



Recomendaciones para ganar eficiencia en el procesamiento de soja por extrusado-prensado

Dra. Gisele Maciel^(1,3) ; Dr. Jorge Wagner^(2,3) ; Dr. Ricardo, Bartosik⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Innovación para la Producción Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (IPADS Balcarce INTA - CONICET)

⁽²⁾ Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁽³⁾ Universidad Nacional de Quilmes (UNQ)

Agosto 2022

Contacto: maciel.gisele@inta.gob.ar

El presente material surgió como resultado de la tesis doctoral de Gisele Maciel financiada por el CONICET y el INTA y llevada adelante en la EEA INTA Balcarce y la UNQ. Desde el punto de vista práctico esta tesis hizo un importante aporte al Sistema Agroalimentario Argentino que se detallan a continuación.

INTRODUCCIÓN

El aceite y expeller de soja son los principales subproductos obtenidos a partir del proceso de extrusado-prensado del poroto de soja que llevan a cabo pequeñas y medianas empresas (PyMEs) en Argentina, obteniendo alrededor de 12-14% de aceite crudo y 86-88% de expeller de soja, que generalmente se comercializan en el mercado interno.

El expeller tiene la particularidad de presentar composición y calidad muy variables. Esta variabilidad podría atribuirse en parte al tipo de equipamiento y las condiciones en que se lleva a cabo el procesamiento (como presión y temperatura durante el extrusado) en las diferentes plantas de extrusado-prensado. Sin embargo, también puede atribuirse a la composición de la materia prima utilizada y particularmente a su contenido de humedad.

En Argentina se encuentra en vigencia la norma XIX para subproductos oleaginosos (SAGPyA, 1999) que establece límites máximos de humedad, aceite y actividad ureásica en expeller (12,5%, 9% en base seca y 0,2 u pH, respectivamente). Sin embargo, no se han establecido condiciones de humedad óptimas para el procesamiento del poroto de soja. Sólo existen recomendaciones informales de los fabricantes de los equipos de extrusado que recomiendan una humedad de procesamiento de soja de entre 10 y 11% con la finalidad de maximizar la extracción de aceite. Teniendo en cuenta que la humedad base de comercialización de soja en Argentina es 13,5%, esta recomendación implica la eliminación de hasta 3,5 puntos porcentuales extras de humedad.

El resultado económico de las plantas de extrusado-prensado está directamente relacionado a la eficiencia de extracción de aceite, la cual fue estimada en menos de 70% para Argentina. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar las condiciones que optimicen la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado del poroto de soja.

METODOLOGÍA

Obtención de muestras

Los estudios se realizaron con pares de muestras de poroto y expeller de soja que fueron recolectados durante tres días consecutivos de once PyMEs de extrusado-prensado, localizadas en las principales regiones productivas de la Argentina (seis plantas localizadas en la provincia de Buenos Aires, dos en Santa Fe, dos en Córdoba y una en Entre Ríos).

Análisis realizados

Se analizó la composición del poroto y del expeller de soja por medio de un NIRS (FOSS, NIRSystems 6500, Dinamarca). La eficiencia de extracción de aceite fue estimada a partir de la composición del poroto y del expeller. La actividad ureásica fue determinada por el método descrito en la norma XIX para subproductos oleaginosos (SAGPyA, 1999). La humedad de granos individuales se realizó mediante el método de estufa (103 °C durante 72hs) donde se registró el peso inicial y final de 20 granos, por triplicado, para cada muestra de poroto de acuerdo a lo descrito por Azcona *et al.* (2009). La humedad de granos individuales se determina grano a grano, mientras que la humedad que generalmente vemos reportada se determina sobre una masa de 200 a 250 gr de muestra, la cual contiene habitualmente varios centenares de granos. La humedad de granos individuales sólo se realizó en muestras tomadas de plantas localizadas en la ciudad de Balcarce para evitar la homogeneización del material durante el traslado del mismo al laboratorio de la EEA INTA Balcarce donde fueron analizadas.

