

# AGREGADO DE VALOR A EXPELLER DE SOJA

Ezequiel Godoy <sup>(1)</sup>, Emilce Llopart <sup>(2, 3, 4)</sup>, Santiago Morsellini <sup>(3)</sup>,  
Ayelén Mijoevich <sup>(3)</sup>, María del Pilar Romero <sup>(3)</sup>,  
Nora Aimaretti <sup>(3, 5)</sup>, María Agustina Reinheimer <sup>(1, 2)</sup>

<sup>(1)</sup> UTN - Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario

<sup>(2)</sup> CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

<sup>(3)</sup> UCEL - Universidad del Centro Educativo Latinoamericano, Facultad de Química

<sup>(4)</sup> UNR - Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas

<sup>(5)</sup> INTA- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Rafaela, AER Monte Vera  
E-mail: naimaretti@ucel.edu.ar

## RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en la extracción acuosa de proteínas a partir de expeller de soja y su posterior precipitación, así como en el análisis de los efluentes sólidos resultantes de este proceso a fines de evaluar su potencial valorización considerando principalmente el contenido de fibra dietaria. Para esto, se evaluaron y caracterizaron muestras de expeller provistas por PyMES de la región, que fueron sometidas al proceso de recuperación de proteínas y fibras bajo un amplio rango de condiciones operativas. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza, y permiten detectar potenciales alternativas de procesamiento para la generación de productos de mayor valor agregado.

**Palabras clave:** Revalorización - Expeller de soja - Proteínas - Fibras.

## ABSTRACT

The present works deals with the protein aqueous extraction from extruded-expelled soybean meals, followed by the protein isoelectric precipitation. The solid effluent (i.e. residual meal) is also analyzed for evaluating its potential value-added regarding mainly its dietary fiber content. For these purposes, extruded-expelled meals provided by Argentinian small and medium companies were evaluated, characterized and subjected to protein and fiber recovery processes under a wide range of operating conditions. Results were analyzed by ANOVA method and revealed potential processing alternatives for generating value-added by-products.

**Keywords:** Revalorization, Extruded-expelled soybean meal, Proteins, Fibers.

## 1. Introducción

Durante las últimas campañas de producción de soja, Argentina ha sido el tercer productor, por detrás de Estados Unidos y Brasil, contabilizando entre ellos el 80% de grano de soja a nivel mundial. En Argentina, el 78% de la cosecha de soja se destina a procesamiento, de los cuales el 70% va a las grandes industrias aceiteras que utilizan

el método químico de extracción de aceite por solvente (Secretaría de Agroindustria, 2018). El restante 8% es procesado en más de 300 industrias PyMES del país por el método físico de extrusado y prensado, principalmente en PyMEs situadas en zonas agrícolas del interior del país, ya que es una tecnología alternativa de bajo costo, flexible y adaptable a diferentes escalas, donde también se utiliza el subproducto de la extracción por extrusión y prensado para alimentación animal. Como principal ventaja de este subproducto, respecto del obtenido de la extracción por solvente (o harina desgrasada), se debe considerar que el expeller no entra en contacto con solvente hexano durante el proceso de extracción por método físico. Por otra parte, la principal desventaja radica en el mayor contenido de aceite residual (entre un 5-8%, a diferencia de la harina desgrasada que puede tener un 2%). Asimismo, las PyMES en general manejan diferentes tecnologías, poco estandarizadas entre sí, sumando así variabilidad entre muestras tomadas de diferentes plantas. No obstante, se considera que el expeller podría mejorar en valor agregado y así alcanzar amplios mercados en la industria de alimentos si sus propiedades funcionales fuesen mejoradas.

El equipo de trabajo ha estudiado exhaustivamente en los últimos años los diferentes procesos patentados y/o publicados en la literatura para la elaboración de concentrados proteicos (SPC, >70% proteína en base seca) y/o aislados proteicos de soja (SPI, >90% proteína en base seca) a partir de flakes. En este contexto, se propone aquí una estrategia para la adecuación de dichos procesos para el procesamiento del expeller, en vistas a lograr la recuperación de proteínas de soja y generación de un producto proteico. Asimismo, se ha trabajado exhaustivamente en la revalorización de residuos del procesamiento de distintas matrices vegetales (Aimaretti, 2012, 2016), por lo que se propone aquí la puesta a punto del proceso de recuperación y caracterización de la fibra remanente en el expeller residual.

