

MACROCOMPONENTES Y SOLUBILIDAD PROTEICA DE EXPELLER DE SOJA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Diana Ondina Labuckas, UNC, FCEFYN, Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA), Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV-CONICET-UNC), dilabuckas@unc.edu.ar

Agustina Bongianino, UNC, FCEFYN, ICTA, agusbongia@gmail.com

Marina Galíndez, UNC, FCEFYN, ICTA, mgalindez111@gmail.com

Alexis Rafael Velez, UNC, FCEFYN, ICTA - IPQA-UNC-CONICET, avelez@unc.edu.ar

Laura Jorgelina Rovetto, UNC, FCEFYN, ICTA – IPQA-UNC-CONICET, laura.rovetto@unc.edu.ar

Abel Gerardo López, UNC, FCEFYN, ICTA, abel.lopez@unc.edu.ar

Walter Moretta, DIEZ SRL, wmoretta@yahoo.com.ar

Resumen— La Cámara de Agroalimentos y bioenergías de la Provincia de Córdoba (CABIOCOR), que forma parte del *Clúster Industrial Agroalimentario* provincial, agrupa diversas industrias relacionadas a la obtención de aceite a partir del procesamiento de diferentes fuentes vegetales, siendo la soja de las de mayor relevancia comercial. El aceite del poroto de soja se puede extraer mediante la utilización de disolventes (proceso tradicional) o sin ellos (proceso eco amigable). En este proceso se genera además el expeller de soja, considerado un producto proteico en función de su composición. Ambos productos se emplean amplia y principalmente en la industria alimenticia. La composición proximal y la solubilidad proteica son parámetros que aportan información útil e imprescindible al momento de diseñar un alimento, tanto desde el punto de vista nutricional como del tecnológico. En Córdoba, la empresa del sector, Diez SRL, dedicada a la obtención de aceite y expeller de soja sin mediar disolventes, lleva a cabo un proyecto de investigación conjunto con el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA-FCEFYN-UNC). Uno de los objetivos de esta colaboración fue determinar la composición proximal (lípidos, proteínas, cenizas y carbohidratos) y la solubilidad proteica de muestras de expeller obtenidas mediante el prensado de poroto de soja procedente del área central de la provincia, durante la campaña 2017-2018. Los resultados preliminares muestran que el expeller contiene más proteína y menos aceite que el grano de soja que lo originó; y que la solubilidad proteica depende del sistema utilizado. Atento a estos resultados, se considera que el expeller es apto para evaluar su potencial aplicabilidad en el desarrollo de productos con elevado tenor proteico.

Palabras clave— *expeller de soja; composición proximal; solubilidad proteica*

1. Introducción

En la actualidad existe un creciente interés en la manufactura de productos de proteína de soja debido a varias razones, entre ellas: su alto valor nutricional, bajo costo y posibilidad de otorgar diversas características funcionales a los productos en los cuales se incorporan. Aproximadamente entre el 60% y el 70% de los productos ricos en proteína de soja producido se destina para el consumo humano, mientras que el resto es utilizado para alimentación de terneros y lechones, alimentos para peces (como truchas y salmones) y alimentos para mascotas. Sólo una pequeña fracción (alrededor del 10%) encuentra lugar en aplicaciones no alimentarias, como por ejemplo, para revestimientos de papel [1].

El Código Alimentario Argentino (CAA), en su capítulo XIX, clasifica los productos ricos en proteínas de soja, obtenidos a partir de semillas de *Glycine Max* (L) Merrill y apropiadamente acondicionadas, en tres grupos principales:

- a) Harina de soja (como mínimo 35%; 45% y 50% según la harina contenga toda la grasa, bajo contenido de grasa y desgrasada, respectivamente).
- b) Concentrados de proteína de soja (mínimo 70% de proteína en base seca).
- c) Aislados de proteína de soja (no menos del 90% de proteína en base seca).

Los concentrados y aislados de proteínas de soja son producidos, generalmente, mediante algún tipo de extracción con solvente, ya sea para remover los azúcares solubles, cenizas y componentes menores del material de partida (harina o escamas de soja), o bien para extraer los propios componentes proteicos, dejando el resto de sustancias en la matriz.

La solubilización de los compuestos de soja durante un proceso extractivo comprende una serie de etapas, entre ellas, la difusión del disolvente en la matriz vegetal, la solubilización de los componentes celulares, el transporte de los solutos al exterior de la matriz sólida, y el transporte de los solutos desde la superficie de la matriz al medio. Se considera que la solubilización de los componentes intracelulares y la transferencia de los mismos hacia la superficie son las etapas determinantes de la velocidad de este proceso [1].

