

Artículo de divulgación

Impacto de la variabilidad genotípica y ambiental sobre los carbohidratos solubles en el grano de soja

Lopez, E¹; Alvarez Prado, S²; Rotundo, JL³; Gerde, JA¹.¹CONICET, Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario (IICAR), Campo Experimental Villarino S/N, Zavalla, Santa Fe, Argentina²CONICET, Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA), Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina³Corteva Agriscience, Farming Solutions and Digital, 7300 NW 62nd Ave, Johnston, Iowa, USA
lopez@iicar-conicet.gob.ar

Introducción

Optimizar la fecha de siembra del cultivo de soja resulta crítico para maximizar el rendimiento (Di Mauro et al., 2018). Sin embargo, sus efectos sobre la calidad de los granos, más allá de la concentración de proteína y aceite, han sido raramente descritos (Bosaz et al., 2019). El grano de soja está compuesto por: proteína, aceite y residual. El residual contiene cenizas, carbohidratos solubles (azúcares y oligosacáridos) e insolubles (celulosa y hemicelulosa) y lignina. Estos últimos son los componentes mayoritarios de la fibra dietaria (Westgate, 1999).

La proteína y el aceite son los componentes de mayor valor económico y nutricional, y representan en conjunto el 60% del peso del grano expresado en base seca. Las cenizas corresponden a un 5% aproximadamente, mientras que un 35% pertenece a carbohidratos. Estos últimos se encuentran principalmente en la cubierta, pero también se pueden encontrar en las células del parénquima del embrión. Si bien una porción de carbohidratos y lignina se elimina con las cascarillas, la harina de soja puede contener hasta un 40% de carbohidratos totales (Medic et al., 2014).

El residual es la fracción menos estudiada del grano de soja por ser el componente de menor retribución monetaria y calidad nutricional (Middelbos y Fahey, 2008). Sin embargo, su concentración y composición pueden afectar el rendimiento y calidad de los ingredientes proteicos derivados. El residual, contiene rafinosa y estaquiosa, dos galactooligosacáridos de tres y cuatro monómeros respectivamente, con efectos antinutricionales. Estos oligosacáridos producen una disminución en la absorción intestinal de nutrientes, flatulencias y diarrea en cerdos, perros y humanos (Kumar et al., 2010). Genotipos con baja con-

centración de estaquiosa y elevada concentración de sacarosa han sido desarrollados para evitar dichas características. Su utilización en la elaboración de ingredientes proteicos ha conducido a una disminución en la concentración de estaquiosa en los mismos, con un consecuente aumento de la eficiencia del proceso y una mejora de las propiedades funcionales (Deak y Johnston, 2006).

El objetivo de este estudio consistió en describir cómo los genotipos (G) y el ambiente (A) afectan a la proteína, el aceite y los carbohidratos solubles (estaquiosa, rafinosa, glucosa y fructosa) dentro de la fracción residual en el grano de soja.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental Villarino, ubicado en Zavalla, Santa Fe, Argentina (33° 1 S, 60° 53 W; altitud 24,6m), sobre un suelo Argiudol Vértico de la serie Roldán. Se evaluaron nueve genotipos comerciales que incluyeron grupos de madurez (GM) del III al VI en fechas de siembra contrastantes (8 nov. y 19 dic., 2019). El ensayo fue sembrado en directa con una sembradora neumática experimental. Se utilizaron parcelas de 6 metros de largo con 4 surcos distanciados a 0,52 m. El diseño experimental consistió en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. La densidad de plantas fue la misma para ambas fechas (33 plantas m⁻²) y se condujo libre de malezas, plagas y enfermedades según recomendaciones básicas de manejo de soja para la zona. Al momento de la cosecha 4 m de los dos surcos centrales fueron recolectados y utilizados para realizar todas las mediciones en cada parcela.

La determinación de proteínas se realizó mediante el método Kjeldahl, basado en la

digestión con ácido sulfúrico de la materia orgánica en presencia de catalizadores (McKenzie y Wallace, 1953). La extracción y medición de aceite se realizó con hexano como solvente (AOCS, 2009a). La determinación de carbohidratos solubles se realizó por HPLC mediante una columna Aminex HPX-87H de 300 x 7,8 mm (Bio-Rad, EE.UU.). Por último, la estimación de cenizas se llevó a cabo a través del método estándar Bc 5-49 (AOCS, 2009b) y la cuantificación de carbohidratos insolubles más lignina fue estimada por diferencia.

