

# Calidad de la soja procesada y del expeller producido por la industria de extrusado-prensado en Argentina

---

*Ing. Agr. Néstor Antonio Juan*  
*Ing. Agr. José Ignacio Massigoge*  
*Ing. Agr. Lisandro Errasquin*  
*Ing. Agr. José María Méndez*  
*Ing. Agr. Darío Carlos Ochandio*  
*Ing. Agr. Alejandro Eduardo Saavedra*  
*CPN Maria Cecilia Paolilli*  
*Ing. Agr. Ricardo Matias Alladio*  
*Ing. Alim. Cecilia Accoroni*  
*Ing. Agr. Enrique Federico Behr*



EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”  
**Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria**

---

**Diseño Gráfico**

Dis. Gráf. Francisco Etchart

*Diciembre de 2015*



**EDICIONES INTA**

Centro Regional La Pampa-San Luis  
EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”  
RN N°5 Km 580, CP 6326, Anguil, La Pampa, Argentina

---

*Dedicado a la memoria del Ing.Agr. Darío Carlos Ochandio, coautor de este trabajo, quien supo forjar lazos de amistad y compañerismo que le valieron el aprecio de quienes lo tratamos.*

# Resumen

Se presentan los resultados de un relevamiento realizado entre 2012 y 2014 de la calidad del poroto procesado y del expeller producido por 62 plantas de extrusado-prensado de soja localizadas en cinco provincias de Argentina. Los análisis de calidad se llevaron a cabo utilizando tecnología NIRS (Espectroscopía en Infrarrojo Cercano), previo desarrollo de modelos de predicción (calibraciones) locales para cada parámetro evaluado.

En relación a la materia prima se encontró que en promedio el contenido de proteína de la soja procesada fue de 39,2 % (base seca), y el contenido de aceite fue de 21,1 % b.s.

El expeller producido mostró (promedio  $\pm$  desvío estándar, % base seca) una humedad de  $6,8 \pm 1,8$  %, proteína de  $43,5 \pm 1,9$  %, materia grasa de  $8,5 \pm 1,8$  %, solubilidad de proteína en OHK de  $77,6 \pm 5,3$  %, cenizas de  $6,1 \pm 0,26$  %, y actividad ureásica de  $0,15 \pm 0,26$  upH. Se detectó una importante variabilidad en la calidad del expeller y en la eficiencia de extracción de aceite, no sólo al comparar entre plantas, sino también entre diferentes días dentro de una misma planta. Los resultados indican que esta industria tiene potencial para mejorar significativamente su proceso productivo y ofrecer un producto más homogéneo.

En promedio, el tenor proteico del expeller producido (43,5 % b.s.) no alcanza al mínimo establecido por la reglamentación vigente (44,5 %). Por el contrario, el contenido de aceite (8,5 % b.s.) sí se

encuadra por debajo del máximo de dicha norma (10,3 %). Se detectó un buen número de muestras individuales que no cumplían con los estándares, ya sea por poseer un bajo contenido de proteína, o un contenido de aceite demasiado alto. También se detectaron muestras en las que los factores antinutricionales de la soja no habían sido correctamente desactivados.

Del análisis de los parámetros relevados se desprende que lograr una alta eficiencia en la extracción de aceite y producir un expeller de alta calidad nutricional es el resultado de múltiples aspectos que incluyen la calidad de la materia prima, su acondicionamiento previo (limpieza, secado, calentado, descascarado), la marca del equipamiento, y la puesta a punto y ajuste periódico de los procesos mecánicos de extrusión y prensado.

Sería muy importante para que esta industria se consolide en el mercado interno y de exportación que incorporara sistemas de control de calidad permanentes, tanto de la materia prima como del producto. Esto ayudaría a posicionar al expeller de soja de extrusión-prensado como una fuente proteica de calidad uniforme y estable en el tiempo. La tecnología de análisis NIRS (Espectroscopía en Infrarrojo Cercano) sería la más adecuada para brindar resultados rápidos, confiables, de bajo costo operativo y sin necesidad de personal especializado en laboratorio.