La solubilización de los componentes proteicos se encuentra influenciada por diversos factores y parámetros de procesamiento, como los siguientes:

- a) pH del disolvente: Los mayores rendimientos de extracción de la soja se han observado a valores de pH bajos o altos (inferior a 3 y superior a 6), en tanto que la menor solubilidad se obtiene a pH igual a 4,5, correspondiendo al punto isoeléctrico (pI) de la mayoría de las proteínas de soja [2].
- b) Tamaño de partícula de la matriz sólida (granulometría - eficiencia de molienda): Los menores tamaños de partículas de la matriz dan como resultado altos rendimientos de extracción de proteína de la harina de soja. Esto está relacionado con el área superficial disponible para la interacción con el disolvente, o que por ruptura de paredes celulares debido a la molienda, se vea favorecida la liberación de contenido celular [2].
- c) Fuerza iónica del disolvente: La solubilidad de las proteínas globulares aumenta con la adición de sales en pequeñas cantidades, este fenómeno se conoce como *salting-in*. Para la mayoría de las sales, al aumentar la concentración en la solución, la solubilidad proteica decrece, lo cual conlleva al efecto de *salting-out*, favoreciendo en este caso la precipitación de las proteínas [3, 4, 5].

- d) Temperatura del disolvente: Un aumento de la temperatura de extracción favorece la solubilidad de los componentes, sin embargo, algunas proteínas son termosensibles. por lo que la temperatura de extracción debe mantenerse por debajo de la temperatura de desnaturalización de las proteínas de soja (inferior a 70 ° C) [2].
- e) Tiempo de solubilización/extracción: es un factor de poca relevancia en cuanto a la extracción de proteínas, dado que variaciones grandes en el mismo no conllevan cambios de gran significancia en la cantidad de proteína extraída [3].
- f) Relación harina de soja/disolvente: Aunque cantidades más altas de agua pueden dar como resultado una mayor extracción proteica, la concentración de proteína final será menor, lo cual conlleva mayor tiempo de secado posterior. Factor a tener presente al momento de la formulación del producto seco final [2, 3].

Es importante señalar, por otra parte, que dependiendo del uso al cual vaya destinado el producto rico en proteínas, la presencia de ciertas sustancias puede interferir o resultar indeseable. Dentro de estas sustancias típicamente no deseadas se encuentran los oligosacáridos rafinosa y estaquiosa (por su dificultad para ser digeridos por animales monogástricos), la lipoxigenasa (que mediante procesos oxidativos de diversos ácidos grasos produce sustancias que empeoran la palatabilidad y el *flavor* del producto), los inhibidores de tripsina (que inhiben la digestión de proteínas y hemaglutininas), entre otros [1].

Un aspecto importante a la hora de procesar los productos de soja para obtener sus proteínas, es tratar de conservar la funcionalidad de las mismas. El nivel de funcionalidad de un producto de proteína de soja está determinado por diversos factores, siendo uno de ellos la cantidad de proteína soluble presente. Aunque una proteína insolubilizada contiene los mismos grupos funcionales que una solubilizada, existe una diferencia en la accesibilidad a los mismos por la matriz que la rodea (agua, grasas, entre otras). Algunas propiedades funcionales de los productos de proteína de soja incluyen la solubilidad, el espumado, emulsificación, absorción y unión de agua, viscosidad, gelación, cohesión-adhesión, elasticidad, termoplaticidad y la habilidad para formar películas comestibles [1, 2, 6].

Como se mencionara, el nivel de funcionalidad del producto final depende principalmente del método utilizado para la obtención del producto rico en proteína de soja. Esto es así debido a que la funcionalidad se encuentra estrechamente relacionada con el grado de desnaturalización que sufren las proteínas durante su procesamiento. Es por ello que resulta de relevancia considerar la aplicación final del producto proteico para la elección del método de producción adecuado [1].

1.1. Objetivos

1.2. Objetivo general

El presente trabajo tuvo como objetivo general analizar muestras de expeller de soja provistas por la empresa Diez S.R.L. obtenidas (sin mediar disolvente orgánico para la extracción de lípidos), por prensado de granos o porotos de soja, de la campaña 2017-2018, cultivada en el área central de la provincia; a los fines de determinar su potencial empleo para obtención de productos con mayor tenor proteico.