Resultados

Las fechas de siembra utilizadas mostraron ligeras diferencias en cuanto a las variables ambientales exploradas. La comparación de ambas fechas mostró temperaturas (mínima, media y máxima), fotoperíodo, radiación y precipitaciones, con menores valores en la fecha de siembra tardía (19-dic) respecto a la fecha de siembra temprana (8-nov) (Tabla 1).

La concentración de proteína presentó una amplia variabilidad, la cual estuvo entre 34 y 41 g 100 g⁻¹ (Fig. 1a) y fue asociada a la interacción genotipo x ambiente ($p < 0,001$; Tabla 2). La fecha de siembra tardía evidenció un aumento promedio en la concentración de proteína respecto a la fecha de siembra temprana (38,5 vs 37,2 g 100 g⁻¹; Fig. 1a; $p < 0,001$). En cuanto a la concentración de aceite, se observó una variación fenotípica entre 15 y 22 g 100 g⁻¹ (Fig. 1b). Si bien no se observaron diferencias entre genotipos (Tabla 2), atrasos en la fecha de siembra mostraron una ligera reducción de 19,3 a 18,2 g 100 g⁻¹ (Fig. 1b).

La concentración de residual varió entre 39 y 47 g 100 g⁻¹ entre genotipos y ambientes (Fig. 1c). Al igual que la concentración de aceite, la concentración de residual no mos-

Tabla 1: Temperatura mínima, media y máxima, radiación acumulada, fotoperíodo promedio y precipitaciones acumuladas para el período emergencia – R8 en dos fechas de siembra.

Fecha de siembra	Temperatura mínima (°C)	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Radiación (MJ m ⁻²)	Fotoperíodo (h)	Precipitaciones (mm)
8-nov	15,5	23,4	31,5	2288	14,5	354
19-dic	14,8	22,5	30,7	1817	13,9	276

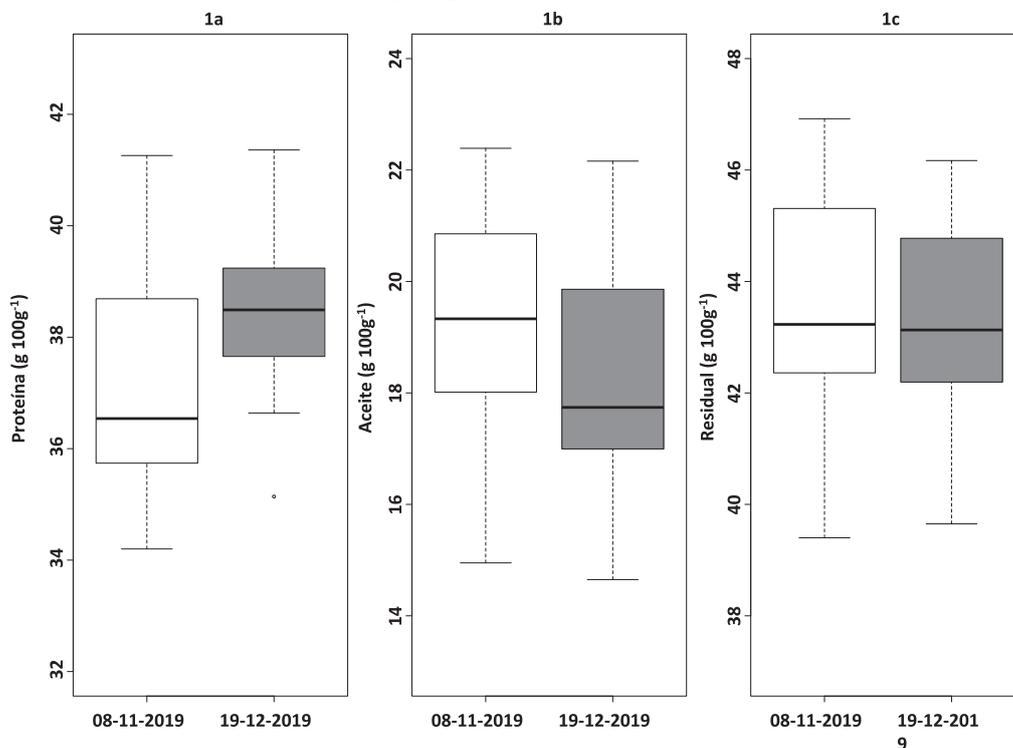
Tabla 2 – Concentración de proteína, aceite, residual, carbohidratos totales, carbohidratos insolubles + lignina, carbohidratos solubles, estaquiosa, rafinosa, sacarosa, glucosa y fructosa en función del ambiente y genotipo.