# Summary

## Quality of the processed soybeans and the expeller produced by extrusion-press industry in Argentina

A survey was carried on between 2012 and 2014 on sixty-two soybeans extrusion-press plants located in five provinces of Argentina. Quality analysis were performed using NIRS technology (Near Infrared Spectroscopy) after local prediction models (calibrations) were developed for each parameter.

Average protein content of the soybeans processed by these plants was 39.2 % (dmb, dry matter based), and oil content was 21.1 % (dmb). Expellers showed an average  $\pm$  standard deviation of  $6.8 \pm 1.8$  % moisture,  $43.5 \pm 1.9$  % (dmb) protein,  $8.5 \pm 1.8$  % (dmb) fat,  $77.6 \pm 5.3$  % protein solubility in OHK,  $6.1 \pm 0.26$  % (dmb) ash, and an ureasic activity of  $0.15 \pm 0.26$  upH. An important variability was detected in expeller quality and oil extraction efficiency, not only comparing among plants, but also among different days in a same given plant. These results suggest that many plants could improve significantly their production process to achieve a more homogeneous product.

On the average, expeller protein content (43.5 %) was slightly lower than the minimum required by current commerce rules (44.5 %). Oil content (8.5 %) did not exceed the maximum allowed (10.3 %). This study detected several individual samples that did not comply with the standard because of a lower protein content and/or a higher oil content.

From the analysis of quality parameters we conclude that achieving a high oil extraction efficiency and producing a high nutritional quality expeller depends on several aspects, including the chemical composition of the soybeans to be processed, its conditioning (cleaning, drying, heating, dehulling, etc), make an model of the equipment, and the control and adjustment of the extrusion and press mechanical processes.

It would be critical for this industry to continue supplying the internal market, and eventually to export its product, to adopt permanent quality control systems for the soybeans and for the expeller as well. NIRS (Near Infrared Spectroscopy) appears to be the most adequate technology to obtain fast, precise and low cost results without the need of laboratory specialized personnel.

# Introducción

Argentina tuvo una producción de poroto de soja en la cosecha 2014 de aproximadamente 53,5 millones de toneladas (mill tn), producto de una superficie sembrada de casi 20 millones de hectáreas con un rendimiento promedio de 2,77 tn/ha (MinAgri, 2015). Con este volumen, Argentina fue el tercer productor mundial de soja, detrás de EEUU y Brasil (Tabla 1). Del total de soja producida en esa campaña, se exportaron como poroto sin procesar 7,5 mill tn (14 %), ubicando a la Argentina como tercer exportador mundial en este rubro (también luego de EEUU y Brasil, pero alejado). Descontando el uso para semilla (alrededor de 1,5 mill tn y el stock que queda almacenado, el resto (42 mill tn) fue procesado en el país por las grandes plantas de extracción por solvente (38 mill tn) y las más de 300 pequeñas plantas de extrusión-prensado (4 mill tn). Esta molienda permitió obtener casi 8 mill tn de aceite, ubicando a Argentina como cuarto productor mundial, luego de China, EEUU y Brasil. Del total de aceite producido se exportaron algo más 4 mill tn, ubicándose como el principal exportador mundial de dicho producto.

Por otro lado, del procesamiento también se obtuvieron 33 mill tn de harina y expeller de soja de las cuales se exportaron aproximadamente 25 mill tn, siendo Argentina el principal exportador (USDA, 2015).

En Argentina, la mayor parte del procesamiento del poroto de soja (90-93 %) lo realizan grandes empresas localizadas en cercanías de los puertos, principalmente en el complejo aceitero de Rosario. Estas industrias tienen economía de escala y utilizan una técnica de extracción que combina el prensado con la utilización de un solvente (hexano, un derivado del petróleo). El destino de su producción es fundamentalmente la exportación, tanto para la harina como para el aceite.

