

Acondicionamiento de grano de soya y efecto en antinutrientes, proteína y lípidos

Ana Karen Juárez-Fernández¹

Juan de Dios Guerrero-Rodríguez^{1,§}

Pedro Antonio-López¹

José Luis Jaramillo-Villanueva¹

Francisco Javier Gómez-Montaña²

1 Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, Puebla. CP. 72760. (karenfdz73@gmail.com; palopez@colpos.mx; jaramillo@colpos.mx).

2 Tecnológico Nacional de México-Campus San Martín Texmelucan. Camino a la Barranca de Pesos s/n, San Lucas Atoyatenco, San Martín Texmelucan de Labastida, Puebla, México. CP. 74120.

Autor para correspondencia: rjuan@colpos.mx

Resumen

La soya es una fuente estratégica de proteína vegetal para la alimentación animal; sin embargo, la presencia de factores antinutricionales como inhibidores de tripsina, fitatos y saponinas limita su aprovechamiento cuando el grano se utiliza sin procesamiento. La investigación, se realizó en 2025, evaluó el efecto de cuatro métodos de acondicionamiento postcosecha (remojo, hervido, germinado y tostado) sobre la concentración de factores anti nutricionales y concentración de proteína cruda y lípidos en seis variedades de soya cultivadas en Puebla (HSO, RGNA, BM2, HSVA, Varita y Tamesí). Se determinó proteína cruda, lípidos totales, fitatos, inhibidores de tripsina y saponinas, analizados como diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos factores (variedad x método) con comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0.05$). En resultados, las variedades y métodos de acondicionamiento generaron diferencias. La variedad hoja seca original, destacó por presentar el mayor contenido de proteína cruda, valores intermedios y estables de lípidos totales y una reducción eficiente de los principales factores antinutricionales tras los tratamientos. En contraste, la variedad BM2 presentó el menor contenido proteico y mayor sensibilidad al tratamiento térmico. El grano crudo presentó las concentraciones más elevadas de factores antinutricionales. El tostado y el hervido lograron las mayores reducciones de inhibidores de tripsina, mientras que el germinado y el remojo disminuyeron fitatos y saponinas con menor afectación del contenido proteico. Las variedades difieren en composición química pero dicha variación es menor que el efecto que produjeron los acondicionamientos, siendo el tostado el que mejor disminuyó los antinutrientes.

Palabras clave:

fitatos, ganadería familiar, inhibidores de tripsina.



[License \(open-access\)](#): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

La soya constituye la fuente vegetal de proteína más importante para la industria pecuaria debido a su elevado contenido proteico y energético, así como a su perfil de aminoácidos esenciales y aceite de alta digestibilidad. En México, su uso es estratégico en la nutrición animal, particularmente en aves de corral, bovinos y cerdos, cuyas dietas requieren concentraciones de proteína cruda entre 11 y 23% (INIFAP, 2019).

Sin embargo, el país es dependiente de importaciones, ya que la producción nacional cubre entre 4-8% del consumo interno, quedando sujeto a fluctuaciones de precios internacionales, lo que limita la rentabilidad de los pequeños productores pecuarios (SADER, 2023).

Un segundo obstáculo para el aprovechamiento del grano es la presencia de factores antinutricionales, principalmente inhibidores de tripsina, saponinas y fitatos, los cuales reducen digestibilidad de proteínas y biodisponibilidad de minerales (De la Luna, 2006). Por ello, es necesario aplicar procesos de inactivación antes de su uso en alimentación animal.

Se conoce que la variación en la respuesta del grano de soya ante los métodos de acondicionamiento depende tanto de la naturaleza del factor antinutricional como de las características del genotipo (Singer *et al.*, 2023). Los tratamientos térmicos favorecen la reducción de compuestos termolábiles, particularmente inhibidores de tripsina, mediante desnaturalización proteica; sin embargo, tratamientos intensos pueden afectar la disponibilidad de aminoácidos por reacciones secundarias como Maillard (Kong *et al.*, 2022).

Por otro lado, procesos como remojo y germinación pueden disminuir fitatos mediante solubilización y activación enzimática, representando alternativas de menor demanda tecnológica para sistemas de producción con recursos limitados (Sharma, 2021; Kong *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022).