RESULTADOS

Composición y variabilidad del poroto y del expeller de soja

La composición química promedio del poroto y del expeller de soja analizada por NIRS en las muestras tomadas se pueden observar en la Tabla 1. En promedio el poroto presenta una humedad de 10,6% mientras que se encontraron un nivel de humedad máximo y mínimo de 13,4 y 7,4%, respectivamente. El contenido de proteínas y aceite en promedio fueron 37,7% (b.s.) y 20,1% (b.s.), respectivamente. Por otro lado, el contenido de humedad promedio del expeller fue 6,6%, aunque mostró una gran dispersión, con una humedad mínima de 3,9% y una humedad máxima de 12,3%. El promedio de proteína de todas las muestras de expeller analizadas fue de 43,8% (39,4 - 48,0%) y de aceite de 8,8% (5,5 - 15,5%). La eficiencia de extracción de aceite arrojó un promedio de 56,0%, con un mínimo de 22,8% y un máximo de 74,7%. El promedio de la actividad ureásica fue de 0,1 u pH con un rango entre 0 u pH - 0,6 u pH. Esto demuestra que no siempre se logran desactivar los factores antinutricionales (se considera que el proceso de desactivación fue adecuado cuando el nivel de actividad es de 0,2 u pH), como lo manifiesta el valor máximo de actividad ureásica observado.

Tabla 1. Composición promedio del poroto y expeller de soja por medio de NIRS de todas las plantas evaluadas

	Composición química del poroto			Composición química del expeller			EfEx (%)	Actividad ureásica (u pH)
	Humedad (%)	Proteína (% b.s.)	Aceite (% b.s.)	Humedad (%)	Proteína (% b.s.)	Aceite (% b.s.)		
Promedio	10,6	37,7	20,1	6,6	43,8	8,8	56,0	0,1
Desvío estándar	1,43	2,22	1,28	2,18	2,13	2,61	13,31	0,18
CV (%)	13,4	5,9	6,4	32,9	4,9	29,6	23,8	152,7
Máximo	13,4	41,4	23,0	12,3	48,0	15,5	74,7	0,6
Mínimo	7,4	32,7	17,7	3,9	39,4	5,5	22,8	0,0

Nota: CV (%) es el coeficiente de variación para cada uno de los parámetros de composición evaluados, expresados en porcentaje

Variabilidad de humedad de granos individuales de poroto de soja

En la Figura 1 se puede observar la humedad de granos individuales de las diez muestras analizadas, las cuales presentaron diferente variabilidad. Al analizar por ejemplo las muestras 8, 4 y 6, cuya humedad promedio es similar (entre 10,2 y 10,8% en base seca, lo que corresponde a una humedad entre 9,3 y 9,7% en base húmeda), podemos ver que la dispersión de humedades es muy diferente. En la muestra 8 se encontraron en mayor frecuencia granos con la misma humedad individual, mientras que en la muestra 6 los granos tienen humedades muy variables y abarcan un rango de dispersión de humedades mayor.