Variables	Prot	Ace	Res	Carb T	Carb ins + lig	Carb sol	Est	Raf	Sac	Glu	Fru
Ambiente	***	*	ns	ns	*	***	***	***	ns	***	***
Genotipo	***	ns	ns	ns	**	***	***	***	**	***	***
G*A	***	*	ns	ns	ns	ns	*	***	***	***	***

* P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001; ns: no significativo.

Prot : proteína; Ace : aceite; Res : residual; Carb T : carbohidratos totales; Carb ins + lig : carbohidratos insolubles + lignina; Carb sol : carbohidratos solubles; Est : estaquiosa; Raf : rafinosa; Sac : sacarosa; Glu : glucosa; Fru : fructosa.

Figura 1: Concentración de Proteína, aceite y residual (g 100g⁻¹) en función de los ambientes evaluados.



tró diferencias entre los genotipos evaluados (Tabla 2). Respecto al ambiente, tanto la fecha de siembra temprana como la tardía tuvieron valores promedio similares de alrededor de 43,4 g 100 g⁻¹. En cuanto a la fecha tardía (19-dic), se observó una reducción en la variabilidad explorada (Fig. 1c).

La fracción residual fue descompuesta en sus componentes y analizada en función de su variabilidad. Los carbohidratos solubles presentaron concentraciones entre 11 y 14 g 100 g⁻¹ para todo el set de datos evaluado (Fig. 2a). La variabilidad fenotípica observa-

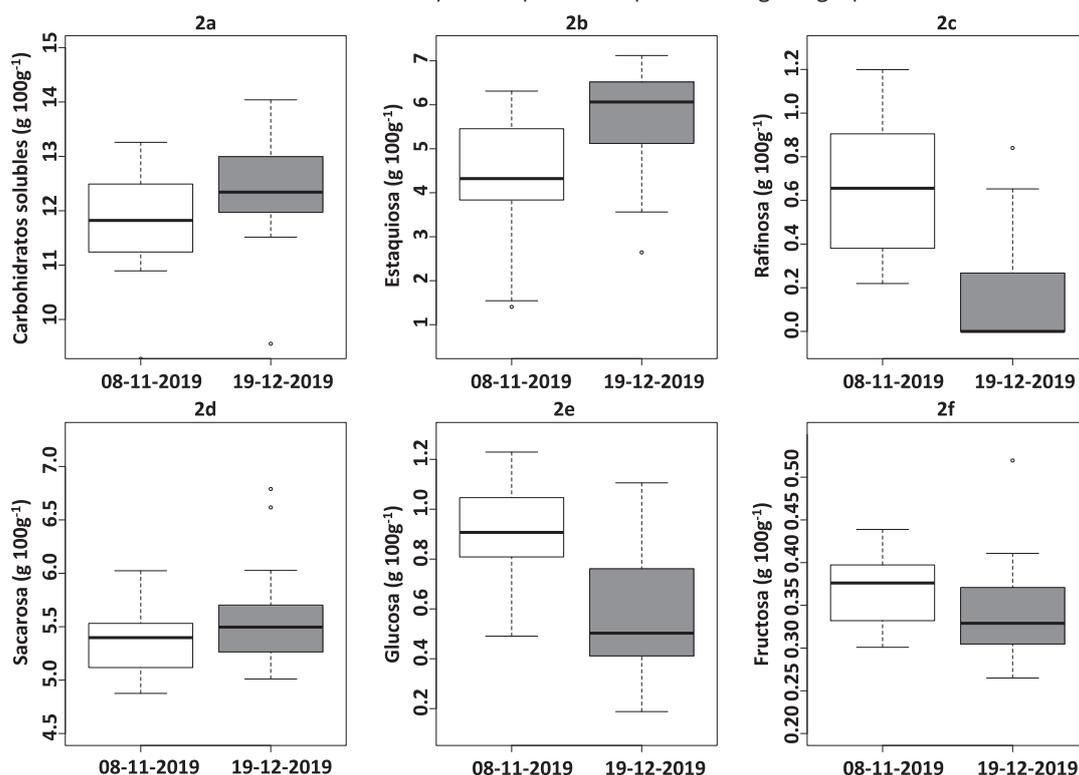
da fue explicada principalmente por el genotipo y el ambiente (p<0,001; Tabla 2). El atraso en la fecha de siembra generó un aumento en la concentración de 11,6 a 12,4 g 100 g⁻¹ (Fig. 2a).