A pesar de la relevancia agropecuaria de la soya, la información es incompleta respecto a la variación en el contenido de antinutrientes entre variedades adaptadas a condiciones de temporal en zonas templadas y trópico seco sujetas a métodos de inactivación de fácil aplicación y bajo costo y cómo pueden afectar la composición del grano que se aprovecha en sistemas familiares de producción pecuaria.

Por tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar la variación del contenido de proteína cruda, lípidos y factores antinutricionales en variedades de soya sometidas a acondicionamientos de inactivación.

Materiales y métodos

Variedades

Se tuvieron las variedades comerciales Tamesí y BM2, y las variedades experimentales hoja seca original (HSO), hoja seca vainas abundantes (HSVA), Varita y RGNA, cultivadas en temporal en Atlixco, Puebla, México. El clima es templado subhúmedo, con temperatura media anual de 16.1-21.8 °C, precipitación promedio de 906 mm y suelo franco arenoso.

El cultivo se estableció con prácticas convencionales de manejo, en un experimento completamente al azar con cuatro repeticiones, de las cuales se obtuvo el grano manteniendo por separado cada repetición.



Tratamientos de inactivación

El grano cosechado en su forma cruda se deshidrató en una estufa de aire forzado a 40 °C hasta alcanzar peso constante por 72 h; después se pulverizó en un molino eléctrico. El remojo fue durante 5 h a 20 °C, con el triple de masa de agua con relación al peso de grano; posteriormente, este se secó al sol, esparcido en charolas metálicas.

El germinado fue por remojo por 48 h en agua purificada, para después poner el grano en charolas de plástico a la sombra manteniendo la humedad por cinco días cuando emergió la radícula. El grano se retiró y se colocó en charolas metálicas para secado al sol.

El hervido fue por 30 min, se escurrió el grano en un colador y se colocó en charolas para su secado al sol. El tostado fue en horno eléctrico a 150 °C por 20 min, en charolas metálicas con el grano esparcido uniformemente.

Todos los granos se deshidrataron en estufa de aire forzado a 40 °C por 72 h, para pulverizarse en un molino eléctrico a 30 000 rpm.

Variables

La proteína cruda (PC) se determinó por Kjeldahl (método 2001.11; AOAC, 2012a); lípidos totales por Soxhlet (método 920.39; AOAC, 2023); saponinas mediante extracción secuencial con éter, etanol 80% y n-butanol (Hostettmann *et al.*, 1995); inhibidores de tripsina por espectrofotometría usando BAPNA como sustrato (Welham y Domoney, 2000; AACC 22-40, 2009; AOCS (2017) Ba 12/12a; ISO 14902 (ISO, 2001) y fitatos por el método de Wheeler y Ferrel (1971), cuantificando hierro por colorimetría (AOAC 2012b, método 986.11).

Diseño experimental

El diseño fue completamente al azar con arreglo factorial (variedad x método de acondicionamiento de grano) 6 x 5, con cuatro repeticiones. Se corrió un análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

Los factores variedad, método de inactivación y su interacción generaron diferencias significativas en la mayoría de las tres fuentes, excepto en lípidos totales (Cuadro 1). El factor variedad tuvo mayor efecto en PC y lípidos totales (60 y 90%, respectivamente) de la variación total explicada; mientras que el factor método de inactivación fue decisivo en inhibidores de la tripsina, fitatos y saponinas explicando 99, 97 y 99%, respectivamente. En tanto, la interacción contribuyó con poco, alcanzando como máximo 6% de explicación en la variable PC.

Cuadro 1. Cuadrados medios y parámetros del análisis de varianza para variables químicas del grano de soya en función de variedad y método de inactivación.

Variable	Variedad	Método de inactivación	Variedad x método	Error	R ²	CV (%)	Media
PC	108.49 ^{***}	60.59 ^{***}	10.75 ^{***}	0.374	0.97	2.12	28.81
Lípidos	3.62 ^{***}	0.09 ns	0.33 ns	0.204	0.58	2.12	21.29
UIT	1.15×10 ^{6***}	5.40×10 ^{9***}	4.26×10 ^{5***}	8.22×10 ⁴	1	2.47	11589
Fitatos	0.738 ^{***}	25.72 ^{***}	0.086 ^{***}	0.00043	1	1.43	1.46
Saponinas	0.00061 [*]	0.176 ^{***}	0.00056 ^{**}	0.000214	0.97	3.57	0.41

ns= no significativo; ^{*} = p ≤ 0.05; ^{**} = p ≤ 0.01; ^{***} = p ≤ 0.001; PC= proteína cruda.