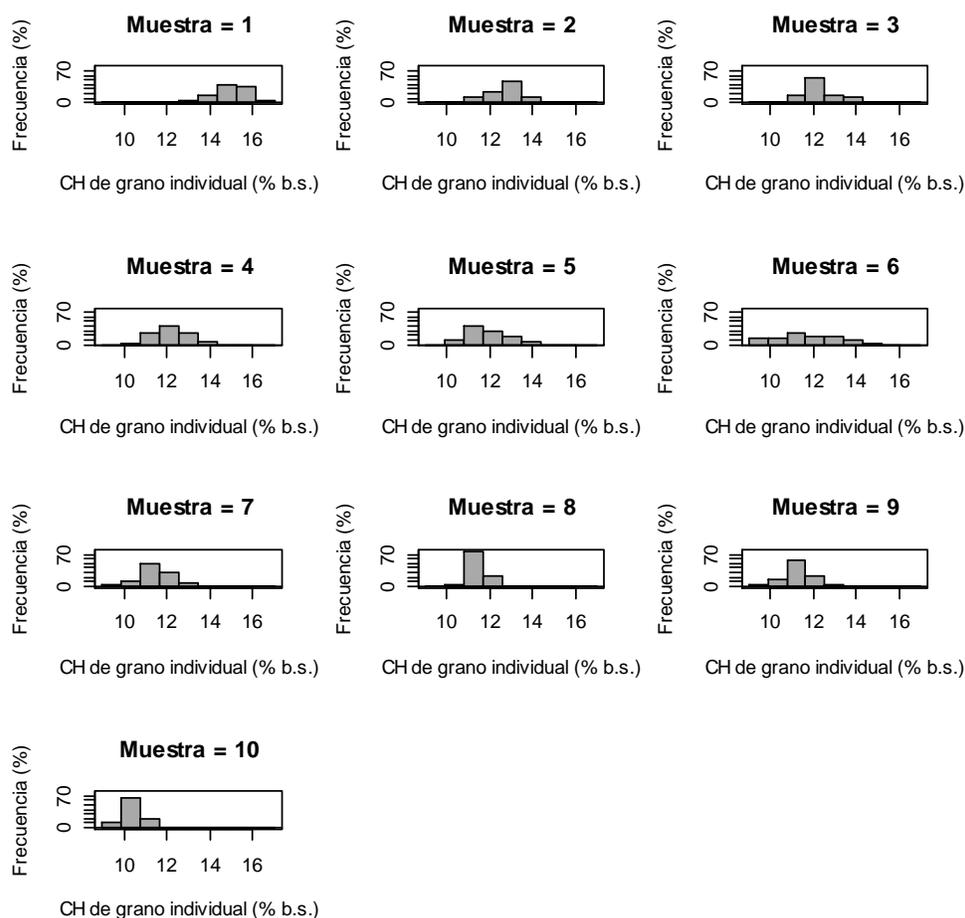


Figura 1. Frecuencia porcentual para cada nivel de humedad de grano individual, determinado para cada una de las muestras analizadas. Nota: la humedad está expresada en base seca

DISCUSIÓN

Composición y variabilidad del poroto y del expeller de soja

El contenido de proteína del expeller de soja promedio observado fue inferior al límite mínimo (44,5% b.s.) que establece la norma XIX para subproductos oleaginosos (SAGPyA, 1999) como base para la comercialización de este subproducto. Esto también fue observado en otros trabajos y podría estar asociado a la tendencia de baja en el contenido de proteínas en poroto de soja que se ha registrado en los últimos años en nuestro país.

El contenido de aceite residual del expeller de soja es la fracción de aceite que queda remanente en el producto luego de la extracción de aceite por extrusado-prensado. El valor promedio obtenido en este estudio fue inferior al límite máximo (10,3% b.s.) que establece la norma XIX (SAGPyA, 1999)

para este subproducto. Sin embargo, como se puede ver en la Tabla 1, se registraron valores por encima del límite permitido (15,5% b.s. fue reportado como valor máximo de aceite en expeller). Es importante tener en cuenta que cuando el expeller presenta niveles de aceite residual superiores a lo establecido por la norma XIX (SAGPyA, 1999), aumenta la susceptibilidad al enranciamiento, que puede traducirse en la aparición de sabores y olores indeseables, que finalmente causan el rechazo del expeller por parte de los animales que lo consumen.

Eficiencia de extracción de aceite de expeller de soja

Como se muestra en la Tabla 1, la eficiencia de extracción de aceite reportada en este trabajo (56,0%, con un rango de 22,8% a 74,7%) fue más baja de lo esperado de acuerdo con la literatura consultada (alrededor del 70% para las extracciones por extrusado-prensado en condiciones estandarizadas). Esto implicaría que, en la mayoría de las plantas relevadas hay algún factor que estaría limitando la extracción de aceite. Algunas de las variables independientes críticas que pueden afectar el proceso de extrusado son la temperatura, la velocidad del tornillo de la extrusora y la humedad de la materia prima.

Se sabe que las propiedades viscoelásticas del poroto de soja se ven afectadas en menor medida por la temperatura y en mayor medida por el contenido de humedad. Esto se debe a que un mayor contenido de humedad del poroto en el ingreso al proceso de extrusado da como resultado una menor viscosidad en el producto y una menor relación de conversión de energía mecánica en energía térmica durante el proceso de extrusión, alcanzando temperaturas más bajas durante el extrusado. Alcanzar temperaturas por encima de 135 °C durante el extrusado es necesario para poder inactivar los factores antinutricionales y también para que el expeller asuma un estado fluido que facilite la extracción de aceite. Por lo tanto, se podría hipotetizar que a medida que aumenta la humedad del poroto de soja, los cambios en las propiedades viscoelásticas que se producen durante el proceso de extrusión no permitirían alcanzar altas temperaturas y, en consecuencia, se limitaría la extracción de aceite e incrementaría el riesgo de no desactivar los factores antinutricionales.