Por otra parte, en toda la región pampeana existen numerosas pequeñas plantas procesadoras de soja (Tabla 2), el 90 % de las cuales se localiza en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, y que, a diferencia de las grandes empresas, destinan su producción básicamente al mercado interno. Utilizan una técnica de extracción que combina un extrusado previo con un prensado posterior, sin la utilización de solventes. Como resultado de este proceso generan aceite crudo desgomado, destinado principalmente a la producción de biodiesel, y en parte a consumo humano. El material sólido remanente de la extracción se denomina expeller, y es principalmente utilizado en alimentación animal como oferente de proteínas. En menor medida es también insumo de plantas elaboradoras de harinas y productos para consumo humano, siendo preferi-

Tabla 1. Producción y exportación de soja y sus productos de los principales países productores en el 2014 (en millones de tn).

Fuentes: Sistema Integrado de Información Agropecuaria, MinAgri (2015), USDA (2015), Oil World (2015), PRECOP (2012)

	Soja			Harina + Expeller		Aceite	
	Producción	Exportación	Molienda	Producción	Exportación	Producción	Exportación
EEUU	91,4	44,8	47,2	36,9	10,5	9,1	0,8
Brasil	86,7	46,8	36,3	28,1	13,9	6,9	1,4
Argentina	53,5	7,45	42,0	33,0	27,8	7,9	4,3

Tabla 2. Evolución del número de plantas aceiteras por extrusión / prensado, capacidad de procesamiento individual y procesamiento conjunto.

Fuente: PRECOP, 2012.

Año	Nº de Plantas	Capacidad individual promedio (tn soja/planta.día)	Procesamiento conjunto (tn soja/año)
2007/08	45	24	320.000
2010	200	30	1.800.000
2011	400	35	4.200.000

do por sobre las harinas obtenidas mediante extracción por métodos químicos, que contienen trazas de solvente en niveles no aceptables para ese propósito Bargale et al., 1999.

Este rápido incremento en el número de plantas de extrusado que muestra la Tabla 2 tiene que ver con varios aspectos. Por un lado, este tipo de industrias tienen una serie de ventajas que las hacen aptas para su implementación en pequeña escala por parte de acopiadores, cooperativas, productores individuales o asociados, etc., ya que tienen bajos requerimientos de inversión inicial, siendo además de manejo y operatoria relativamente simple. En general, las plantas de extrusión-prensado tienen una escala de procesamiento de entre 24 y 48 tn/día, pero mediante el agregado de módulos permite la ampliación de la capacidad productiva, lo que le da flexibilidad en la capacidad de procesamiento (Castellano y Goizueta, 2011a).

Otro punto de interés es el desarrollo local que producen estas plantas radicadas en pequeñas localidades del interior de las provincias (amplia distribución geográfica) y la generación de empleo en un amplio territorio (6 a 8 empleos directos por planta), en comparación con el sector de extracción de aceite por solvente que está geográficamente muy concentrado. Además ofrece la alternativa para el sector transformador en carnes de disponer de una fuente proteica de alta calidad muy cercana a las explotaciones.

Cabe mencionar que una parte del total de las plantas se agrupan en tres cámaras del sector, a saber: CABIOCOR (Cámara de Biocombustibles de Córdoba), CANAPA (Cámara Nacional de PyMEs Aceiteras) y CIDEP (Cámara Industrial de Extrusado Prensado de la provincia de Santa Fé).