Proteína cruda

Las variedades fueron diferentes en contenido de PC con $p < 0.0001$ (Cuadro 2). La HSO tuvo mayor concentración (32.6%). La RGNA se situó con el segundo valor (30.3%), mientras que Tamesí, Varita y HSVA fueron similares con valores intermedios (28% en promedio) y BM2 tuvo la concentración menor (25.9%).

Cuadro 2. Valores medios de proteína cruda (%) del grano de soya por variedad y acondicionamiento de grano.

Método	Tamesí	Variedad					Media
		BM2	RGNA	HSO	HSVA	HSVA	
Crudo	28.56c	29.23c	32.31a	33.23a	30.37b	28.84c	30.42A
Remojado	28.28c	27.17d	32.97a	33.35a	27.77cd	27.75cd	29.55AB
Hervido	28.07c	27.69cd	32.15a	33.07a	27.54d	27.78cd	29.38B
Germinado	28.21c	26.18d	28.29c	31.48b	29.14c	27.3d	28.43C
Tostado	26.52d	19.14e	26.14d	31.71ab	26.37d	27.7cd	26.26D
Tostado	27.93D	25.88D	30.37B	32.57A	28.24C	27.87CD	

Medias con la misma letra minúscula son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$); letras mayúsculas para la comparación de factor respectivo, si son iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

La diferencia entre HSO y BM2 fue de 6.7%, lo cual fue una variación importante. Estas diferencias fueron consistentes con lo reportado por varios autores (Rotundo y Westgate, 2009; Panthee *et al.*, 2016), quienes atribuyen la variación a la base genética y a la proporción relativa entre proteínas y aceite en semillas de soya.

Por lo regular, en semillas de soya la concentración de proteína puede presentar una relación inversa con la de lípidos, debido a que ambos componentes comparten rutas metabólicas durante la acumulación de reservas en el grano.

Asimismo, los programas de mejoramiento pueden priorizar incrementos en proteína o aceite dependiendo del objetivo productivo de las variedades creadas, que también pueden generar diferencias entre genotipos.

La concentración de PC cambió con el método de inactivación ($p < 0.0001$). El grano crudo tuvo el valor mayor (30.4%). Hubo disminución de 0.9% con los métodos remojado y hervido; el germinado redujo 2% y el tostado tuvo el valor menor (26.3%) con reducción de 4.1% respecto al grano crudo.

De acuerdo con Liu (2019) el tostado puede reducir ligeramente el contenido de PC, aspecto relacionado con las reacciones de Maillard, que influyen en la cuantificación de la PC. Las otras pérdidas ocurren por solubilización (Sharma *et al.*, 2013) y uso de reservas. Aunque el tostado presentó la mayor reducción de factores antinutricionales, su aplicación implica disponibilidad de equipo térmico y consumo energético, factores que pueden limitar su adopción en unidades familiares de producción pecuaria.

En contraste, métodos como remojo y germinación requieren menor infraestructura y pueden representar alternativas de bajo costo, aunque con menor capacidad de reducción de inhibidores de tripsina. Por lo tanto, la selección del método de acondicionamiento debe considerar no solo la eficiencia de inactivación, sino también la disponibilidad de recursos, escala de producción y destino final del grano.

En cuanto a la interacción variedad x tratamiento, las variedades RGNA y BM2 fueron las que mostraron mayor efecto combinado ($p \leq 0.05$). En ambas, el tratamiento de tostado produjo los descensos más marcados de proteína en comparación con los demás métodos, aspecto que Liu (2019) lo relacionó con diferencias genéticas de la fracción proteica y la proporción proteína-aceite.



Lípidos totales

Las variedades fueron diferentes ($p < 0.0001$) en concentración de lípidos totales (Cuadro 3), pero con intervalo reducido (20-22%). La variedad RGNA tuvo mayor concentración (21.4%), mientras que HSO y Varita tuvieron los valores menores (20%).

