas no lo son (Giayetto *et al.*, 2015; Rattalino Edreira *et al.*, 2017).

En la mayoría de las circunstancias, el rendimiento de la soja disminuye constantemente cuando la siembra se retrasa después de la FS óptima. En la región sudoeste de Córdoba la pérdida de rendimiento resultante de la siembra tardía promedió los 14 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> entre principios de noviembre y principios de enero. Resultados similares se describen para el este de la provincia (Zona Crea Monte Buey - Inrville) con disminuciones de 16 kg ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Morfofisiológicamente, la siembra tardía da como resultado una disminución de la altura de la planta y del número de vainas y granos por unidad de área, lo que conduce a menores rendimientos. El retraso en la siembra también influye en la concentración de proteína y aceite del grano (Bosaz *et al.*, 2019).

Otras prácticas agronómicas muy relacionadas con la FS como la densidad de plantas y la elección de cultivares, principalmente grupos de madurez (GM), se desarrollan a continuación.

## Densidad y modelos de siembra

El rendimiento de los cultivos está determinado por la eficiencia con que la población de plantas utiliza los recursos ambientales disponibles. La correcta elección del número de plantas por superficie y su distribución espacial (distancias entre y sobre la línea de siembra) procura alcanzar un punto de equilibrio entre la oferta de recursos y la competencia intraespecífica. Estas prácticas de manejo tienen como objetivo alcanzar el 95% de intercepción de la radiación hacia el inicio del PC (Vega & Salas, 2012). En este sentido, Andrade *et al.* (2002) recomiendan estrechar la distancia entre surcos en todos aquellos casos en el que no se llegue a cubrir el surco (IAF crítico) al momento del inicio del PC del cultivo.

El grado de indeterminación característico de soja hace que la respuesta del rendimiento del cultivo sea relativamente insensible a un amplio rango de densidades de plantas, ajustándose a un modelo de respuesta del tipo asintótico (Egli, 1988). Esta relativa insensibilidad en la respuesta está dada por la expresión de los mecanismos de plasticidad vegetativa, principalmente la ramificación (Agudamu *et al.*, 2016), y está regulada por el genotipo y las condiciones ambientales. Por lo tanto, en situaciones en las que se comprometa la captura de radiación por parte del canopeo o se reduzca el número de nudos reproductivos, como puede ser la baja disponibilidad hídrica, grupos de madurez relativamente cortos o poco ramificadores, y fechas de siembra tardías, serán las que presenten mayores respuestas al aumento de densidad de plantas y/o el acortamiento de la distancia entre surcos (Vega & Salas, 2012). Estos autores recomiendan para condiciones de producción del centro de Argentina densidades de entre 24 y 36 pl m<sup>-2</sup> en ambientes productivos e incrementos de densidad del orden del 25% en ambientes de menor calidad.

Se conoce, también, que existen diferencias considerables en cómo se distribuye el rendimiento en el tallo principal y las ramas entre los distintos cultivares. Por lo tanto, aquellos cultivares que tienen un rendimiento superior de las ramas deben seleccionarse para hileras anchas, mientras que el mayor rendimiento del tallo principal debe usarse como criterio de selección para planteos de estructura de cultivo de hileras estrechas (Norsworthy & Shipe, 2005).

De similar manera se observó que disminuciones en la distancia entre surcos favorecen alcanzar mayores rendimientos bajo buenas condiciones ambientales, en las que también es propicio la utilización de culti-

vares de ciclos más cortos. A su vez, el acortamiento entre hileras favorece la competencia del cultivo con respecto a malezas de difícil control (Rosset & Gulden, 2019). Sin embargo, es conveniente tener en cuenta que densidades altas y surcos estrechos pueden ser contraproducentes en situaciones de sequía progresiva o estrés terminal, ya que la cobertura temprana del canopeo implica un incremento del consumo de agua (Vega & Salas, 2012).