El presente trabajo expone así reales potencialidades en la revalorización del expeller de soja mediante la purificación y recuperación de las proteínas y fibras residuales. De esta manera, la recuperación de dichos nutrientes se constituye en una propuesta novedosa para la obtención de potenciales productos de valor agregado, obtenidos a partir de un subproducto de poco valor comercial en el mercado. En este contexto, el escalamiento e implementación a escala industrial del proceso propuesto permitiría el agregado de valor al expeller residuo que se obtiene comúnmente en innumerables PyMES de la región pampeana.

## **2. Metodología experimental**

### **2.1. Proceso de recuperación de nutrientes**

Las muestras de expeller se procesaron en un molino de cuchillas "Sojамет". Luego, del producto molido se separó la fracción de interés para la posterior recuperación de nutrientes, representada por el pasante por malla 25 hasta el retenido en malla 100 (D'Emanuele *et al.*, 2017).

Como primera etapa del proceso de recuperación, las proteínas son solubilizadas para ser separadas del resto de los compuestos no solubles, principalmente glúcidos insolubles. El proceso de extracción fue llevado a cabo en un extractor batch con agitación continua durante 15 minutos dentro de un baño termostático a temperaturas de 55°C, 60°C y 65°C. En este tanque, se colocó el expeller previamente molido y tamizado, y se agregó agua para llevar la relación de extracción sólido-líquido a 1:20

(peso en peso). Antes de cada extracción, se ajustó el pH del medio con solución de hidróxido de sodio, medido mediante pHmetro “Hanna”, hasta un valor de pH 8.5. A pesar de que la mayor parte de las proteínas de la soja son solubles a pH próximos a la neutralidad, es recomendable realizar la extracción a pH alcalino para favorecer el fenómeno de solubilización de las proteínas (Badui Dergal, 2013; Vioque *et al.*, 2001).

Mediante filtrado, el residuo insoluble es separado del extracto obtenido, que contiene el resto de los componentes no solubles (Liu, 1997). Este residuo en fase sólida sería tradicionalmente utilizado para alimentación animal, proponiéndose aquí su caracterización de manera de determinar potencialidades respecto de su posterior reutilización como materia prima en la generación de productos con valor agregado. Es de particular interés su contenido de fibra dietaria, dado que las mismas exhiben una amplia gama de propiedades fisicoquímicas en función de características tales como su solubilidad, capacidad de fermentación y viscosidad (Slavin, 2013).

La segunda etapa tiene por objeto la concentración y purificación de las proteínas frente a otros compuestos (Vioque *et al.*, 2001). El método tradicional de producción de concentrados y aislados proteicos de soja propone disminuir el pH del extracto hasta el punto isoeléctrico de la proteína de alrededor de 4.5 (Sunley, 1995), y a posteriori, separar el precipitado de los componentes no proteicos solubles remanentes (FAO, 1992). Adicionalmente, la solubilidad de las proteínas depende de la temperatura operativa, así como de la presencia de iones orgánicos e inorgánicos en la solución (Raphael, 1997). Cabe destacar que la precipitación isoeléctrica es un fenómeno rápido, donde las proteínas de interés se separan de la solución en el primer minuto (Raphael, 1997). La proteína precipitada es separada por filtración, obteniéndose una crema espesa que, en última instancia, será sometida a un proceso de secado mediante liofilización o spray. El producto resultante es una proteína de soja en forma de proteinato altamente purificada, de aspecto pulverulento, color crema y de baja densidad.

## **2.2. Determinaciones analíticas**

Los procedimientos analíticos de la AOAC (2005) fueron utilizados para determinar el contenido de nitrógeno, donde el contenido de proteína es calculado como nitrógeno x 6.25 (método nro. 954.01), humedad (método nro. 925.10), lípidos (método nro. 920.39), cenizas (método nro. 942.05) y fibra dietaria total (método nro. 985.29). Adicionalmente, el contenido de proteína soluble fue determinado mediante el método de Bradford (1976). Todas las determinaciones se realizaron al menos por duplicado.