Cuadro 3. Valores medios de lípidos totales (%) del grano de soya por variedad y acondicionamiento de grano.

Característica	Tamesí	Variedad					Media
		BM2	RGNA	HSO	HSVA	HSVA	
Crudo	21.68ab	21.89a	21.75a	20.96b	21.12b	20.51b	21.32A
Remojado	21.55ab	21.39ab	21.73ab	20.79b	21.25ab	21.42ab	21.36A
Hervido	21.18b	21.52ab	22.19a	20.79b	21.03b	20.87b	21.26A
Germinado	20.68b	21.35ab	22.42a	20.7b	21.15b	20.91b	21.2A
Tostado	21.37ab	21.64ab	21.8a	21.13b	21.1b	20.81b	21.31A
Media	21.29BC	21.56AB	21.98A	20.87C	21.13BC	20.9C	

Medias con la misma letra minúscula son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$); letras mayúsculas iguales para la comparación del factor respectivo, son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Estas diferencias pequeñas de acuerdo con Hou y Chang (2004); Rotundo y Westgate (2009); Liu (2019), es debido a que el contenido de lípidos en soya presenta variabilidad genética moderada, pero puede ser influenciada por factores de eficiencia de acumulación durante la maduración y la composición del tegumento, o como señala Wilson (2004) a diferencias en rutas de biosíntesis de ácidos grasos.

Los métodos de inactivación no afectaron la concentración de lípidos ($p = 0.7955$). Hu *et al.* (2002) señalan que estos en soya son poco susceptible a pérdidas por calentamiento moderado ($\leq 150^\circ \text{C}$) o remojo corto, debido a su localización en la semilla.

Inhibidores de la tripsina

Las variedades fueron diferentes en concentración de inhibidores de tripsina con $p < 0.0001$, (Cuadro 4). Varita y Tamesí se distinguieron de HSO y HSVA en tener 3.8% en promedio más (402 UIT g^{-1}). Kakade *et al.* (1973); Liener (1994) describen que la variación en la concentración de inhibidores es principalmente atribuible a factores genéticos propios de la semilla.

Cuadro 4. Valores medios de Unidades Inhibidoras de tripsina (UIT g^{-1}) del grano de soya por variedad y tratamiento.

Método	Tamesí	Variedad					Media
		BM2	RGNA	HSO	HSVA	HSVA	
Crudo	38306a	38216a	38907a	38238a	37736b	38520a	38321A
Remojado	6375c	6447c	5504d	6093c	6480c	6391c	6215B
Hervido	5453d	4635e	4649e	4595e	4348e	5239fd	4820C
Germinado	5971c	5506d	6234c	5515d	5438d	6023c	5781B
Tostado	3259f	2384g	3084f	2519f	2584f	3028f	2810D
Media	10873A	10238BC	10876AB	10192CB	10117C	10240AB	

Medias con la misma letra minúscula son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$); letras mayúsculas para la comparación de factor respectivo, si son iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Los métodos de inactivación redujeron considerablemente ($p < 0.0001$) la concentración de inhibidores de tripsina. El grano crudo tuvo el valor más alto ($38\,321 \text{ UIT g}^{-1}$), mientras que con los acondicionamientos la actividad inhibitoria se redujo entre 71 a 121%. El hervido tuvo una efectividad de $5\,700 \text{ UIT g}^{-1}$ (89%) de reducción y el tostado fue más eficiente, reduciendo entre $2\,509$ y $3\,431 \text{ UIT g}^{-1}$, (91-94% menos que el grano crudo).

La interacción variedad x acondicionamiento no fue uniforme ($p < 0.0001$) en las variedades, siendo RGNA la que varió más en los métodos remojado, hervido y germinado. Panthee *et al.* (2016); Liu (2019) mencionan que entre variedades hay ciertos genotipos que varían en la proporción relativa de inhibidores Kunitz y Bowman-Birk, así como a su estabilidad térmica, lo cual pudo tener relación con esta variedad.

Fitatos

Las variedades mostraron diferencias con $p < 0.0001$, (Cuadro 5) en el contenido de fitatos. RGNA, tuvo mayor concentración que Varita, HSO y BM2, esta última con el valor menor (1.17 ppm). Esta variabilidad es atribuible a diferencias genéticas, lo cual coincide con lo señalado por Lott *et al.* (2000); Raboy (2001), quienes observaron que el nivel de fitato en la semilla de soya varía entre genotipos debido a diferencias en la acumulación de fósforo fítico durante el llenado del grano y a la proporción de cotiledón respecto al total de la semilla.