1.3. Objetivos específicos

- 1.3.1. Determinar el contenido de macrocomponentes (lípidos, proteínas, cenizas y carbohidratos) en muestras de expeller de soja, así como también en los porotos de soja que las originaron.
- 1.3.2. Evaluar la solubilidad proteica, de muestras de expeller de soja y de porotos de soja que las originaron, en función del sistema disolvente (agua, solución salina, solución alcalina).
- 1.3.3. Comparar los valores obtenidos y determinar si existen diferencias significativas en los contenidos de macrocomponentes y en la solubilidad proteica de las muestras analizadas.

2. Materiales y Métodos

Material vegetal: las muestras de los respectivos expeller, y granos de soja, fueron provistos por la empresa Diez S.R.L.; obtenidos, sin mediar disolvente orgánico, por prensado de porotos de soja, procedentes de la campaña 2017-2018 de cultivos localizados en el área central de la provincia.

El contenido de macrocomponentes se determinó mediante las siguientes metodologías:

Contenido de humedad: las muestras se colocaron en crisoles y se llevaron a estufa (105°C, por 24 h), el contenido de humedad se obtuvo por diferencia de peso (pre y post tratamiento en estufa), los valores se expresan como porcentaje (g/100g).

Contenido de cenizas: las muestras se colocaron en crisoles y se llevaron a mufla (550°C, por 24 h), el contenido de cenizas se obtuvo por diferencia de peso (pre y post tratamiento en mufla), los valores se expresan como porcentaje, sobre base seca (g/100g, sbs).

Contenido de aceite: las muestras se colocaron en un extractor sólido-líquido, equipo Soxhlet (n-hexano, 12 h) y el contenido de aceite se obtuvo por diferencia de peso (pre y post tratamiento), los valores se expresan como porcentaje, sobre base seca (g/100g, sbs).

Contenido de proteínas: se obtuvo por aplicar el factor de conversión de Nitrógeno (N*6,25) a la determinación de Nitrógeno que se realizó en las muestras colocadas en un equipo Kjeldahl, los valores se expresan como porcentaje, sobre base seca (g/100g, sbs).

Contenido de hidratos de carbono (HdeC): se obtuvo por diferencia entre 100 y el total de macrocomponentes, según la siguiente ecuación:

$$\text{HdeC} = 100 - [\% \text{aceite} + \% \text{proteínas} + \% \text{cenizas}] \quad (1)$$

Solubilidad proteica: los análisis de solubilidad se llevaron a cabo mediante la preparación de suspensiones (al 1% P/V) de las muestras en los respectivos sistemas disolventes: I (agua destilada); II (cloruro de sodio, 1M); III (hidróxido de sodio, pH=9), se dejó en contacto durante 2 horas (a temperatura ambiente, con agitación cada 15 minutos), se centrifugó (3000rpm, 10 minutos, temperatura ambiente), se separó el sobrenadante del cual se retiraron alícuotas para la lectura de absorbancia en espectrofotómetro (a 260nm y a 280nm), según Kalckar [7] Los valores se expresan como mg/ml de extracto.

Análisis estadístico: las determinaciones analíticas fueron promedios de mediciones realizadas por duplicado de muestras independientes para cada tratamiento. Las diferencias estadísticas se estimaron mediante el test ANOVA y el nivel de confianza fue del 95% ($p \leq 0,05$) para todos los parámetros evaluados. Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas se realizó la comparación de las medias entre pares mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) y, en tablas, se expresan con letras distintas. Todos los análisis se realizaron con el programa InfoStat (versión 2013) desarrollado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba [8].

3. Resultados y Discusión

En las tablas N° 1 y N° 2 se pueden observar los resultados de las muestras (Expeller y Grano de soja) para macrocomponentes y solubilidad proteica, respectivamente.

Entre los macrocomponentes del expeller, el principal corresponde a las proteínas seguido por hidratos de carbono, aceite y cenizas. Resultado similar se encontró en los granos de soja y cuyos valores se encuentran dentro del rango informado para soja en la base de datos del United States Department of Agriculture (USDA).

Entre las muestras de expeller analizadas, las diferencias fueron significativas ($p < 0,05$) para peso seco, aceite y proteínas. El expeller A fue el de mayores valores para contenidos de proteínas y de aceite; en tanto que la muestra C fue la de mayor peso seco, coincidiendo con el menor ($p < 0,05$) contenido de humedad en esta muestra (5,95%; 6,49% y 6,59% valores que corresponden a la Humedad en los expeller C, B y A, respectivamente) que se atribuye a las condiciones en las cuales la empresa las obtuvo.

En el análisis de los granos de soja, que dieron origen a las muestras de expeller, las diferencias fueron significativas ($p < 0,05$) para el parámetro correspondiente al peso seco, encontrándose el mayor valor en la muestra B, resultado que se atribuye al menor contenido de Humedad encontrado en esta muestra (10,55% 10,29%; y 10,66%, valores que corresponden a la Humedad en los granos de soja A, B y C, respectivamente).