## **2.3. Análisis estadístico**

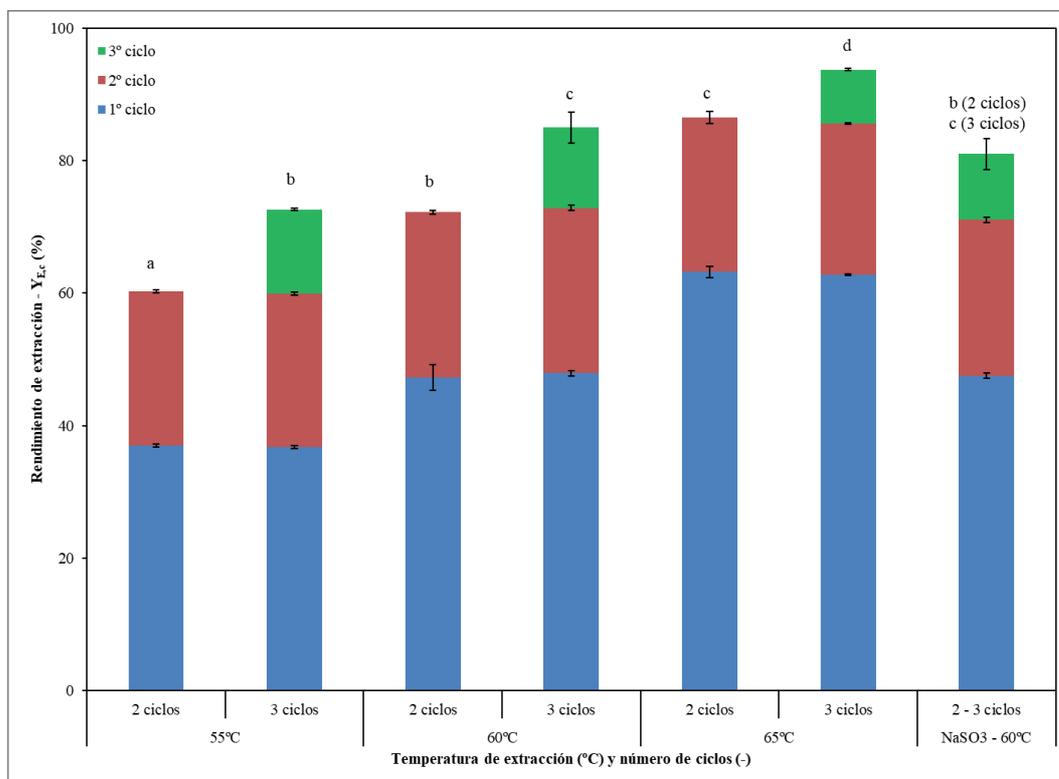
Los resultados experimentales fueron procesados mediante análisis de varianza, informándose los promedios y desvíos correspondientes. Para la realización del análisis de varianza, se utilizaron los softwares estadísticos Minitab 18 y Statgraphics Plus 3.0.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Evaluación de la performance de la etapa de extracción alcalina

En primera instancia, se analiza el impacto de mantener diferentes temperaturas operativas de 55°C, 60°C y 65°C a lo largo de 2 o 3 ciclos de extracción alcalina de 15 minutos cada uno. Para evaluar la performance del proceso de recuperación de proteínas se computa el rendimiento total de la etapa de extracción (%), en función del rendimiento de cada etapa (%), tal como se define en la Ec. (1), donde se mide la cantidad de proteína solubilizada en cada etapa de extracción, con respecto al contenido de proteína del expeller. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 1.

(1)



**Fig. 1.** Rendimiento de extracción en función de la temperatura operativa y el número de ciclos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las muestras ().

Al comparar corridas experimentales con dos ciclos de extracción, se observan diferencias significativas () para el rendimiento de extracción entre las tres temperaturas operativas, indicado por las diferentes letras sobre las columnas respectivas. El incremento en la concentración de proteínas es consecuencia del incremento en su solubilidad con la temperatura. Aun así, el proceso de termo-desnaturalización de las proteínas de soja comienza alrededor de 72°C (Endres, 2001), lo cual impone un límite superior para la temperatura operativa de la etapa de extracción.

Adicionalmente, se observa una dependencia más débil entre la concentración de

proteínas solubles y temperatura en el segundo ciclo de extracción respecto del primero, donde la fuerza impulsora para la transferencia de materia disminuye debido a la menor concentración de proteínas remanentes en el expeller disponibles para la extracción. Luego, se observan diferencias significativas para el rendimiento de extracción entre las tres temperaturas de extracción para el primer ciclo, mientras que no existen diferencias en dicho rendimiento para la segunda etapa.