Cuadro 5. Valores medios de fitatos (ppm) del grano de soya por variedad y tratamiento.

Método	Variedad						Media
	H500	BM2	RGNA	HSO	HSVA	Varita	
Crudo	3.36c	2.94d	3.56b	3.32c	3.68a	2.95d	3.3A
Remojado	1.11g	0.6m	1.2e	0.8j	1.06gh	1.25e	1.02B
Hervido	1.04h	0.72l	1.24e	0.84jk	0.97i	1.17f	1B
Germinado	1.05h	0.81k	1.25e	0.85jk	1.25e	0.96i	1.03B
Tostado	1.11g	0.7l	1.16f	0.8k	0.87j	0.8k	0.91C
Media	1.53AB	1.15C	1.70A	1.32BC	1.57AB	1.43BC	

Medias con la misma letra minúscula son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$); letras mayúsculas iguales para la comparación de factor respectivo, son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Los métodos de inactivación, por su parte, tuvieron efecto diferenciado ($p < 0.0001$) en la concentración de fitatos. El grano crudo presentó el valor más alto (3.3 ppm); en contraste, el remojo, hervido y germinado mostraron reducciones similares (1-1.1 ppm). Esto se relaciona con la solubilización parcial de fitatos en agua durante el remojo y con la activación de fitasas endógenas al inicio del metabolismo germinativo y a la difusión del ácido fítico hacia el agua.

El tostado registró la menor concentración (0.9 ppm), indicando que el calor seco contribuye tanto a la desnaturalización parcial de complejos fosforados como a la degradación térmica del ácido fítico. Estos resultados coinciden con lo reportado por Sandberg *et al.* (1999); Luo *et al.* (2009), quienes señalan que procesos térmicos y biológicos reducen eficazmente los fitatos mediante hidrólisis enzimática, solubilización o descomposición por calor.

En la interacción, los cambios más marcados se observaron en HSVA en germinado, Tamesí mostró mayor estabilidad, mientras que Varita que tuvo reducciones bruscas.

Saponinas

Las variedades fueron diferentes ($p < 0.05$) en contenido de saponinas (Cuadro 6), aunque el intervalo fue estrecho (0.4-0.42%). Esto coincide con lo reportado por Shimoyamada *et al.* (1990), quienes indicaron que el contenido total de saponinas en soya se mantiene relativamente estable entre genotipos de tipo amarilla, variando principalmente por condiciones de cultivo y madurez fisiológica, más que por factores genéticos.



Cuadro 6. Valores medios de saponinas (%) del grano de soya por variedad y acondicionamiento del grano.

Tratamiento	Tamesí	Variedad					Media
		BM2	RGNA	HSO	HSVA	Varita	
Crudo	0.53a	0.5b	0.53a	0.56a	0.52a	0.52a	0.53a
Remojado	0.44c	0.45c	0.44c	0.44c	0.45c	0.44c	0.44B
Hervido	0.38d	0.38d	0.37d	0.38d	0.38d	0.37d	0.38C
Germinado	0.36d	0.39d	0.39d	0.39d	0.37d	0.37d	0.38C
Tostado	0.31e	0.30e	0.31e	0.3e	0.29e	0.3e	0.3D
Media	0.41AB	0.41AB	0.41AB	0.42A	0.4B	0.4B	

Medias con la misma letra minúscula son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$); letras mayúsculas iguales para la comparación del factor respectivo, son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.05$).

Por su parte, los métodos de inactivación redujeron la concentración ($p<0.0001$) respecto al grano crudo. El remojo disminuyó los valores a 0.09%, pero el tostado tuvo el mayor efecto reductor, alcanzando 0.23 unidades porcentuales. La interacción variedad x acondicionamiento fue altamente significativa ($p=0.0011$). Aunque todas las variedades siguieron la misma tendencia general, la intensidad del descenso no fue uniforme.