A partir de la información generada en este trabajo, se establecieron correlaciones entre parámetros de composición del poroto y del expeller de soja y se pudo comprobar que el contenido de humedad del poroto fue el factor más determinante de la composición del expeller (Figura 2).

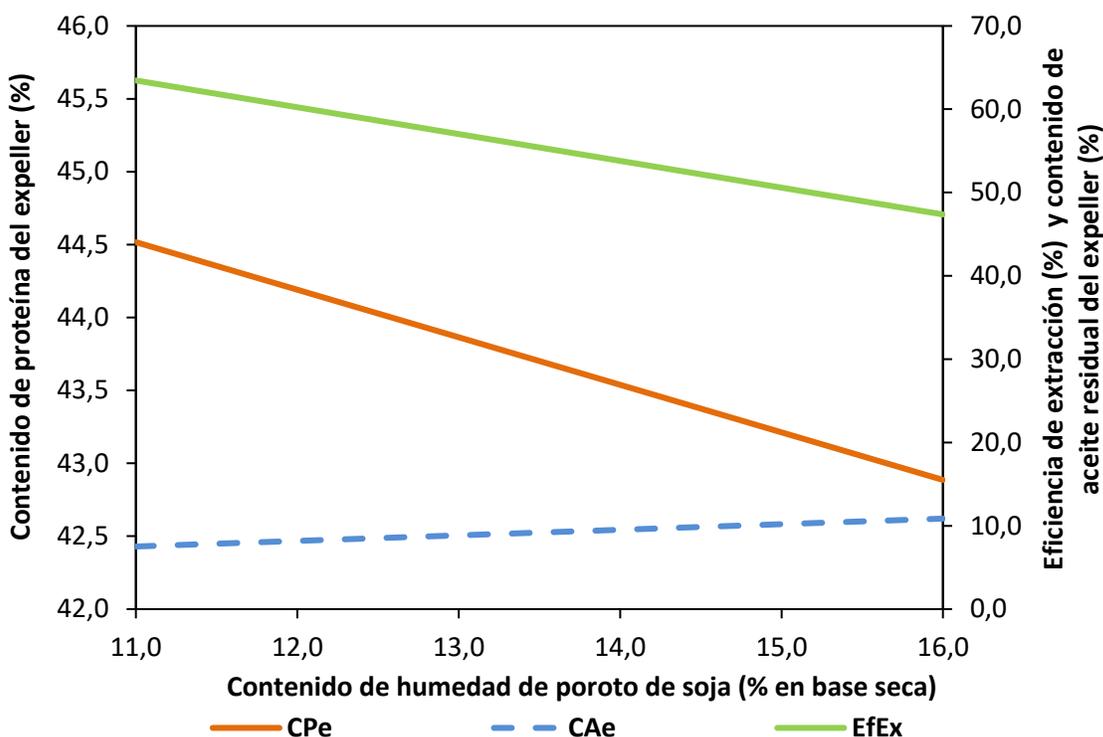


Figura 2. Efecto del contenido de humedad del poroto de soja (expresado en base seca) en la eficiencia de extracción de aceite (EfEx), y en los contenidos de proteína (CPe) y de aceite (CAe) del expeller de soja. Nota: 11% de humedad equivale a 12,4% de humedad en base seca

Aquí se puede observar que a medida que la humedad del poroto de soja que ingresa a la extrusora aumenta (de izquierda a derecha), la eficiencia de extracción de aceite disminuye (línea verde), con el consecuente incremento en el contenido de aceite residual del expeller de soja (línea punteada azul), y reducción en el contenido de proteína del expeller (línea naranja). Esto quiere decir que, por ejemplo, si el procesamiento de poroto de soja (20,7% de aceite y 39,1% de proteína) se lleva a cabo con un contenido de humedad cercano a la humedad de comercialización establecida en Argentina (13,5%, equivalente a 15,6% en base seca) da como resultado una eficiencia de extracción de alrededor del 48,7% (eficiencia muy baja). Por otro lado, si la humedad del poroto fuera 11% (equivalente a 12,4% en base seca), la eficiencia de extracción aumentaría a 58,9% y el expeller de soja resultaría con un menor contenido de aceite residual (1,9 puntos porcentuales menos) y un contenido de proteínas más alto (1 punto porcentual más).

