

Constanza S. Carrera^{1,2};
Diego O. Soldini³ y
Julio L. Dardanelli⁴.

1- Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (INTA-CIAP); 2- CONICET;
3- EEA INTA Marcos Juárez;
4- EEA INTA Manfredi.

Soja con características diferenciales en calidad nutricional para nichos de mercados

Ciertos genotipos no cultivados de soja constituyen un reservorio de genes ligados a la calidad nutricional y una oportunidad para diversificar la producción de materia prima y agregar valor.

Palabras Claves:

Soja; Calidad nutricional;
Nichos de mercado.

Componentes químicos del grano, uso industrial y alimenticio

La soja [*Glycine max* (L.) Merr.] constituye una importante alternativa para la nutrición humana y animal, como así también para la industria alimenticia [1]. El grano de soja contiene altos niveles de proteína (42%) y aceite (20%) [2]. Los principales componentes del aceite de soja son los ácidos grasos insaturados, entre los cuales el ácido oleico (omega 9), el ácido linoleico (omega 6) y el ácido linolénico (omega 3) están presentes en elevada proporción (22%, 54%, 10%, respectivamente) [2,3]. La proporción de estos ácidos grasos determina las propiedades y el valor nutricional del grano de soja. Un nivel elevado de ácido oleico (omega 9) es deseable para la industria aceitera, porque este le confiere al producto una baja capacidad de oxidación, incrementando su durabilidad en góndola. Por otra parte, contenidos elevados de ácidos grasos esenciales, ácidos linoleico y linolénico (omega 6 y 3, respectivamente) son requeridos para nutrición humana debido a sus beneficios potenciales para la salud. Los ácidos grasos esenciales son necesarios para el crecimiento y la reproducción. La carencia de los mismos causa efectos directos en la salud y nutrición tanto humana como animal [4]. El aceite y la harina de soja contienen valiosos componentes menores, tales como los tocoferoles y los isoflavonoides. Los tocoferoles ayudan a prevenir la oxidación lipídica en los granos durante el almacenamiento y la germinación, removiendo los radicales libres. Los tocoferoles también constituyen la vitamina E, la cual contribuye al valor nutracéutico del grano de soja porque mejora el funcionamiento del sistema inmunológico [5]. Los alimentos basados en soja son conocidos como alimentos funcionales debido a su contenido en moléculas potencialmente activas tales como los isoflavonoides [6], los cuales poseen elevado potencial para prevenir enfermedades crónicas [7].

La genética de la semilla influye de manera significativa en la expresión de los rasgos que contribuyen al valor nutricional y/o industrial de la soja. Las investigaciones orientadas al mejoramiento de la composición química del grano de soja han estado focalizadas principalmente al aumento del contenido de aceite y proteína, a la mejora del balance de aminoácidos de la proteína, al incremento del contenido de isoflavonoides y a la modificación de la composición de ácidos grasos del aceite [2]. A nivel mundial, Argentina es uno de los principales países exportadores de grano de soja, luego de USA y Brasil; y el principal de productos derivados como la harina y el aceite [8]. El 99% del área sembrada con soja en el país es cultivada con germoplasma transgénico, cuya composición química es sensible a las variaciones ambientales pero muestra escasa variación entre los cultivares [9]. Por ello, se ha desarrollado germoplasma no transgénico con características químicas diferenciales para algunos de los componentes del grano que definen su calidad [10]. Sin embargo, el perfil químico referido a otros componentes es desconocido. Su estudio y caracterización podría ser de utilidad para determinar de manera más precisa la identidad de las variedades mejoradas, para su posterior uso en programas de mejoramiento. De esta forma, partiendo de los genotipos exóticos químicamente caracterizados, se podrían transferir nuevos genes de interés al germoplasma comercial, ampliando así la base genética. Esto permitiría reducir la vulnerabilidad del material actualmente disponible, diversificar la producción de materia prima y finalmente incorporar valor agregado en las exportaciones. En el siguiente artículo se presenta de forma resumida la composición química de genotipos de soja no transgénicos con características diferenciales para calidad nutracéutica e industrial, en diferentes ambientes de la región sojera argentina.