La variación de la temperatura operativa de 55°C a 60°C y de 60°C a 65°C redonda en incrementos del rendimiento de extracción en promedio 10.8% y 15.2%, respectivamente, considerando que el valor base promedio para 2 ciclos a 55°C es de 37.1%. Por otro lado, se alcanza un rendimiento de extracción promedio de 23.9%. Luego, para el escalamiento del proceso de extracción alcalina existen soluciones de compromiso, debido a que se obtienen mejores rendimientos a temperaturas operativas mayores, pero ello implica un mayor consumo del medio de calentamiento necesario para alcanzar dichas temperaturas.

Al utilizarse dos ciclos de extracción, se observa una cantidad considerable de proteínas solubles todavía remanente en el expeller. Se analizan a continuación los beneficios potenciales de incluir un tercer ciclo de extracción en el proceso, siendo que esta estrategia fue implementada exitosamente para la recuperación de proteínas a partir de pescado (Reinheimer *et al.*, 2013). Para este fin, los rendimientos de extracción se analizan al incluirse un tercer ciclo de extracción alcalina en el proceso de recuperación de proteínas a partir del expeller.

Luego, se observan diferencias significativas () para el rendimiento de extracción entre las tres temperaturas operativas, indicado por las diferentes letras sobre las columnas respectivas. La etapa de extracción adicional recupera en promedio un extra de 12.9% de las proteínas solubles del expeller cuando la temperatura operativa es de 55°C o 60°C, mientras que dicho incremento es de solo 8.5% a 65°C debido a que la cantidad de proteínas remanentes en el expeller, y consecuentemente la fuerza impulsora para la transferencia de materia, son menores. De esta manera, la relación costo-beneficio de la introducción de un tercer ciclo de extracción se debe analizar detalladamente, dado que la ganancia en recuperación por ciclo es incrementalmente más pequeña, pero permite alcanzar valores más altos en la cantidad total de proteínas recuperadas .

### **3.2. Caracterización del expeller residual**

Una vez extraídas las proteínas se separa mediante filtración el residuo constituido por la fracción insoluble de los componentes no extraídos. Este fue caracterizado químicamente mediante la determinación de su contenido de cenizas, proteínas, lípidos y fibra dietaria total. En la Tabla 1 se reportan los resultados del análisis de varianza de dichos parámetros, en función de la temperatura operativa y el número de ciclos utilizados en la etapa de extracción.

Tabla 1. Caracterización del expeller residual efluente del proceso de extracción.

Condiciones	Cenizas (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	FDT (%)
60°C	4.67 ± 0.88 <sup>a</sup>	40.92 ± 4.29 <sup>a</sup>	7.46 ± 3.56 <sup>a</sup>	55.75 ± 6.91 <sup>a</sup>
65°C	6.39 ± 2.76 <sup>b</sup>	50.76 ± 4.46 <sup>b</sup>	6.44 ± 2.84 <sup>a</sup>	61.69 ± 8.30 <sup>a</sup>
	0.034	0.001	0.519	0.078
2 ciclos	5.52 ± 1.67 <sup>a</sup>	44.39 ± 6.88 <sup>a</sup>	7.14 ± 4.34 <sup>a</sup>	52.29 ± 2.69 <sup>a</sup>
3 ciclos	4.94 ± 1.93 <sup>a</sup>	43.13 ± 5.82 <sup>a</sup>	7.10 ± 2.47 <sup>a</sup>	63.05 ± 6.42 <sup>b</sup>
	0.463	0.656	0.976	0.011

Media ± SEM. Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre las muestras ( $p < 0.05$ )

La caracterización del efluente manifestó que este contiene un remanente de proteínas significativamente superior () cuando la extracción de proteínas se realizó a 65°C, siendo en promedio 24% mayor que a 60°C, observándose un comportamiento similar en el contenido de cenizas (), cuyo valor es en promedio 27% superior a 65°C. Asimismo, se observa un incremento del contenido de fibra dietaria total en el efluente cuando la extracción se realiza a 65°C, aunque con una certeza () levemente superior al nivel de significancia. Respecto al contenido de lípidos, no se observaron diferencias significativas.

Al analizar el efluente en función del número de ciclos de extracción, no se observan diferencias significativas en el contenido de proteínas, lípidos y cenizas. No obstante, ocurre lo contrario con el contenido de fibra dietaria total (), el cual se incrementa 21% al emplearse un ciclo adicional. Se refuerza así la existencia de soluciones de compromiso, donde la implementación de un tercer ciclo de extracción produce un mayor contenido de fibra y minerales en el efluente sólido del proceso, implicando un potencial de revalorización superior para este flujo residual.