La mayoría de las plantas de extrusado-prensado generalmente compran soja con una humedad elevada, cercana a la humedad de comercialización (13,5%), por lo tanto, contar con sistemas de secado para reducir el contenido de humedad del poroto de soja antes del procesamiento es de gran importancia para este tipo de plantas. Realizar un tratamiento de secado previo permite aumentar la eficiencia de extracción de aceite y la cantidad de proteína en el expeller, ayudando en el aumento del rendimiento económico de este tipo de procesos y a producir expeller de soja con

un mayor valor nutricional. Por otra parte, procesar porotos de soja a 11% de humedad facilita la inactivación de los factores antinutricionales.

Calidad y variabilidad intra-planta del expeller de soja

La Figura 3 muestra los valores promedio y los desvíos estándar para el contenido de humedad del poroto de soja y para el contenido de aceite residual en el expeller de soja de las muestras recolectadas en diez de las once plantas de extrusado-prensado evaluadas. En esta figura se aprecia claramente que cuando hay una importante variabilidad en la humedad del poroto de soja dentro de una misma planta, también hay una importante variabilidad en el contenido de aceite residual del expeller obtenido (ej. plantas 4 y 9).

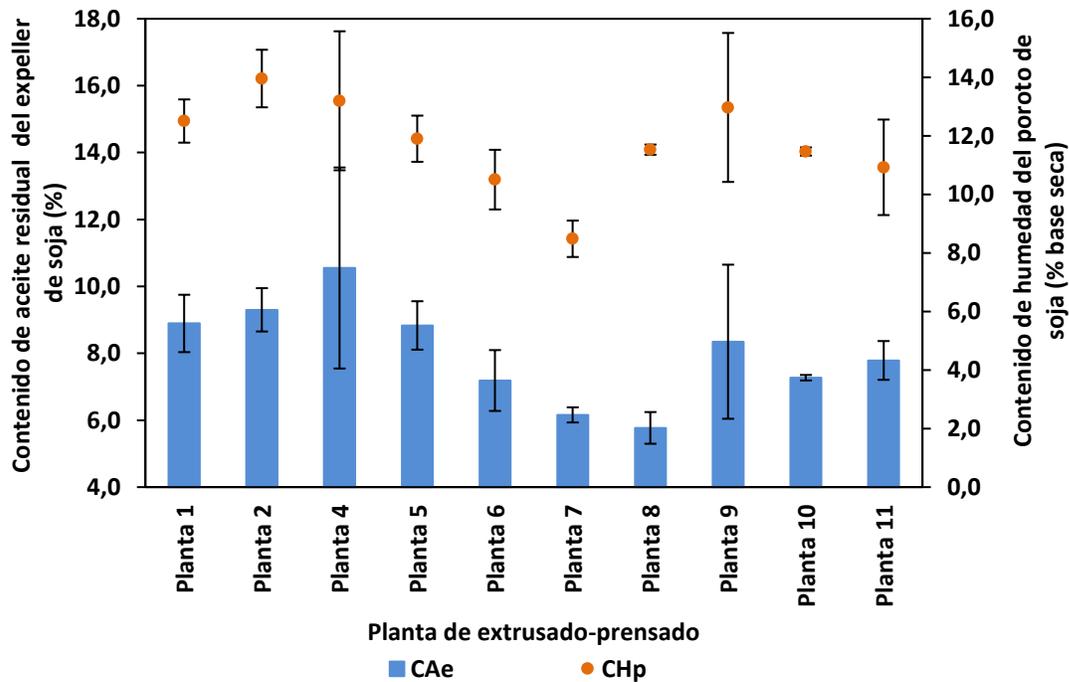


Figura 3. Valores promedio del contenido de aceite residual del expeller de soja (CAe) y de contenido de humedad del poroto de soja (CHp) de muestras recolectadas de diferentes plantas de extrusado-prensado. Las barras de error indican la desviación estándar

La variabilidad en la humedad de procesamiento de soja intra-planta observada indica la falta de conocimiento respecto del efecto que presenta la humedad de poroto que ingresa a la extrusora sobre el desempeño del extrusor y sus consecuencias en la calidad y composición del expeller obtenido. Esto indica que los fabricantes de alimentos balanceados podrían tener dificultades para conformar dietas uniformes, incluso usando expeller de soja proveniente de una misma planta de procesamiento, especialmente si esa planta no cuenta con un procedimiento confiable para controlar la humedad del poroto de soja antes del procesamiento.