HSO tuvo la mayor caída y el grano crudo tuvo mayor variación. Los acondicionamientos con agua se tuvieron valores intermedios. Esto concuerda con lo encontrado por Gu *et al.* (2002), donde el agua produce degradación parcial de saponinas DDMP por oxidación asociada al metabolismo inicial de la germinación de la semilla.

Conclusiones

Las variedades difieren en concentración tanto en PC, lípidos e inhibidores; no obstante, los rangos de variación son pequeños.

Los acondicionamientos del grano reducen la concentración de inhibidores de la tripsina, fitatos y saponinas, sin afectar la concentración de lípidos, donde el tostado es más efectivo para reducir antinutrientes pero disminuye significativamente la proteína cruda.

No obstante, la implementación del tostado debe valorarse considerando la pérdida de proteína, requerimientos energéticos y disponibilidad tecnológica. En sistemas familiares de producción, métodos como remojo o germinación pueden representar alternativas prácticas, aunque requieren optimizar su capacidad de reducción de antinutrientes.

La interacción variedad-método de acondicionamiento, es de magnitud pequeña, pero confirma que existen características bioquímicas y estructurales específicas de cada genotipo cuya respuesta depende del método de acondicionamiento que se aplique.

Por tanto, la elección de la variedad como el tipo de procesamiento pueden ser determinantes para el aprovechamiento del grano en la alimentación animal. El tostado presentó la mayor eficiencia en reducción de factores antinutricionales.

Bibliografía

- 1 AACC. 2009. International Approved Methods of Analysis. 11th. Edition. Method 22-40.01: Measurement of trypsin inhibitor activity of soy products-spectrophotometric method. AACC International. St. Paul, MN, USA.
- 2 AOAC. 2012a. International. Official Method 2001.11: protein (crude) in animal feed, forage (plant tissue), grain and oilseeds: block digestion method using copper catalyst and steam distillation into boric acid. In: official methods of analysis of AOAC international. AOAC International. Gaithersburg, MD, USA.

- 3 AOAC. 2012b. International. AOAC Official Method 986.11: Phytate in foods. In: Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International. Gaithersburg, MD, USA.
- 4 AOAC. 2023. International. AOAC Official Method 920.39: fat (crude) or ether extract in animal feed. In: Official Methods of Analysis of AOAC international. 22th. Edition. Oxford University Press. Oxford, UK.
- 5 AOCS. 2017. American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended practices of the 7th. Edition. Method Ba 12-75: trypsin inhibitor activity. AOCS Press. Urbana, IL, USA.
- 6 De la Luna, J. A. 2006. Valor nutritivo de la proteína de soya. México. Investigación y Ciencia- Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA). 14(36):29-34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67403606>.
- 7 Gu, L.; Tao, G. and Gu, W. 2002. Changes of saponins during soybean germination. Food Chemistry. 78(4):497-501. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00214-7).
- 8 Hostettmann, K. and Marston, A. 1995. Saponins. Cambridge University Press. Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511565113>.
- 9 Hou, H. J. and Chang, K. C. 2004. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu quality. Journal of Food Science. 69(4):C293-C300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb06337.x>.
- 10 Hu, J.; Webster, D. E.; Brauer, D. and Thompson, L. U. 2002. Quantification of group B soyasaponins by high-performance liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50(9):2587-2594. <https://doi.org/10.1021/jf011181r>.
- 11 INIFAP. 2019. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tablas de requerimientos nutricionales de especies pecuarias. INIFAP. Ciudad de México, México.
- 12 ISO. 2001. International Organization for Standardization. ISO 14902:2001. Animal feeding stuffs-determination of trypsin inhibitor activity of soya products. ISO. Ginebra, Suiza. <http://higiene.unex.es/Bibliogr/ISO-BS-USDA/ISO-BS/BS%20EN%20ISO/BS%20EN%20ISO%2014902-2001.pdf>.
- 13 Kakade, M. L.; Rackis, J. J.; McGhee, J. E. and Puski, G. 1973. Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: a collaborative analysis of an improved procedure. Cereal Chemistry. 51(3):376-382.
- 14 Kong, X.; Li, Y. and Liu, X. 2022. A review of thermosensitive antinutritional factors in plant-based foods. Journal of Food Biochemistry. 46(9):e14199. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14199>.
- 15 Liener, I. E. 1994. Implications of antinutritional components in soybean foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 34(1):31-67. <https://doi.org/10.1080/10408399409527649>.
- 16 Liu, K. 2019. Soybeans: chemistry, technology, and utilization. 2nd. Edition. Wiley-Blackwell. Hoboken, NJ, USA. <https://doi.org/10.1002/9781119383956>.
- 17 Lott, J. N. A.; Ockenden, I.; Raboy, V. and Batten, G. D. 2000. Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: a global estimate. Seed Science Research. 10(1):11-33. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000039>.
- 18 Luo, Y.; Xie, W. and Cui, Q. 2009. Effects of phytase, germination, and cooking on the total phosphorus and phytic acid contents of brown rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57(20):9600-9606. <https://doi.org/10.1021/jf901628q>.
- 19 Panthee, D. R.; Pantalone, V. R.; Saxton, A. M.; West, D. R. and Sams, C. E. 2016. Quantitative trait loci controlling soybean seed protein and oil content. Agronomy Journal. 108(3):1134-1142. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0386>.