## Elección de cultivares

La obtención de altos rendimientos involucra maximizar la captura de recursos disponibles, por lo que para la elección de cultivares el primer paso es seleccionar la duración del ciclo del cultivo, o sea el grupo de madurez (GM) (Grassini *et al.*, 2021). En conjunto con la FS, en la elección del GM debe considerarse: 1.- la duración de la estación de crecimiento (periodo libre de heladas, régimen térmico e hídrico, o factores de manejo como la cosecha del cultivo antecesor), 2.- la ubicación del PC (R3-R6), y 3.- escape a algunas adversidades (Kantolic *et al.*, 2013).

Dentro de la región sojera argentina se utilizan GM que van del II al VIII (Grassini *et al.*, 2021), mientras que en la región pampeana centro GM III a V (de Felipe *et al.*, 2016; Di Mauro *et al.*, 2018; Madias *et al.*, 2021; Vitantonio-Mazzini *et al.*, 2020). Los cultivares de ciclo corto, de baja área foliar por planta y plasticidad vegetativa, presentan una mayor dificultad para alcanzar una intercepción completa ante condiciones ambientales desfavorables, sin embargo, permiten mejor captación de recursos durante el PC y llenado de granos, por lo que en ausencia de limitaciones severas resultan ventajosos. Al contrario, cultivares de ciclo largo y mayor potencial de ramificación, presentan más tolerancia al estrés ambiental (Giayetto *et al.*, 2015).

Generalmente la producción de biomasa es mayor cuando el ciclo es más largo, pero esto no implica mayores rendimientos ya que el peso del grano puede modificarse con la disponibilidad de recursos durante la etapa en la que el mismo se define (Kantolic *et al.*, 2013). En este sentido, Vitantonio-Mazzini *et al.* (2020), señalan a la FS y la elección del genotipo como las prácticas de manejo de mayor impacto en el rendimiento de soja de la región pampeana centro.

Una vez definido el GM se seleccionará el cultivar según su potencial y estabilidad de rendimiento, resistencia o tolerancia a adversidades bióticas o abió-

tas, susceptibilidad al vuelco, entre otras (Kantolic *et al.*, 2013). En la actualidad existen 1088 cultivares inscriptos en el Registro Nacional de Cultivares (INASE), los que han demostrado ser uniformes, estables y diferentes a cualquier otro cultivar registrado anteriormente. Al analizar 174 cultivares liberados al mercado entre 1980 y 2015, de Felipe *et al.* (2016), cuantificaron que el progreso genético fue de 43 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, o 1,1% año<sup>-1</sup>. Y que fisiológicamente este progreso se explica principalmente por una mayor acumulación de biomasa aérea, asociada con un aumento de la eficiencia de uso de la radiación y la absorción total de N por parte de los cultivares modernos (de Felipe *et al.*, 2020).

La revolución biotecnológica, como herramienta para el mejoramiento genético, permitió reducir el uso de plaguicidas y aumentar los rendimientos, disminuyendo además los costos de producción. Por estas razones, el 96,5% de la soja producida en Sudamérica es transgénica (Neto *et al.*, 2020). Estos autores citan estos principales eventos genéticos como los más importantes en soja: Roundup Ready® RR; Bt®; Inox® (resistencia a roya, usada en Brasil); Intacta® e Intacta RR2 Pro®; Liberty Link®; Conkesta Enlist E3®; Cultivance®. Señalando, además, un gran número de eventos genéticos todavía en etapas experimentales. También, el mejoramiento genético podría ayudar a mitigar los impactos negativos proyectados del cambio climático en el rendimiento del cultivo. Rasgos tolerantes a la sequía están dando resultados prometedores, como por ejemplo en la estabilización de las tasas de transpiración (Devi *et al.*, 2014). En este sentido, recientes estudios muestran que el gen HB4 pudo conferir tolerancia a la sequía y mayores rendimientos en soja a campo, particularmente en ambientes cálidos y secos (Ribichich *et al.*, 2020).

### Manejo Nutricional

Los aumentos sostenidos en el rendimiento de los cultivos incrementaron la demanda de nutrientes por parte de los mismos. Esto contribuyó a una disminución en el nivel de algunos macro y micronutrientes, principalmente en aquellos lotes de agricultura continua (Sainz Rozas *et al.*, 2013). No obstante, la fertilización en soja es una práctica menos frecuente en Argentina respecto a los cereales.