### Proceso de extrusado-prensado

El proceso de extrusado consiste en someter a un producto (en este caso el poroto de soja) a una alta presión por un período breve de tiempo, lo que genera altas temperaturas por fricción (idealmente alrededor de 130-135 °C), sin fuentes de calor externas o adicionales. El proceso puede comenzar con el acondicionamiento del poroto de soja que incluye inicialmente una limpieza para sacar materias extrañas (chauchas, piedras, chamico, etc.). También puede secarse el grano, normalmente a temperaturas de alrededor de 80-90 °C, para bajarle la humedad hasta un 9-10 %. Esto tiene el objetivo principal de uniformar el material entrante para minimizar los ajustes que necesite la línea de producción en función de la humedad del poroto para alcanzar la temperatura deseada. Se estima que por arriba de 10% de humedad del poroto, cada 1% de humedad extra, si no se corrige el flujo por la extrusora, la temperatura alcanzada disminuye en 10 °C. En algunas ocasiones puede calentarse hasta 60-70°C fundamentalmente para mejorar el proceso de extracción y bajar el consumo eléctrico de la extrusora, aunque dependiendo del tiempo de exposición a esta temperatura también se puede bajar algo el contenido de humedad. Asimismo puede quebrarse el poroto, acción que también persigue el objetivo de aumentar la eficiencia del proceso. Además, entre el molino quebrador y la extrusora puede adicionarse un sistema de aspiración de cáscaras, dado que, al quebrarse la semilla gran parte de la cáscara se separa. Como la cáscara posee un contenido de proteína de 10-12 %, muy inferior al resto del poroto, este paso puede ser particularmente importante cuando se quiere obtener un expeller “descascarado” de mayor tenor proteico.

Cabe aclarar que estas acciones de acondicionamiento previo no son imprescindibles para el proceso,

sino optativas. El extrusado propiamente dicho, fase principal del proceso, comienza cuando el poroto ingresa al tornillo extrusor. En ese momento recibe una alta presión (40 Atm) por un período corto de tiempo (20-30 seg) y se genera una alta temperatura (que puede ir desde 110-115 hasta 145-150 °C), lo que produce una modificación de la estructura de los componentes químicos del poroto. Esta modificación favorece la extracción del aceite, además de “desactivar” la soja, tema que se tratará más adelante. El extrusor genera una pasta semilíquida caliente que es conducida a la/s prensa/s por medio de un sinfín. Al salir del extrusor, este material se descomprime y pasa súbitamente a presión atmosférica, lo que provoca la evaporación de agua y la rotura de las celdas que contienen el aceite.

La separación de la fase sólida (expeller) de la líquida (aceite) se produce en la prensa mediante un sistema de tornillo sinfín. Una vez hecho el prensado, el expeller puede pasar a un enfriador con flujo de aire para bajarle rápidamente la temperatura antes del almacenamiento. En el caso de la fase líquida, puede pasar por un “borrero” para eliminar la borra (subproducto del prensado). Luego el aceite puede ir al “decantador” (centrifugado previo agregado de agua y calentado) para eliminar gomas y otras impurezas. En otros casos, el aceite pasa directamente a tanques en los que se produce la decantación por gravedad donde permanece un lapso de tiempo antes de pasar a los tanques de acopio (PRECOP, 2012).

Las denominadas “gomas” son compuestos fosfátidos (derivados del fósforo) presentes en el aceite en una proporción de alrededor del 2%. Su presencia en el aceite es indeseable ya que generan enranciamiento y oxidación. Para su comercialización, un aceite se considera “desgomado” cuando tiene menos de 200 partes por millón de fósforo.

Como se dijo, estas plantas, además del aceite, generan un subproducto de excelente calidad para la alimentación animal. Según la reglamentación argentina (SAGPyA, 1999) todos los residuos sólidos resultantes de la extracción industrial del aceite de granos oleaginosos son considerados “subproductos oleaginosos”, tanto los obtenidos por presión solamente (denominados “expellers”), como aquellos obtenidos por presión y solvente (denominados “harinas”).