Descripción de los genotipos de soja no transgénicos y ambientes de la región sojera argentina analizados

Los genotipos no transgénicos con características diferenciales para calidad incluidos en el presente estudio (el grupo de madurez y el hábito de crecimiento están indicados entre paréntesis) fueron: i) tres materiales alto aceite: AC 0730-3 (IV largo, indeterminado), AC 0916-1 (IV largo, indeterminado), AC 0124-1 (V corto, indeterminado) y, ii) tres materiales alta proteína: ALIM 3.14 (V indeterminado), ALIM 4.13 (V indeterminado), ALIM 3.20 (V indeterminado). Estos genotipos fueron provistos por el Banco Activo de Germoplasma de Soja del INTA Marcos Juárez (Córdoba, Argentina) a cargo del Dr. Diego Soldini y corresponden a líneas experimentales avanzadas, por lo que aún no han sido oficialmente inscriptas en el Instituto Nacional de Semillas (INASE). Tienen origen en un programa de Prebreeding que lleva adelante el INTA, basado en la obtención de material donador de genes para mayor contenido de aceite y de proteína a partir de materiales no cultivados dotados de genes de interés y de los que se obtienen líneas avanzadas - luego de varios ciclos de selección -, con el objetivo de transferir dichos atributos a cultivares comerciales ampliando su base genética (com. pers. D. Soldini). Estos materiales fueron seleccionados dentro de un grupo élite de líneas avanzadas, teniendo en cuenta que su grupo de madurez y longitud de ciclo permitieran su adaptación a las diferentes localidades previstas en la red de ensayos utilizada.

En la Tabla 1 se muestran las campañas, localidades y fechas de siembra que conformaron la red de ensayos multiambientales. Dicha red estuvo integrada por 23 ambientes (definido como la combinación de campaña, localidad y fecha de siembra). Los ensayos fueron realizados en 8 Estaciones Experimentales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ubicadas en 8 localidades distribuidas en la región sojera argentina, abarcando el rango latitudinal comprendido entre los 24° y 38° de latitud sur. Cabe destacar que se implantaron dos fechas de siembra por localidad durante las campañas 2006-2007 y 2007-2008 bajo condiciones de secano.

Caracterización del perfil químico de los genotipos no transgénicos

Los valores promedio de los diferentes componentes del grano de soja (proteína, aceite, ácidos oleico, linoleico, linolénico, relación ácido oleico/linolénico, alfa, beta, gama, delta y total tocoferoles e isoflavonoides totales) a través de todos los ambientes para cada genotipo no transgénico, se presentan en las Tablas 2, 3 y 4. La concentración media de proteína varió entre 39,5% y 42,4%, correspondiéndole al genotipo Ac0916-1 el valor más bajo y al genotipo ALIM3.14 el valor más alto; mientras que la concentración media de aceite osciló entre el 21,0% (para el genotipo ALIM3.14) y el 22,7% (para Ac0916-1). Además, a partir de los valores reportados en la Tabla 2 para ambas variables, se observó que los materiales alta proteína (denominados ALIM) alcanzaron los valores más altos de concentración de proteína, superando a los restantes materiales no transgénicos. Lo mismo se notó para los genotipos alto aceite (denominados AC). De esta forma ambos grupos se destacaron por el atributo químico para el cual habían sido mejorados y seleccionados.

En la Tabla 2 se puede observar que el material ALIM4.13 presentó la concentración más alta de ácido oleico (24,5%) y, consecuentemente, las menores concentraciones de los ácidos linoleico y linolénico (51,1 y 6,8%, respectivamente). Por otro lado, el genotipo Ac0730-3 exhibió un comportamiento inverso, alcanzando las concentraciones más altas

Tabla 1

Campañas, localidades y fechas de siembra incluidas en los ensayos multiambientales conducidos en la región sojera argentina.

Campaña	Localidad†	Latitud (S), Longitud (O)	Fecha de Siembra			
			Oct.	Nov.	Dic.	Ene.
			----- Día del mes -----			
2006-2007	BW	38° 19', 60° 14'	-	6	15	-
	BO	37° 49', 63° 02'	-	29	-	-
	CE	24° 54', 65° 29'	-	14	22	-
	CA	27° 38', 55° 30'	27	27	-	-
	FA	27° 04', 65° 25'	-	-	-	19
	MA	31° 49', 63° 46'	20	-	21	-
	PA	31° 44', 60° 32'	-	-	1, 28	-
	RQ	29° 40', 59° 12'	-	-	6	3
2007-2008	BO	37° 49', 63° 02'	-	-	-	7
	CE	24° 54', 65° 29'	-	13	17	-
	CA	27° 38', 55° 30'	-	15	-	-
	FA	27° 04', 65° 25'	-	26	-	8
	MA	31° 49', 63° 46'	30	-	-	2
	PA	31° 44', 60° 32'	-	-	-	15

† BW, Barrow; BO, Bordenave; CE, Cerrillos; CA, Cerro Azul; FA, Famaillá; MA, Manfredi; PA, Paraná; RQ, Reconquista.