Por esta razón mediante este informe buscamos acercar a las PyMEs herramientas que permitirán no sólo tener un expeller con una composición más uniforme, sino mayores beneficios debidos a una mayor eficiencia de extracción de aceite.

Efecto de la variabilidad de humedad de granos individuales de poroto de soja en la eficiencia de extracción

Previamente se ha establecido que el contenido de humedad del poroto de soja afecta la extracción de aceite en el proceso de extrusado-prensado (Figura 2). Sin embargo, se desconoce el efecto de la variabilidad de la humedad de los granos individuales en el proceso de extrusado-prensado.

La Figura 4 muestra la relación entre la humedad de los granos individuales y la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado para tres muestras. Las muestras 8, 4 y 6 tienen un contenido de humedad promedio similar (alrededor de 10,2 - 10,8% b.s.), pero con diferente variabilidad en el contenido de humedad de los granos individuales. Se puede apreciar que a medida que aumenta la variabilidad en el contenido de humedad (de la muestra 8, de baja variabilidad, a la muestra 6, con alta variabilidad) la eficiencia de extracción de aceite disminuye (de 60,3 a 57,8%, respectivamente). Este efecto podría deberse a que la humedad afecta las propiedades viscoelásticas de los granos individuales y, en consecuencia, afecta la energía requerida y el rendimiento general del proceso de extrusión.

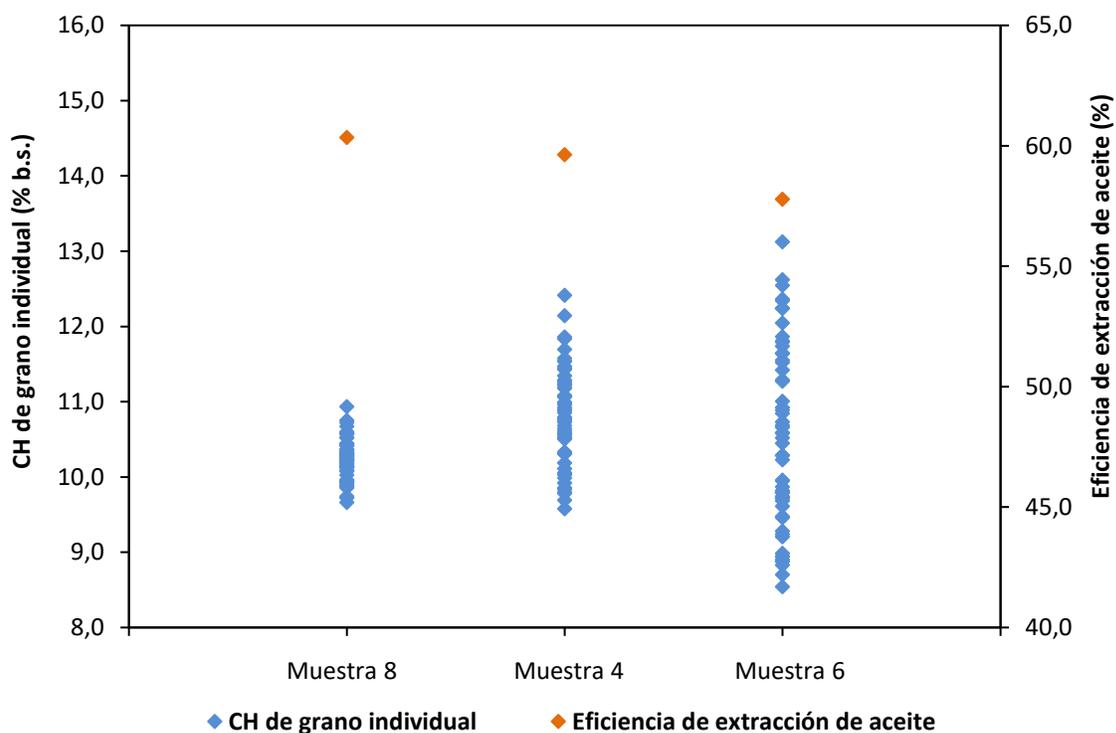


Figura 4. Variabilidad del contenido de humedad de grano individual de tres muestras (baja, intermedia y alta variabilidad) de poroto de soja y eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado. Nota: CH es contenido de humedad

Conocer las principales fuentes de variabilidad de la humedad de granos individuales y cómo se puede prevenir podría servir para tomar medidas tendientes a reducir la variabilidad encontrada en la materia prima (poroto de soja) y, por lo tanto, también mejorar el rendimiento del proceso de extrusado-prensado.