### 3.3. Evaluación de la performance del proceso de recuperación de proteínas

El extracto líquido obtenido en la etapa de extracción fue enfriado previamente a la etapa de precipitación isoelectrica hasta dos niveles diferentes identificados como temperaturas baja y alta, correspondiéndose a valores promedio de 0°C y 20°C respectivamente. Luego, el pH del extracto líquido se baja hasta 4.5 bajo agitación constante, utilizando ácidos clorhídrico y fosfórico como acidulantes. La performance de esta etapa se evalúa mediante el rendimiento total de recuperación de proteínas (%) definido en la Ec. (2), el cual mide la cantidad total de proteína recuperada mediante el proceso de extracción alcalina-precipitación isoelectrica con respecto al contenido de proteína del expeller.

$$Y_T = \frac{\text{masa de producto [g]} \cdot \text{concentración final de proteína } \left[ \frac{\text{g proteína}}{\text{g}} \right]}{\text{masa de expeller [g]} \cdot \text{concentración inicial de proteína } \left[ \frac{\text{g proteína}}{\text{g}} \right]} \cdot 100 \quad (2)$$

Asimismo, la productividad del proceso de recuperación de proteínas (kg producto/kg EE) se define en la Ec. (3) como la cantidad de producto obtenido por unidad de expeller procesado.

$$Pr_T = \frac{\text{masa de producto [kg producto]}}{\text{masa de expeller [kg expeller]}} \quad (3)$$

Los resultados del análisis de varianza para el rendimiento total y la productividad se presentan en la Tabla 2, donde asimismo se reporta el contenido de proteínas del producto obtenido considerando las diferentes condiciones de procesamiento durante la extracción alcalina y la precipitación isoelectrica.

Al analizar los resultados obtenidos, se observa que la temperatura operativa durante la extracción no ejerce un impacto significativo en la performance global de proceso, medida por el rendimiento de recuperación y la productividad. Como regla general, la temperatura no debería superar los 70°C de manera de evitar la desnaturalización de las proteínas, por lo que operar a 60°C representaría una solución de compromiso que permitiría implementar mejores estrategias para el control del proceso. Por su parte, utilizar un tercer ciclo de extracción mejora significativamente el rendimiento de recuperación y la productividad del proceso, debido principalmente a que la adición de un ciclo extra incrementa la cantidad de proteínas recuperadas durante la extracción.

Por el contrario, la temperatura de precipitación no afecta significativamente el proceso de recuperación de proteínas, dado que se obtienen valores similares del rendimiento total y de la productividad para valores altos y bajos en dicho parámetro, habiéndose utilizado ácido clorhídrico como acidulante. Usualmente, una temperatura de precipitación menor implica una mayor velocidad de precipitación, pero no se traduce aquí en un aumento en la cantidad de proteínas recuperadas. Consecuentemente, resultaría preferible realizar la etapa de precipitación en el rango de temperaturas altas, ya que se requieren menos tiempo y recursos para el enfriamiento de la solución desde la temperatura de extracción hasta la de precipitación.

Tabla 2. Performance del proceso de recuperación de proteínas.

Condiciones	(%)	(kg/kg)	(%bs)
55°C	52.53 ± 1.59 <sup>a</sup>	0.3062 ± 0.0034 <sup>a</sup>	54.03 ± 1.59 <sup>a</sup>
60°C	46.22 ± 9.30 <sup>a</sup>	0.2585 ± 0.0605 <sup>a</sup>	62.83 ± 8.73 <sup>a</sup>
65°C	45.71 ± 7.77 <sup>a</sup>	0.2545 ± 0.0476 <sup>a</sup>	63.78 ± 10.0 <sup>a</sup>
	0.580	0.490	0.629
2 ciclos	41.80 ± 7.48 <sup>a</sup>	0.2316 ± 0.0412 <sup>a</sup>	60.66 ± 6.45 <sup>a</sup>
3 ciclos	48.92 ± 8.14 <sup>b</sup>	0.2764 ± 0.0588 <sup>b</sup>	63.72 ± 10.2 <sup>a</sup>
	0.039	0.045	0.528
Alta-HCL	41.33 ± 9.20 <sup>a</sup>	0.2295 ± 0.0437 <sup>a</sup>	60.93 ± 4.45 <sup>a</sup>
Baja-HCL	48.21 ± 8.08 <sup>a</sup>	0.2701 ± 0.0582 <sup>a</sup>	63.92 ± 10.0 <sup>a</sup>
Baja-H3PO4	47.11 ± 8.01 <sup>a</sup>	0.2715 ± 0.0496 <sup>a</sup>	54.48 ± 8.01 <sup>a</sup>
	0.243	0.289	0.574