Tabla 2

Contenidos promedio de concentración de proteína, aceite, ácidos grasos insaturados (ácidos oleico, linoleico y linolénico) y relación oleico/linolénico (Ol/Ln) (% de la muestra seca) del grano de soja de 6 genotipos no transgénicos evaluados en 23 ambientes de la región del cultivo en Argentina.

Componente Químico	No Transgénicos					
	Ac0124-1	Ac0730-3	Ac0916-1	ALIM3.14	ALIM3.20	ALIM4.13
Proteína	39,91e	40,30d	39,52f	42,41a	40,74c	41,79b
Aceite	22,17c	22,54b	22,67b	21,04e	21,91c	21,44d
Oleico	23,78b	21,56e	21,98d	22,07c,d	22,22c	24,53a
Linoleico	51,76d	54,32a	53,34b	53,30b	52,21c	51,05e
Linolénico	8,08b	8,32a	7,59d	7,84c	8,01b	6,77f
Ol/Ln	3,05d	2,66g	2,97e	2,92e	2,81f	3,79a

Letras distintas dentro de una misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los genotipos.

de ácidos linoleico y linolénico (54,3 y 8,3%, respectivamente) y el valor más bajo de ácido oleico (21,6%), resultando en una menor relación oleico/linolénico (2,7%).

Hubo diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) entre los genotipos respecto a los contenidos promedio de isómeros de tocoferoles (Tabla 3). El rango de valores para alfa tocoferol fue de 114,1 mg/kg de aceite (ALIM3.20) a 139,1 mg/kg de aceite (Ac0124-1) y para beta tocoferol fue de 37,9 (Ac0730-3) a 51,7 (Ac0124-1) mg/kg de aceite. En el caso de gama tocoferol el rango fue de 939,8 (ALIM4.13) a 1080,5 (Ac0916-1) mg/kg de aceite, mientras que para delta tocoferol fue de 307,8 (ALIM3.14) a 397,3 (ALIM3.20) mg/kg de aceite. Los genotipos ALIM3.20 y Ac0916-1 exhibieron el mayor contenido de gama tocoferol y/o delta tocoferol, destacándose así por presentar los contenidos más altos de tocoferoles totales (Tabla 3). El genotipo Ac0124-1 presentó alto contenido de alfa tocoferol y bajo de delta tocoferol, exhibiendo el más alto contenido de alfa tocoferol (139,1 mg/kg), seguido por el genotipo ALIM3.14 (Tabla 3). Cabe señalar que este último genotipo, junto con ALIM4.13 y Ac0730-3 alcanzaron el menor contenido de tocoferoles totales (Tabla 3). Por otro lado, se destacaron por su alto contenido de tocoferoles totales los genotipos

Ac0916-1 y ALIM3.20 (1573,3 y 1558,4 mg/kg, respectivamente) (Tabla 3), aunque cabe destacar que mientras Ac0916-1 exhibió el contenido más alto de gama tocoferol (1080,5 mg/kg), ALIM3.20 mostró los contenidos más altos de delta tocoferol (397,3 mg/kg) (Tabla 3).

El rango de variación de los isoflavonoides totales estuvo comprendido entre 2,91 y 4,62 mg/g de harina seca desgrasada, correspondiéndole el valor más bajo al genotipo ALIM4.13 y el valor más alto al ALIM3.20 (Tabla 4). El valor promedio de los genotipos no transgénicos fue de 3,85 mg/g de harina seca desgrasada.

Basados en estos resultados, fue posible establecer diferentes perfiles de composición química para cada genotipo no transgénico incluido en este estudio, quedando definida de esta manera su identidad. Así, podría optimizarse la calidad del grano de soja no transgénica para distintos propósitos y contribuir a obtener calidades nutracéutica e industrial específicas. Si bien existen capacidades potenciales de expansión del cultivo de soja en nuestro país, el futuro de este crecimiento, en términos de competitividad internacional, depende además de la producción de sojas especiales para oportunidades de mercado de materias primas con calidades diferenciales o “nichos de mercado”.

Tabla 3

Contenidos promedio de alfa-, beta-, gama-, delta- y total tocoferol (mg/kg de aceite) del grano de soja de 6 genotipos no transgénicos evaluados en 23 ambientes de la región del cultivo en Argentina.

Componente Químico	No Transgénicos					
	Ac0124-1	Ac0730-3	Ac0916-1	ALIM3.14	ALIM3.20	ALIM4.13
Alfa	139,13a	133,96a,b	125,50d	131,50b,c	114,08e	128,51c,d
Beta	51,66a	37,88c,d	44,30b	47,84a,b	39,02c	44,09b
Gama	980,48d	986,66c,d	1080,81b	941,92e	1007,97c,d	939,77e
Delta	362,30b	338,59c	322,91d	307,81e	397,34a	355,18b
Total tocoferol	1533,56c,d	1497,10d,e	1573,59b	1429,07f	1558,41b,c	1467,55e

Letras distintas dentro de una misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los genotipos.