El expeller de soja prácticamente no es utilizado para consumo humano directo, sino que es transformado en producto animal (carne, leche, huevo). Por

esa razón, los principales compradores del expeller son plantas de alimentos balanceados, productores porcinos, avícolas, tamberos, y ganaderos. Muchos de estos compradores son pequeños y medianos consumidores de expeller, en general ubicados relativamente cerca de las plantas de extrusado. Con respecto al destino del aceite, la mayor parte es comercializada a pequeñas y medianas plantas elaboradoras de biodiesel. Otro destino de menor importancia es la venta a refinerías para consumo humano, y eventualmente para uso industrial y/o agrícola (Massigoge y col; 2013). También, dadas las excelentes cualidades nutricionales de la proteína de la soja obtenida a partir del proceso de extrusado-prensado, algunas de estas empresas están trabajando en obtener harinas micronizadas y texturizadas para consumo humano que son utilizadas para panificación y extensiones cárnicas. Otros proyectos en proceso tienen como objetivo producir concentrados proteicos.

### **Valor nutricional del expeller de soja**

Tanto el expeller como la harina de soja son concentrados de alto valor nutritivo ya que representan una importante fuente de proteína, y sobre todo de aminoácidos esenciales para la alimentación animal. Sin embargo, existen algunas diferencias nutricionales entre ellos que deben tenerse en cuenta al diseñar una ración para producción animal. En primer lugar, el expeller cuenta con un mayor contenido de aceite remanente (8 a 9 % base seca) que la harina (0,5 a 2,0 % b.s.). Los aceites remanentes de la extracción son ricos energéticamente y por ello tienen un gran valor nutricional, pero si el remanente es muy elevado, por ejemplo mayor a 9 %, además de evidenciar una baja eficiencia de extracción, pueden provocar rancidez más rápidamente que en un material con menor contenido de aceite. Es por esto que durante el proceso de extracción se debería controlar permanentemente el remanente de aceite en el expeller resultante. En segundo lugar, evidencias preliminares mostrarían una diferencia en la digestibilidad de la proteína y un mayor contenido de aminoácidos esenciales (como lisina) en favor del expeller (Gallardo, 2005; Latimori y col., 2013). Este comentario sólo se incluye a título informativo, pero no es el objetivo del presente trabajo profundizar en el tema.

El poroto de soja crudo contiene factores antinu-



tricionales que inhiben las enzimas del aparato digestivo de los monogástricos y rumiantes jóvenes (como por ejemplo, a la tripsina del páncreas, enzima fundamental para la digestión). Estos factores son termolábiles y se destruyen o inhiben por calor. Como ya se mencionó, el extrusado es un proceso en el cual se muele el poroto y se lo somete a una fuerte fricción que aumenta su temperatura generando una pre-cocción que provoca la destrucción de factores antinutricionales termolábiles. Es por esto que la temperatura máxima alcanzada y el tiempo de exposición a dicha temperatura es determinante para la calidad final del producto. Si la temperatura en el extrusor es demasiado baja (menor a 120-125 °C) no se alcanzará el punto de desactivación de los compuestos antinutricionales. En el otro extremo, si la temperatura es excesiva (mayor a 145-150 °C) se corre el riesgo de “quemar” las proteínas disminuyendo su digestibilidad y destruyendo aminoácidos.

Existen distintas formas de evaluar el grado de desactivación de la soja. Una es la Norma IRAM 5608, método químico que se basa en que el poroto de soja contiene una enzima llamada ureasa que cuando está activa puede hidrolizar a la urea convirtiéndola en amoníaco, lo que provoca un incremento en el pH. A través de la diferencia entre el pH antes y después del agregado de urea a una muestra de expeller, se puede saber si la ureasa ha sido desactivada, y si así fue, se asume que el resto de las enzimas antinutricionales también lo fueron.