- 20 Raboy, V. 2001. Seeds for a better future: 'low phytate' grains help to overcome malnutrition and reduce pollution. *Trends in Plant Science*. 6(10):458-462. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02054-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02054-5).
- 21 Rotundo, J. L. and Westgate, M. E. 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed protein and oil concentration. *Field Crops Research*. 110(2):147-156. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.07.012>.
- 22 SADER. 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Panorama agroalimentario 2023. Soya. Ciudad de México, México. <https://nube.agricultura.gob.mx/panorama-dgsiap/>.
- 23 Sandberg, A. S.; Larsen, T. and Sandström, B. 1999. High dietary phytate intake is associated with low mineral absorption in humans. *The Journal of Nutrition*. 129(10):1910-1914. <https://doi.org/10.1093/jn/129.10.1910>.
- 24 Sharma, A. 2021. A review on traditional technology and safety challenges with regard to antinutrients in legume foods. *Journal of Food Science and Technology*. 58(8):2863-2883. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04883-8>.
- 25 Sharma, S.; Goyal, R. and Barwal, S. 2013. Domestic processing effects on physiochemical, nutritional and anti-nutritional attributes in soybeans (*Glycine Max* L. Merrill). *International Food Research Journal*. 20(6):3203-3209.
- 26 Shimoyamada, M.; Ikedo, S.; Ootsubo, R. and Watanabe, K. 1990. Effects of soybean saponins on chymotryptic hydrolysis of proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 38(3):717-722. <https://doi.org/10.1021/jf00093a015>.
- 27 Singer, W. M.; Lee, Y. C.; Shea, Z.; Vieira, C. C.; Lee, D.; Li, X.; Cunicelli M.; Kadam, S. S.; Khan, M. A. W.; Shannon, G.; Mian, M. A. R.; Nguyen, H, T. and Zhang, B. 2023. Soybean genetics, genomics, and breeding for improving nutritional value and reducing antinutritional traits in food and feed. *The Plant Genome*. 16(4):e20415. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20415>.
- 28 Wang, N.; Hatcher, D. W. and Gawalko, E. J. 2022. Legume seed protein digestibility as influenced by traditional and emerging physical processing technologies. *Foods*. 11(15):2202.
- 29 Welham, T. and Domoney, C. 2000. Temporal and spatial activity of a promoter from a pea enzyme inhibitor gene and its exploitation for seed quality improvement. *Plant Science*. 159(2):289-299. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00358-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00358-7).
- 30 Wheeler, E. L. and Ferrel, R. E. 1971. A method for phytic acid determination in wheat and wheat fractions. *Cereal Chemistry*. 48(3):312-320.
- 31 Wilson, R. F. 2004. Seed composition. In: Soybeans: Improvement, production and uses. Boerma, H. R. and Specht, J. E. (Eds.). 3th edition. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 621-677 pp. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr16.3ed.c13>.



Acondicionamiento de grano de soya y efecto en antinutrientes, proteína y lípidos

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 May 2026
Date accepted: 01 August 2026
Publication date: 01 September 2026
Volume: 17
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e4195
DOI: 10.29312/remexca.v17i6.4195

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

fitatos
ganadería familiar
inhibidores de tripsina

Counts

Figures: 0
Tables: 6
Equations: 0
References: 31