En función de los resultados que se han obtenido en este y otros trabajos, se puede apreciar que la humedad de cosecha del material, el tiempo transcurrido desde la cosecha hasta su procesamiento, y la realización de un tratamiento de acondicionamiento (ej. secado) son las principales causas que afectan la homogeneidad en la humedad de los granos individuales. Cerca del 80% de las plantas procesadoras de soja por extrusado-prensado cuentan con sistemas de secado para acondicionar el poroto, y ya se ha establecido la importancia de controlar la humedad de un lote de soja para maximizar la eficiencia de extrusado. Sin embargo, conviene considerar que el secado artificial es una fuente importante de variabilidad para el contenido de humedad del grano individual, especialmente cuando el secado se realiza a altas temperaturas. Reducir la temperatura de secado podría reducir la variabilidad de la humedad.

A su vez, si los granos secados son almacenados previo a su procesamiento la humedad de los mismos tiende a equilibrarse y por lo tanto la humedad con la que se procesa el material tiende a ser más homogénea. Por lo tanto, almacenar el producto durante algunos días luego del secado y previo a su procesamiento es una práctica recomendable.

Finalmente, resulta conveniente evitar la realización de mezclas de lotes de soja con diferentes humedades. Por ejemplo, si se mezclan lotes de grano con 9 y 13% de humedad para conformar un lote de procesamiento con alrededor de 11% de humedad, seguramente al evaluar el nivel de humedad en la masa de granos en promedio tendría una humedad deseada (11%). Sin embargo, el grano no estará a esa humedad y eso podría afectar la eficiencia de extracción debido a que estamos procesando granos a 9 y a 13% de humedad. En caso de no tener alternativa, recomendamos el almacenamiento de la mezcla de granos previo a su procesamiento.

CONCLUSIONES

Con el presente estudio se confirmaron los valores composicionales típicos del expeller de soja presentados por otros autores y su probable rango de variación.

Se logró determinar que la principal fuente de variación composicional del expeller es la variabilidad en el contenido de humedad del poroto procesado.

La variabilidad en la humedad de granos individuales del poroto podría reducir la eficiencia de extracción de aceite.

Se estableció que la humedad óptima de procesamiento a los efectos de maximizar la eficiencia de extracción, lograr una composición uniforme del expeller, aumentar el contenido proteico en el expeller y asegurar la desactivación los factores antinutricionales se encuentra entre 9 y 10%.

La información que se presenta en este trabajo permitirá a los procesadores de soja ajustar sus protocolos de trabajo para eficientizar el proceso y lograr un producto (expeller) de mejor calidad y con una mayor uniformidad composicional.