El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante para la productividad de los cultivos en general, el rendimiento de soja se correlaciona positivamente con la absorción total de N, y entre el 44-72%, dependien-

do de la actividad de los rizobios, generalmente se explica por la fijación biológica de nitrógeno (FBN), en complemento del N mineral que aporta el suelo (Ciampitti & Salvagiotti, 2018). El proceso de FBN se considera extremadamente sensible e influenciado por distintos nutrientes y condiciones ambientales (Santachiara *et al.*, 2019). Se conoce que la FBN se reduce por la alta disponibilidad de nitratos en el suelo, condiciones de anegamiento, altas y bajas temperaturas, y episodios de estrés hídrico. Por el contrario, se ha informado que la radiación, la concentración de dióxido de carbono y la disponibilidad de nutrientes (P, K y S) tienen efectos potenciadores (Divito & Sadras, 2014). Estudios recientes demostraron que el N puede ser una limitante del rendimiento de la soja en ambientes de alta producción (> a 4500 kg ha<sup>-1</sup>) (Cafaro La Menza *et al.*, 2019). Por lo que prácticas de manejo tendientes a mejorar estas condiciones antes mencionadas favorecerán la FBN. Al respecto, existen buenos resultados con: fertilización balanceada (Díaz-Zorita *et al.*, 2019), adición de micronutrientes (Mo + Co) al tratamiento de semillas (Campo *et al.*, 2000), fertilización con nitrógeno por fuera de la zona de nodulación (Salvagiotti *et al.*, 2008), co-inoculación con otras bacterias (Morla *et al.*, 2019) o microorganismos. Aunque algunas de estas tecnologías requieren seguir siendo ajustadas y validadas.

En la región pampeana argentina, el nutriente más limitante para la producción de soja es el fósforo (P) (Salvagiotti *et al.*, 2021). La respuesta esperada a la fertilización con P está relacionada a la disponibilidad del nutriente, P extractable (Bray 1), en la capa arable (0-20 cm) del suelo. El análisis de suelo previo a la siembra es una herramienta confiable como insumo en la decisión de manejo de este nutriente. Varias redes de ensayos en la región pampeana determinan valores críticos de entre 9 y 17 mg kg<sup>-1</sup> (15 mg kg<sup>-1</sup> para el sur de Córdoba), por debajo de los cuales el cultivo de soja responde a la fertilización (Gutiérrez Boem & Salvagiotti, 2014).

El azufre (S) es otro macronutriente de relevancia en el cultivo. Relacionado con la síntesis de aminoácidos y proteínas, su deficiencia tiene efecto sobre procesos enzimáticos como la fotosíntesis (Salvagiotti *et al.*, 2021). La relación entre la respuesta de rendimiento de soja a la fertilización azufrada y las variables de suelo o ambiente no están todavía cuantificadas de forma consistente en la región pampeana. La concentración de sulfatos en el suelo a la siembra se presenta como buen predictor, aunque todavía el número de ensayos en la región es bajo.

Es conocido que el S se encuentra muy asociado a la materia orgánica del suelo, por lo que la decisión de fertilizar con S se basa en un criterio agronómico en el que se contemplan los antecedentes de la zona, la historia de uso de suelo, rotaciones realizadas, la longitud del barbecho, y el rendimiento objetivo del sistema de producción (Gutiérrez Boem & Salvagioti, 2014).

Varios micronutrientes han tomado importancia en los sistemas de producción pampeanos, y su incorporación al esquema de manejo nutricional del cultivo podría generar incrementos adicionales en el rendimiento (Gaspar *et al.*, 2018). Algunos ejemplos son, como se mencionó anteriormente, el cobalto (Co) y el molibdeno (Mo) aplicados vía tratamiento de semilla, importantes en el proceso de FBN. El boro (B), esencial por su participación en la diferenciación y retención de estructuras reproductivas, mostró respuestas significativas en aplicaciones foliares de 0,28 a 1,12 kg B ha<sup>-1</sup> previo al inicio del PC (R2) (Ross *et al.*, 2006). El cinc (Zn), con frecuencia relacionado a los cereales, también ha mostrado respuestas tanto a nivel de rendimiento como a la concentración en grano (biofortificación) cuando se lo aplica tanto en el suelo, en semilla o de manera foliar (Martínez Cuesta & Carciochi, 2016).