Media ± SEM. Letras diferentes en una columna indican diferencias significativas entre las muestras ()

De manera de evitar los riesgos potenciales asociados al uso de ácido clorhídrico en un producto alimenticio destinado a consumo humano, se determinó asimismo que resultaría factible utilizar ácido fosfórico como alternativa, ya que no se hallaron diferencias significativas con los rendimientos y productividad obtenidas utilizando ácido clorhídrico bajo iguales condiciones de procesamiento.

Respecto del contenido de proteínas del producto obtenido como resultado del proceso de extracción-precipitación, no se observan diferencias significativas en función de las condiciones operativas utilizadas. Aun así, cabe destacar que se han alcanzado valores de la concentración de proteínas de hasta 75-78%, que se traducen en un producto de interés con alto valor agregado.

## Conclusiones

Mediante un proceso de purificación y recuperación de nutrientes del expeller de soja es posible agregar valor a su cadena productiva alcanzando valores aceptables de los indicadores de performance de proceso analizados, incluyendo rendimientos y productividad.

La extracción alcalina seguida de precipitación isoeléctrica permite recuperar proteínas alcanzando concentraciones de 75-78%. Del efluente líquido, con 10% de sólidos, puede extraerse 4% de fibra dietaria. Ácido fosfórico puede utilizarse para disminuir el pH cuando se desee un producto para consumo humano.

## Reconocimientos

El presente trabajo fue presentado en el Congreso Argentino de Ingeniería Química CAIQ 2019, realizado del 4 al 7 de agosto en la Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe.

Los autores reconocen el soporte de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación (ASaCTeI), la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

## Referencias

- Aimaretti, N.; Ybalo C. (2012). "Valorization of carrot and yeast discards for the obtention of ethanol". *Biomass & Bioenergy* (42), 18-23.
- Aimaretti, N.; Canesini, M.C.; Diruscio, I.; Martins, L.; Calcha, J.; Soressi, M.; Terán, J.C.; Rausch, A.; Almada, G.; Sordo, M.H.; Callaci, C.; Ochandio, D.; Lauxmann, A. (2016). "Agregado de valor: un diagnóstico preliminar", *Invenio*, 19(36), 143-168.
- AOAC (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*, AOAC International.
- Badui Dergal, S.; Valdés Martínez S.E. (2006). *Química de los alimentos*, Pearson Education, México.
- Bradford, M.M. (1976). "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding". *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- D'Emanuele Ares, C.; Accoroni, C.; Ferigutti, L.; Godoy, E.; Reinheimer, M.A. (2017).

- “Análisis de la molienda de expeller de soja evaluando la performance de diferentes tipos de molinos”. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(2), 415-424.
- Endres, J.G. (2001). *Soy proteins products: Characteristics, Nutritional Aspects and Utilization*. AOCS Press and the Soy Protein Council.
- Liu, K. (1997). *Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization*. International Thomson Publishing Asia, Singapore.
- Raphael, M.L. (1997). *Recovery and kinetics study of isoelectric precipitation of sunflower protein in a tubular precipitator*, PhD Thesis, University of Saskatchewan.
- Reinheimer, M.A.; Scenna, N.J.; Mussati, S.F. (2013). “Optimal Design of the Leaching Stage in the Manufacturing Process of Surimi Gel”. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(36), 13034-13045.
- Secretaría de Agroindustria (2018). Datos Abierto Agroindustria. <https://www.agroindustria.gob.ar/datosabiertos/>
- Slavin, J. (2013). “Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits”. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435.
- Sunley, N. (1995). *Soya Protein Isolate Production by various methods*. Tesis de Maestría, Universidad Natal.
- Vioque, J.; Sánchez-Vioque, R.; Pedroche, J.; Yust, M.; Millán, F. (2001). “Información Tecnológica: Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados proteicos”. *Grasas y Aceites*, 52(2), 127-131.