También existe un método colorimétrico que es muy práctico, y sólo requiere del contacto de la muestra de expeller con un compuesto químico llamado rojo fenol. El grado de tinción de la muestra de color rojo permite estimar en forma rápida si la muestra está desactivada por simple observación visual y comparación con una escala de colores (a mayor tinción, menor grado de desactivación). No se obtienen valores absolutos de actividad ureásica, por ello no es tan exacta como la técnica química. De cualquier manera, por su rapidez y practicidad esta técnica está siendo muy utilizada por fabricantes de alimento balanceado, productores de expeller y desactivadores de soja (Cuniberti y col, 2012).

Se debe aclarar que algunos estudios (Azcona, 2010, 2013) sugieren que el método de desactivado de la soja afecta de diferente manera a la actividad de la ureasa y de las enzimas inhibitoras de la tripsina. Según estos trabajos, la actividad ureásica

como indicador indirecto de la presencia de inhibidores de la tripsina remanentes del proceso de desactivado no resulta del todo segura, dado que no se ha encontrado una correlación suficientemente alta entre el valor de actividad ureásica y el contenido de inhibidores de la tripsina activos, corriendo el riesgo de considerar como bien desactivadas a partidas de soja o sus subproductos que no han sido correctamente procesadas. Desde el punto de vista del mejoramiento genético el INTA ha comenzado a trabajar en el desarrollo de materiales de soja con bajo contenido de inhibidores de enzimas, aunque todavía no existen variedades disponibles.

### **Importancia de la materia prima**

Además del proceso industrial utilizado para la extracción del aceite, la calidad de la materia prima a procesar (poroto de soja) cumple un rol fundamental en la definición de la calidad del principal producto final (expeller). En la composición química del poroto influyen factores ambientales, genéticos y de manejo del cultivo. El rendimiento y la proteína se correlacionan inversamente, de manera que a menor rendimiento la proteína aumenta. Lo inverso ocurre con el aceite, ya que proteína y aceite se correlacionan negativamente. A su vez, la soja de primera tiene normalmente mayor contenido de aceite que la soja de segunda, y por el contrario, esta última tiene mayor contenido de proteína que la de primera. Es decir, a medida que se atrasa la fecha de siembra aumenta la proteína y disminuye el aceite. En general, los grupos de madurez más largos tienen mayor contenido de proteína y menor contenido de aceite que los grupos más cortos. La zona de producción también tiene gran influencia sobre los componentes del poroto de soja. Así es que en el norte de Argentina es de esperar mayores contenidos de aceite que en el sur, por efecto de altas temperaturas y la mayor radiación durante el llenado de grano. Si bien en Argentina existen variedades que se destacan genéticamente por su contenido en proteína y aceite, la genética solo explica el 13 % de la variabilidad total en el contenido de proteína y el 11 % en el de aceite (Cuniberti y col, 2012).

### **La tecnología NIRS para el análisis de calidad**

Las técnicas convencionales de laboratorio son ampliamente aceptadas y utilizadas para estimar la

calidad de agroalimentos, pero son costosas en términos de equipos, drogas y mano de obra, y demoran varias horas o días en generar los resultados. La tecnología NIRS es una técnica alternativa, y complementaria de estas técnicas convencionales, para el análisis de la composición química de compuestos orgánicos. Se basa en ciertas propiedades que tiene la materia orgánica para interactuar con la energía del espectro electromagnético. Cada molécula orgánica (proteína, grasa, fibra, almidón, etc.) tiene una estructura química particular y distintiva, y como consecuencia, el patrón de absorción de radiación infrarroja también es distinto para cada tipo de molécula. Cuando una muestra es iluminada con radiación infrarroja la proporción de energía que absorbe en distintas longitudes de onda está directamente relacionada a la composición química de esa muestra. Esa absorción puede ser medida, y es representada gráficamente como el espectro NIRS de esa muestra (Juan, 2011).