Tabla 4

Contenido promedio de isoflavonoides totales (mg/g de harina seca desgrasada) del grano de soja de 6 genotipos no transgénicos evaluados en 23 ambientes de la región del cultivo en Argentina.

Componente químico	No Transgénicos					
	Ac0124-1	Ac0730-3	Ac0916-1	ALIM3.14	ALIM3.20	ALIM4.13
Isoflavonoides Totales	3,640d	4,070b	3,920b,c	3,880c	4,620a	2,910f

Letras distintas dentro de una misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los genotipos.

Conclusiones

- Los genotipos no transgénicos analizados mostraron elevada variabilidad referida a los componentes químicos del grano de soja. Dentro de los genotipos identificados como de alta proteína, ALIM 3.20 se caracterizó además, por presentar el contenido más alto de isoflavonoides totales. Por otra parte, el aceite de dicho genotipo exhibió atributos interesantes, debido a su elevada concentración de ácido linoléico (omega 3) y delta tocoferol, así como a su baja relación ácido oleico/linoléico. Por lo tanto, ALIM 3.20 podría ser utilizado directamente como materia prima para la obtención de mayor concentración de proteína requerida por la industria harinera. Este genotipo también permitiría la obtención de harina con altos niveles de isoflavonoides y aceite rico en ácido linoléico (ácido graso esencial), útil para propósitos nutracéuticos y consumo humano. Por otra parte, ALIM 4.13 mostró la relación más alta de ácido oleico/linoléico, resultando en un aceite de baja capacidad de oxidación, lo cual incrementa su vida en góndola. Esto último es requerido por las industrias aceiteras y de biodiesel. Este genotipo alcanzó el contenido más alto de alfa tocoferol (conocido como vitamina E), el cual es importante para la dieta humana.
- Entre los genotipos caracterizados como de alto aceite, Ac 0730-3 exhibió la concentración más elevada de ácidos grasos esenciales polinsaturados (ácidos linoleico y linoléico) y por lo tanto, la relación más baja de ácido oleico/linoléico. Más aún, este genotipo se caracterizó por presentar elevados niveles de alfa tocoferol y alto rendimiento en proteína, produciendo harinas con el contenido más alto de isoflavonoides después de ALIM 3.20. Es por ello que dicho genotipo sería apto para la producción de soja destinada al desarrollo de productos nutracéuticos con valor agregado.

Referencias

- 1 Seguin P, Turcotte P, Tremblay G, Pageau D and Liu W, Tocopherols concentration and stability in early maturing soybean genotypes. *Agron J* 101:1153–1159 (2009).
- 2 Wilson R, Seed composition, in *Soybeans: Improvement, production and uses*, ed. by Stewart BA and Nielsen DR, 3rd edn, Agronomy Monograph 16, ASSA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 621–677 (2004).
- 3 Orthoefer FT, Vegetable oils, in *Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Edible Oil and Fat Products: General Applications*, ed. by Hui YH, JohnWiley & Sons, Inc, NewYork, pp. 19–44 (1996).
- 4 Valenzuela A, Sanhueza J and Nieto S, Long-chain omega-3 fatty acids in human and animal health and nutrition: a model for development of functional foods. *Aceites y Grasas* 10:526–533 (2000).
- 5 Shintani D and DellaPenna D, Elevating the Vitamin E content of plants through metabolic engineering. *Science* 282: 2098–2100 (1998).
- 6 Berger M, Rasolohery CA, Cazalis R and Daydé J, Isoflavone accumulation kinetics in soybean seed cotyledons and hypocotyls: distinct pathways and genetic controls. *Crop Sci* 48:700–708 (2008).
- 7 Caragay AB, Cancer-preventive foods and ingredients. *Food Technol*, 46:65–68 (1992).
- 8 Carrera C, Martínez MJ, Dardanelli J and Balzarini M, Environmental variation and correlation of seed components in nontransgenic soybeans: protein, oil, unsaturated fatty acids, tocopherols and isoflavones. *Crop Sci* 51:800–809 (2011).
- 9 Carrera C, Martínez MJ, Dardanelli J and Balzarini M, Water deficit effect on the relationship between temperature during the seed filling period and soybean seed oil and protein concentrations. *Crop Sci* 49:990–998 (2009).
- 10 Soldini DO, in *Potencial genético de cruzamentos dalélicos parciais de soja com ênfase nas productividades de grãos e óleo*, PhD dissertation, Universidade de San Pablo (USP), Piracicaba, Brazil, pp. 80 (1998).