No existe mucha información local al agregado de otros nutrientes (Gaspar *et al.*, 2018). Sin embargo, puntualmente se han observado aumentos de rendimiento por la aplicación de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Gutiérrez Boem & Salvagioti, 2014).

### Consideraciones finales

Identificar los factores ecofisiológicos que definen y limitan los rendimientos de soja es el primer paso para poder guiar prácticas de manejo tendientes a lograr máximos rendimientos y disminuir las brechas existentes en la actualidad.

A través de prácticas de manejo, como la fecha de siembra y elección del genotipo, se debe lograr hacer coincidir los periodos de definición del rendimiento (PC) con la mayor oferta de recursos disponibles.

Realizar una fertilización balanceada, acompañando al mantenimiento de la fertilidad integral del suelo, asegura que no existan limitaciones en la actividad fisiológica del cultivo. Existen, además, otras tecnologías disponibles como el uso de bioestimulantes, reguladores de crecimiento, biofertilizantes o microorganismos con actividad PGPR, que pueden ser

adaptadas y utilizadas en el cultivo.

Otros manejos agronómicos como la protección de los cultivos, rotaciones, antecesores, entre otros, no están desarrollados en este manuscrito, sin embargo, son de mucha importancia para la producción del cultivo.

### Agradecimientos

Este trabajo fue escrito en el marco de la Unidad de Servicios del Departamento de Producción Vegetal (USPROVEG) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto y Stoller Argentina S.A. Los autores agradecen al Profesor Oscar Giayetto por la revisión, correcciones y sugerencias realizadas en el manuscrito.

### Bibliografía

- Agudamu, Yoshihira, T., & Shiraiwa, T. (2016). Branch development responses to planting density and yield stability in soybean cultivars. *Plant Production Science*, 19(3), 331–339. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2016.1157443>
- Andrade, F.H., Abbate, P. E., Otegui, M. E., Cirilo, A. G., & Cerrudo, A. (2010). Ecophysiological basis for crop management. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4(Special issue 1), 24–34.
- Andrade, F. H., Calviño, P., Cirilo, A., & Barbieri, P. (2002). Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, 94(5), 975–980. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.0975>
- Bastidas, A. M., Setiyono, T. D., Dobermann, A., Cassman, K. G., Elmore, R. W., Graef, G. L., & Specht, J. E. (2008). Soybean sowing date: The vegetative, reproductive, and agronomic impacts. *Crop Science*, 48(2), 727–740. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.05.0292>
- Bosaz, L. B., Gerde, J. A., Borrás, L., Cipriotti, P. A., Ascheri, L., Campos, M., Gallo, S., & Rotundo, J. L. (2019). Management and environmental factors explaining soybean seed protein variability in central Argentina. *Field Crops Research*, 240, 34–43. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2019.05.007>
- Cafaro La Menza, N., Monzon, J. P., Specht, J. E., Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Graef, G., & Grassini, P. (2019). Nitrogen limitation in high-yield soybean:

- Seed yield, N accumulation, and N-use efficiency. *Field Crops Research*, 237, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.009>
- Campo, R. J., Albino, U. B., & Hungria, M. (2000). Importance of Molybdenum and Cobalt to the Biological Nitrogen Fixation. In F. O. Pedrosa, M. Hungria, G. Yates, & W. E. Newton (Eds.), *Nitrogen Fixation: From Molecules to Crop Productivity* (pp. 597–598). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/0-306-47615-0\\_338](https://doi.org/10.1007/0-306-47615-0_338)
- Ciampitti, I. A., & Salvagiotti, F. (2018). New insights into soybean biological nitrogen fixation. In *Agronomy Journal* (Vol. 110, Issue 4, pp. 1185–1196). <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0348>
- de Felipe, M., Borrás, L., Truong, S. K., McCormick, R. F., & Rotundo, J. L. (2020). Physiological processes associated with soybean genetic progress in Argentina. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1002/agg2.20041>
- de Felipe, M., Gerde, J. A., & Rotundo, J. L. (2016). Soybean genetic gain in maturity groups III to V in Argentina from 1980 to 2015. *Crop Science*, 56(6), 3066–3077. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0214>
- Devi, J. M., Sinclair, T. R., Chen, P., & Carter, T. E. (2014). Evaluation of elite southern maturity soybean breeding lines for drought-tolerant traits. *Agronomy Journal*, 106(6), 1947–1954. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0242>
- Di Mauro, G., Cipriotti, P. A., Gallo, S., & Rotundo, J. L. (2018). Environmental and management variables explain soybean yield gap variability in Central Argentina. *European Journal of Agronomy*, 99, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.012>
- Di Mauro, G., Condori, A., Gallo, S., Boxler, M., Pozzi, R., Rotundo, J. L., & Salvagiotti, F. (2017). *Rendimientos Potenciales De Soja Y Reducción De Brechas Asociadas Al Uso De Insumos No Convencionales*.
- Díaz-Zorita, M., Fernandez Canigia, M. V., & Peticari, A. (2019). Simbiosis rizobios-soja y su interacción con el manejo de nutrientes. *Mercosoja 2019*, 2012–2015.
- Divito, G. A., & Sadras, V. O. (2014). How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 156, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.004>
- Egli, D. B. (1988). Plant density and soybean yield. *Crop Science*, 28, 977–981.
- Egli, D. B., & Hatfield, J. L. (2014). Yield gaps and yield relationships in central U.S. Soybean production systems. *Agronomy Journal*, 106(2), 560–566. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0364>
- Faé, G. S., Kemanian, A. R., Roth, G. W., White, C., & Watson, J. E. (2020). Soybean yield in relation to environmental and soil properties. *European Journal of Agronomy*, 118(November 2019), 126070. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126070>
- Gaspar, A. P., Laboski, C. A. M., Naeve, S. L., & Conley, S. P. (2018). Secondary and micronutrient uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. *Agronomy Journal*, 110(4), 1328–1338. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.12.0699>
- Giayetto, O., Cerioni, G. A., Fernandez, E. M., Morla, F. D., Rosso, M. B., Violante, M. G., Kearney, M., & Pastore, M. (2015). Comportamiento de genotipos de soja cultivados en secano y bajo riego en río cuarto (Córdoba, Argentina). 1. captura y eficiencia de uso de la radiación. *VII Congresso Brasileiro de Soja - Mercosoja 2015*.
- Grassini, P., Cafaro La Menza, N., Rattalino Edreira, J. I., Monzón, J. P., Tenorio, F. A., & Specht, J. E. (2021). Soybean. *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*, 282–319. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00008-6>
- Gutiérrez Boem, F. H., & Salvagiotti, F. (2014). Soja. In H. E. Echeverría & F. O. Garcia (Eds.), *Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos* (2° Edición, pp. 479–508).
- Kantolic, A. G., de la Fuente, E. B., & Gímenez, P. I. (2013). Soja. In E. B. de la Fuente, A. Gil, P. I. Gímenez, A. G. Kantolic, M. Lopez Pereira, E. L. Ploschuk, D. M. Sorlino, P. Vilariño, D. F. Wassner, & L. B. Windauer (Eds.), *Cultivos Industriales* (pp. 95–141). FAUBA.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 179–204. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.041008.093740>
- Madias, A., Di Mauro, G., Vitantonio-Mazzini, L. N., Gambin, B. L., & Borrás, L. (2021). Environment quality, sowing date, and genotype determine soybean yields in the Argentinean Gran Chaco. *European Journal of Agronomy*, 123(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126217>
- Martínez Cuesta, N., & Carciochi, W. D. (2016). Fertilización con cinc: concentración y exportación en soja. *III Congreso Internacional de Ciencia*