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Aguilera, J. M.; Kosikowski, F.V. 1976. Soybean extruded product: a response surface analysis. *J. Food Sci.* 41: 647–651.
- Azcona, J.; Bartosik, R.; Cardoso, L.; Casini, C.; Curetot, A.; Desimone, M.; Valdéz, D. 2009. Almacenamiento de granos en bolsas plásticas: resultados de investigación. Ediciones INTA. Manfredi, Córdoba, Argentina. 201 p. ISSN 1667-9199.
- Bargale, P.C.; Ford, R.J.; Sosulski, F.W.; Wulfsohn, D.; Irudayaraj, J. 1999. Mechanical oil expression from extruded soybean samples. *JAOCs.* 76(2): 223–229.
- Bartosik, R.; Rodríguez, J.; de la Torre, D.; Piñeiro, D. 2009. Distribución del aire, variabilidad de humedad del grano y volumen de expansión de maíz pisingallo. En *Anales del X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del Mercosur.* CADIR. 8 pp.
- Bragachini, M., Ustarroz, F., Saavedra, A. E., Méndez, J. M., Mathier, D., Bragachini, M., Hennung, H. 2017. Evolución del sistema productivo Agropecuario Argentino. Ediciones INTA. Manfredi, Córdoba, Argentina. 124 p.
- Cardoso, M.L.; Bartosik, R.E.; Rodríguez, J.C. 2007. Estudio de la evolución de la humedad de los granos individuales en silo-bolsa de maíz y soja. En: *X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR* 1. 22 p.
- Chen, F.L.; Wei, Y.M.; Zhang, B.; Ojokoh, A.O. 2010. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. *J. Food Eng.* 96(2): 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.014>.
- Crowe, T.W.; Johnson, L.A.; Wang, T. 2001. Characterization of extruded-expelled soybean flours. *JAOCs.* 78(8): 775–779.
- Cuniberti, M.; Herrero, R. 2018. Problemática de la baja proteína de la soja. INTA. Manfredi, Córdoba, Argentina. 24 p.
- de la Torre, D.; Bartosik, R.; Rodríguez, J. 2011. Drying popcorn with a natural air/low temperature in-bin drying system. En: *Proceedings of the XXXIV CIOSTA and CIGR V Conference.* 7 p.
- Floyd, L.; Herum, J.K.; Mensah, H.J.; Barre, Majidzadeh, K. 1979. Viscoelastic behavior of soybeans due to temperature and moisture content. *Trans. ASAE.* 22(5): 1219–1224. <https://doi.org/10.13031/2013.35187>.
- Gallardo, M. 2011. Soja, harinas de extracción para la alimentación del ganado. Un análisis de las cualidades nutricionales de los diferentes tipos, de acuerdo al método de extracción utilizado. *A&G* 83. Tomo XXI. 2: 246–250.
- García-Rebollar, P.; Cámara, L.; Lázaro, R.P.; Dapoza, C.; Pérez-Maldonado, R.; Mateos, G.G. 2016. Influence of the origin of the beans on the chemical composition and nutritive value of commercial soybean meals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 221: 245–261.
- Grieshop, C.M.; Kadzere, C.T.; Clapper, G.M.; Flickinger, E.A.; Bauer, L.L.; Frazier, R.L.; Fahey, G.C. 2003. Chemical and nutritional characteristics of United States soybeans and soybean meals. *J. Agric. Food Chem.* 51(26): 7684–7691. <https://doi.org/10.1021/jf034690c>.



- Juan, N.A.; Massigogue, J.I.; Errasquin, L.; Méndez, J.M.; Ochandio, D.C.; Saavedra, A.E.; Paolilli, M.C.; Alladio, R.M.; Accoroni, C.; Behr, E.F. 2015. Calidad de la soja procesada y del expeller producido por la industria de extrusado-prensado en Argentina. Ediciones INTA. 31 p.
- Liu, Q.; Cao, C.; Bakker-Arkema, F.W. 1997. Modeling and analysis of mixed-flow grain dryer. *Trans. ASAE*. 40(4): 1099–1106.
- Maciel, G. 2020. Expeller de soja : acondicionamiento de materia prima, eficiencia de extracción, composición, calidad y almacenabilidad del producto extrusado. Tesis Doctoral. En: Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, Argentina. 261 pp.
- Maciel, G.; Wagner, J. R.; Juan, N. A.; San Martino, S.; Bartosik, R. E. 2020. Assessment of the main sources of variability of soybean (*Glycine max*) expeller composition and quality: a field study. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 22 (4), 211–220.
- Massigogue, J.I.; Ochandio, D.C.; Juan, N.A. 2013. Industria de extrusado-prensado de soja en la mitad sur de la provincia de Buenos Aires. En: Boletín técnico N°40. Ediciones INTA. ISSN 0327-8735. 16 p.
- Nelson, A.I.; Wijeratne, W.B.; Yeh, S.W.; Wei, T.M.; Wei, L.S. 1987. Dry extrusion as an aid to mechanical expelling of oil from soybeans. *JAOCs*. 64(9): 1341–1347. <https://doi.org/10.1007/BF02540794>.
- SAGPyA. 1999. Resolución SAGPyA N°317/99. Norma XIX: Subproductos de oleaginosos.
- Zhu, S.; Riaz, M.N.; Lusas, E.W. 1996. Effect of different extrusion temperatures and moisture content on lipoxygenase inactivation and protein solubility in soybeans. *J. Agric. Food Chem.* 44: 3315–3318. <https://doi.org/10.1021/jf960065e>.