Al comparar entre el expeller y el grano de soja del que se obtuvo se puede observar que el expeller presentó mayores ($p < 0,05$) valores en los parámetros correspondientes a peso seco, proteínas y cenizas; en tanto que el contenido de aceite fue inferior ($p < 0,05$). Estos resultados se atribuyen al proceso de obtención del expeller. En este caso, el prensado del poroto disminuye el contenido de aceite (entre un 48% y un 53%) e incrementa los valores de los otros parámetros, entre ellos el de las proteínas (entre un 18% y un 25%).

Respecto al tratamiento recibido por los granos de soja, el correspondiente a la muestra C fue el que presentó mayor relación aceite grano/expeller (lo que indica que extrajo mayor cantidad de aceite). Respecto a la proteína, en la relación grano/expeller se encontró el menor valor en la muestra A. Es decir que, si bien el tratamiento que permitió

obtener el expeller C retiró mayor cantidad de aceite dejó un expeller con menor contenido proteico respecto al de la muestra A, resultados que dan un indicio respecto al tratamiento a seleccionar si el objetivo fuera obtener proteínas ya sea a partir de granos de soja o de expeller.

Al evaluar la solubilidad proteica de las muestras (expeller y grano de soja) en función de los sistemas disolventes utilizados [agua destilada (I), solución salina (II) y solución alcalina (III)] se encontró que:

- a) En cada sistema disolvente, los valores de solubilidad de las muestras expeller fueron similares ($p < 0,05$), así como para las muestras de poroto de soja en los sistemas I y III; sin embargo, en el sistema II el valor para las proteínas solubles de la muestra del grano A fue superior ($p < 0,05$) a las correspondientes a B y a C.
- b) En los resultados encontrados en las muestras expeller, se observa que B presentó menor solubilidad proteica en el sistema I y similares ($p < 0,05$) valores en los sistemas II y III; en tanto que no se observan diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de solubilidad de las muestras de expeller A y C en los sistemas analizados.
- c) En los resultados encontrados en las muestras de granos de soja, se observa que la muestra A no presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) para la solubilidad en los sistemas analizados; las proteínas de los porotos de soja de las muestras B y C fueron menos solubles en el sistema II; la mayor solubilidad se encontró en las proteínas de la muestra B en el sistema III.

En general, respecto al tipo de muestra, la solubilidad proteica del poroto de soja resultó superior a la del expeller; y respecto al medio disolvente, los sistemas I y III fueron los que solubilizaron más ($p < 0,05$) proteínas presentes en las muestras de porotos de soja que en las de expeller; en tanto que en el sistema II los valores no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$). Las diferencias encontradas se atribuyen al tipo de muestra (grano de soja y expeller); al tipo de proteínas presentes en las muestras y al sistema disolvente utilizado.

En el grano de soja predominan las proteínas hidrosolubles, entre ellas las globulinas (solubles en soluciones salinas diluidas) y las albúminas (solubles en agua destilada) según la clasificación, en función de solubilidad y disolvente, propuesta por Osborne [9].

Los tratamientos comúnmente utilizados para remover lípidos utilizan prensas (hidráulica o a tornillo) y/o disolventes (n-hexano). Las diferentes fracciones proteicas son susceptibles a estos tratamientos que, por efecto de la temperatura, el esfuerzo mecánico y/o la intensidad, pueden ocasionar diferentes grados de desnaturalización de las proteínas.

En un sentido termodinámico, la desnaturalización proteica se refiere al cambio de un estado ordenado de las moléculas que pasan a otro desordenado, acorde a lo expresado por Badui-Dergal [10]. Las proteínas desnaturalizadas adquieren así conformaciones al azar la que dependerá de la intensidad del tratamiento que se le aplique, así como de las fuerzas que estabilizan su estructura. Al desnaturalizarse se mantienen los enlaces peptídicos; sin embargo, se ven afectadas las interacciones del tipo puente hidrógeno, hidrofóbicas y/o las iónicas que al perderse facilitan la exposición de los grupos hidrófobos internos lo que conlleva a la reducción de la solubilidad proteica.

Por otra parte, las albúminas son termosensibles [11,12] y podrían ser afectadas por la prensa a tornillo y la temperatura asociada a ella; en tanto que las globulinas podrían ser

afectadas por el prensado hidráulico asociada a temperaturas superiores a 70°C [13]. Al evaluar la solubilidad proteica en el sistema I, se observa que las proteínas del expeller son menos solubles que las de grano de soja, resultado que se atribuye al procedimiento de obtención del expeller, donde el tipo de prensa y las temperaturas generadas durante el prensado serían los factores que afectan a la fracción de las termosensibles albúminas. Es por ello que resulta de relevancia considerar la aplicación final del producto proteico para la elección del método de producción de expeller adecuado.