- y *Tecnología*. <https://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/4723>
- Monzon, J. P., Cafaro La Menza, N., Cerrudo, A., Canepa, M., Rattalino Edreira, J. I., Specht, J., Andrade, F. H., & Grassini, P. (2021). Critical period for seed number determination in soybean as determined by crop growth rate, duration, and dry matter accumulation. *Field Crops Research*, 261(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108016>
- Morla, F. D., Cerioni, G. A., Giayetto, O., Tello, R. D., Pelizza, N. A., & Baliña, R. A. (2019). Evaluación de la co-inoculación en soja con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*. *Mercosoja 2019*.
- Mourtzinis, S., Specht, J. E., & Conley, S. P. (2019). Defining Optimal Soybean Sowing Dates across the US. *Scientific Reports*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38971-3>
- Neto, S. S. de O., Nunes, J. G. da S., Souza, M. de, & Calonego, J. C. (2020). Soybean Crop: A Review on the Biotechnological Advances and Expectation for Modern Cultivars. *Journal of Agricultural Studies*, 8(1), 194. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i1.15777>
- Norsworthy, J. K., & Shipe, E. R. (2005). Effect of row spacing and soybean genotype on mainstem and branch yield. *Agronomy Journal*, 97(3), 919–923. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0271>
- Rattalino Edreira, J. I., Mourtzinis, S., Conley, S. P., Roth, A. C., Ciampitti, I. A., Licht, M. A., Kandel, H., Kyveryga, P. M., Lindsey, L. E., Mueller, D. S., Naeve, S. L., Nafziger, E., Specht, J. E., Stanley, J., Stanton, M. J., & Grassini, P. (2017). Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.07.010>
- Ribichich, K. F., Chiozza, M., Ávalos-Britez, S., Cabello, J. V., Arce, A. L., Watson, G., Arias, C., Portapila, M., Trucco, F., Otegui, M. E., & Chan, R. L. (2020). Successful field performance in warm and dry environments of soybean expressing the sunflower transcription factor HB4. *Journal of Experimental Botany*, 71(10), 3142–3156. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa064>
- Ross, J. R., Slaton, N. A., Brye, K. R., & DeLong, R. E. (2006). Boron Fertilization Influences on Soybean Yield and Leaf and Seed Boron Concentrations. *Agron. J.*, 98, 198–205. <https://doi.org/10.2134/agronj2005-0131>
- Rosset, J. D., & Gulden, R. H. (2019). Cultural weed management practices shorten the critical weed-free period for soybean grown in the Northern Great Plains. *Weed Science*, 68(1), 1–13. <https://doi.org/10.1017/wsc.2019.60>
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Echeverría, H. E., Barbieri, P., Angelini, H., Larrea, G. E., Ferraris, G. N., & Barraco, M. (2013). ¿Cuál es el estado de la fertilidad de los suelos argentinos? *Simposio Fertilidad 2013.*, 62–72. <http://ruralnet.com.ar/wp-content/uploads/2017/10/inta.estado-fertilidad-suelos-argentinos.pdf>
- Salvagiotti, F., Cassman, K. G., Specht, J. E., Walters, D. T., Weiss, A., & Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 108(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2008.03.001>
- Salvagiotti, F. (2009). Manejo de soja de alta producción. *La Era Del EcoProgreso. XVII Congreso de Aapresid*, 79–85.
- Salvagiotti, Fernando, Magnano, L., Ortez, O., Enrico, J., Barraco, M., Barbagelata, P., Condori, A., Di Mauro, G., Manlla, A., Rotundo, J., Garcia, F. O., Ferrari, M., Gudelj, V., & Ciampitti, I. (2021). Estimating nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur uptake and requirement in soybean. *European Journal of Agronomy*, 127, 126289. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126289>
- Santachiara, G., Salvagiotti, F., & Rotundo, J. L. (2019). Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 240(May), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.05.006>
- Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research*, 143, 4–17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
- Vega, C., & Salas, G. (2012). Bases para el manejo del cultivo de soja. In H. Baigorri & L. R. Salado-Navarro (Eds.), *El Cultivo de soja en Argentina* (2° Edición, pp. 147–162). Agroeditorial.
- Vitantonio-Mazzini, L. N., Gómez, D., Gambin, B. L., Di Mauro, G., Iglesias, R., Costanzi, J., Jobbágy, E. G., & Borrás, L. (2020). Sowing date, genotype choice, and water environment control soybean yields in central Argentina. *Crop Science*, 61(1), 715–728. <https://doi.org/10.1002/csc2.20315>