Los carbohidratos solubles fueron luego analizados en forma individual. En este sentido, las variaciones en la concentración de estaquiosa estuvieron mayormente explicadas por el genotipo seguido del ambiente (49% y 37% de la variancia respectivamente). Se observó un aumento en su concentración ante el atraso en la fecha de

siembra de 4,39 a 5,77 g 100 g⁻¹ (Fig. 2b). Por otra parte, el cambio en el ambiente explicó el 64 y el 36% de la variación observada en rafinosa y glucosa respectivamente, con consecuentes reducciones en su concentración en el ambiente tardío (Fig. 2c y Fig. 2e).

El 47% de la variación observada en sacarosa estuvo asociada a la interacción genotipo x ambiente (Tabla 2). Se evidenció un leve aumento en su concentración de 5,23 a 5,54 g 100 g⁻¹ ante el atraso en la fecha de siembra sin presentar variaciones significativas (p>0,05) (Fig. 2d). Del mismo modo,

Figura 2: Concentración total de carbohidratos solubles y su composición expresada en (g 100g⁻¹) para los ambientes evaluados.



el 44% de la variación percibida en fructosa fue explicada por la interacción genotipo x ambiente. No obstante, se observó una reducción en su concentración en el ambiente tardío (Fig. 2f).

Conclusiones

El ambiente logrado mediante la fecha de siembra tardía expuso al cultivo a condiciones de menores temperatura, radiación acumulada, fotoperíodo y precipitaciones durante el llenado, lo cual impactó sobre las concentraciones de proteína, aceite y residual. La concentración de proteína se correlacionó de manera negativa con la concentración de aceite en grano. A pesar de que el ambiente tardío favoreció, en general, la deposición de proteínas y redujo la concentración de aceite, para estas variables existió interacción del orden genotipo x ambiente ($p < 0,001$, $p < 0,05$, respectivamente).

La concentración de carbohidratos solubles fue determinada en mayor medida por el genotipo. Sin embargo, el cambio ambiental afectó tanto su concentración como su composición. Por un lado, estaquirosa y sacarosa aumentaron su concentración al disminuir la temperatura del aire, radiación acumulada, fotoperíodo y precipitaciones. Es decir, el ambiente de la fecha

de siembra tardía favoreció su acumulación. Mientras que rafinosa, glucosa y fructosa fueron favorecidas por las condiciones ambientales preponderantes en la fecha de siembra temprana.

Nuestros resultados ponen de manifiesto que la selección del genotipo y el ambiente afectan no sólo a las concentraciones de proteína y aceite, sino también a la composición de los carbohidratos solubles dentro de la fracción residual en el grano de soja.

Bibliografía

- AOCS. (2009) a. AOCS Official Method Ac 3-44 Oil. En Firestone, D. (ed.), *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. 6th ed. Urbana, IL.
- AOCS. (2009) b. AOCS Official Method Bc 5-49 Ash. En Firestone, D. (ed.), *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS*. 6th ed. Urbana, IL.
- Bosaz L.B, Gerde J.A., Borrás L., Cipriotti P.A., Ascheri L., Campos M., Gallo S. y Rotundo J.L. (2019). "Management and environmental factors explaining soybean seed protein variability in central Argentina". *F. Crop. Res.* 240:34-43 pp.
- Deak, N.A., Murphy, P. y Johnson, L.A. (2006). "Compositional characteristics of protein ingredients prepared from high-sucrose/low-stachyose soybeans". *J. Am.*

Oil Chem. Soc. 83:803-809 pp.

- Di Mauro, G., Cipriotti, P., Gallo, S., Rotundo, J.L. (2018). "Environmental and management variables explain soybean yield gap variability in Central Argentina". *Europ. J. Agronomy* 99:186-194 pp.
- Kumar, V., Rani, A., Goyal, L., Dixit, A.K., Manjaya, J.G., Dev, J. y Swamy, M. (2010). "Sucrose and raffinose family oligosaccharides (RFOs) in soybean seeds as influenced by genotype and growing location". *J. Agric. Food Chem.* 58:5081-5085 pp.
- McKenzie, H. A y Wallace H. S. (1953). "The Kjeldahl determination of Nitrogen: A critical study of digestion conditions-temperature, catalyst and oxidizing agent". *Australian Journal of Chemistry* 7:55-70 pp.
- Medic, J., Atkinson, C. y Hurburgh, C.R. (2014). "Current knowledge in soybean composition". *J. Am. Oil Chem. Soc.* 91:363-384 pp.
- Middelbos, I.S. y Fahey, G.C. (2008). Soybean carbohydrates. 269-296 pp. En: Johnson, L.A., White, P.J., Galloway, R. (eds.), *Soybeans: Chemistry, Production, Processing, and Utilization*. AOCS Press, Urbana, IL.
- Westgate, M.E. (1999). "Environmental and management impact on soybean seed composition a literature review". USB report.