Tabla 1. Macrocomponentes en muestras de Expeller y de Grano de soja, valores expresados como g/100g [porcentaje, sobre base seca (% sbs)].

Muestra	Aceite (% sbs)	Proteínas (% sbs)	Cenizas (% sbs)	HdeC (% sbs)
Expeller A	9,4 ^c ± 0,1	48,0 ^b ± 0,3	6,2 ^a ± 0,1	41 ± 7
Expeller B	8,9 ^b ± 0,1	46,5 ^a ± 0,6	6,136 ^a ± 0,001	43 ± 7
Expeller C	8,2 ^a ± 0,1	46,1 ^a ± 0,5	6,050 ^a ± 0,009	44 ± 5
Grano A	18,3 ^I ± 0,9	38,4 ^I ± 0,6	4,8 ^I ± 0,1	38,6 ± 0,9
Grano B	16,9 ^I ± 0,4	38,8 ^I ± 1,4	4,9 ^I ± 0,1	39,4 ± 0,5
Grano C	17 ^I ± 1	38,9 ^I ± 0,6	4,8 ^I ± 0,1	39,0 ± 0,9

Referencias: letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre Expeller. Números romanos distintos en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre Grano.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Solubilidad proteica encontrada en muestras de Expeller y de Grano de soja, valores expresados como mg/ml suspensión (mg/ml).

Muestra	Sistema I (mg/ml)	Sistema II (mg/ml)	Sistema III (mg/ml)
Expeller A	2,6 ^{al} ± 0,2	2,2 ^{al} ± 0,8	3,6 ^{al} ± 0,2
Expeller B	2,2 ^{al} ± 0,01	3,01 ^{bl} ± 0,1	3,0 ^{bl} ± 0,2
Expeller C	2,0 ^{al} ± 0,4	2,7 ^{al} ± 0,6	2,9 ^{al} ± 0,3
Grano A	4,3 ^{all} ± 0,5	3,2 ^{al**} ± 0,3	4,3 ^{al} ± 0,5
Grano B	3,9 ^{blII} ± 0,1	2,9 ^{al} ± 0,1	5,2 ^{cII} ± 0,4
Grano C	4,3 ^{blII} ± 0,3	2,64 ^{al*} ± 0,01	4,8 ^{cII} ± 0,3

Referencias: letras minúsculas distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre Sistemas. Números romanos distintos en una misma columna indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre Expeller y Grano que lo originó. En el sistema II, para granos A y C, ** y * indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones y recomendaciones

El presente trabajo permitió la interacción de estudiantes, docentes, investigadores y empresarios, relacionados mediante un proyecto de investigación en el que participan diferentes instituciones como la Universidad Nacional de Córdoba representada por el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA-FCEfyN-UNC) y la Cámara de Agroalimentos y bioenergías de la Provincia de Córdoba (CABIOCOR) representada por la empresa Diez SRL, que posibilitó el desarrollo de las actividades necesarias para determinar el contenido de macrocomponentes y la solubilidad proteica de muestras de expeller, obtenidas por la empresa, mediante el prensado de poroto de soja procedente del área central de la provincia, durante la campaña 2017-2018.

Según los resultados encontrados se puede decir que el contenido de macrocomponentes de las muestras de expeller dependió del grano de soja del que provino y también del proceso al que se lo sometió para producirlo. La extracción de aceite mediante el proceso eco amigable implementado por la empresa permite disminuir el porcentaje de aceite e incrementar el de proteínas, cenizas y carbohidratos. Respecto a la solubilidad proteica, los resultados indican que se ve afectada por el tipo de proceso utilizado para la obtención de expeller, factores tales como temperaturas generadas durante el prensado ejercen efectos en la fracción proteica, en este caso principalmente afecta a las termosensibles albúminas. Atento a los resultados del trabajo, se considera que el expeller es apto para evaluar su potencial aplicabilidad en el desarrollo de productos con elevado tenor proteico. Lo expuesto aporta información respecto a los pasos a seguir y tratamientos a utilizar, que dependerán según nuevo/s objetivo/s a) seleccionar, granos de soja o expeller, según contenido de macrocomponente específico (aceite o proteína); b) obtener proteínas: a partir de granos de soja o de expeller; c) utilizar, grano o expeller, como aporte proteico, etc.