Esta tecnología tiene varias ventajas, a saber: las determinaciones son muy rápidas (desde algunos segundos a unos pocos minutos por muestra), se pueden medir varios parámetros (humedad, proteína, fibra, grasa, etc.) simultáneamente, es un méto-

do no destructivo de la muestra, y no utiliza reactivos químicos contaminantes. No obstante, también tiene sus requerimientos y limitaciones. En primer lugar, precisa de un equipamiento específico, cuyo costo varía en función de las características. Además, se necesitan colecciones de muestras representativas de cada producto a analizar, con sus correspondientes datos de análisis por laboratorio convencional. Estos son utilizados como referencia para poder desarrollar, previo al uso en rutina, modelos matemáticos (llamados “calibraciones”) que relacionan la absorción NIRS de las muestras con su composición química.

## OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo fue conocer la variabilidad en la calidad de la materia prima procesada y del expeller producido por la industria del extrusado-prensado de soja en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe. Además, en base a información relevada mediante encuestas se hizo una breve caracterización de los principales aspectos productivos de dichas plantas.

---

# Materiales y Métodos

Para cumplir con los objetivos planteados, se consultó a técnicos de INTA y a otros informantes calificados (Cámaras de la industria aceitera, fábricas de alimentos balanceados, productores de cerdos y aves, vendedores de equipos de extrusión, laboratorios de análisis de forrajes, etc.) con el fin de detectar la localización de las plantas. Asimismo, se consultaron otras fuentes de información secundaria (revistas, páginas web, etc.). Con esa información, durante los años 2012, 2013 y 2014 se recorrió el territorio para visitar las plantas de extrusado-prensado para explicar las características del presente trabajo y solicitarles el aporte de muestras representativas, tanto de la soja utilizada como materia prima como del expeller producido, y que respondieran a una encuesta breve a fin de caracterizar las plantas y a esta industria en general.

## Obtención de muestras

En aquellas plantas que accedieron a participar del estudio se le explicó al operario la metodología de muestreo (según un protocolo previamente definido), la cual consistía en tomar durante 10 días, una muestra diaria de expeller de aproximadamente 500 g a la salida de la prensa, con su correspondiente muestra del poroto de soja que fue utilizado como materia prima. A cada muestra se la dejaba enfriar, y se la almacenaba en bolsa plástica rotulada con número de muestra y fecha. Además, se registraba la temperatura máxima alcanzada en el último tercio del extrusor y la humedad del poroto al entrar al proceso, lo que se volcaba en una planilla. Al finalizar el período de muestreo se disponía de 20 muestras de cada planta (10 de soja y 10 de expeller). Las plantas involucradas se identificaron con un número código, asegurando la confidencialidad durante el análisis y difusión de los resultados. En el presente trabajo no

se tomaron muestras de aceite para análisis.

No se muestrearon plantas de extrusión de otros productos distintos de soja (plantas de alimentos para mascotas, industrias alimentarias, etc.) aunque incluyan a la misma en mezcla, ni tampoco plantas procesadoras de soja mediante otros procesos (desactivado por vapor, prensado y solvente, etc.).

## Análisis de calidad con métodos convencionales y con tecnología NIRS

En total se recogieron alrededor de 550 muestras de poroto y 650 muestras de expeller. Todas las muestras fueron remitidas al Laboratorio de Calidad de Forrajes y Alimentos de la EEA Anguil del INTA (La Pampa). Allí las muestras de poroto entero fueron analizadas con tecnología NIRS, utilizando calibraciones locales ya disponibles. Las muestras de expeller fueron molidas a 1 mm. Con el fin de generar calibraciones para utilizar la tecnología NIRS para analizar el expeller, el espectro de absorción de radiación visible e infrarroja cercana de cada muestra molida a 1 mm se recogió con un equipo FOSS NIRSystems 6500, en modo reflectancia, en el rango 400-2500 nanómetros, utilizando cubetas portamuestras rectangulares de 27 cm<sup>2</sup>. La lectura de cada muestra por duplicado demandó aproximadamente 5 minutos. Mediante análisis de Componentes Principales se eligieron entre 200 y 300 muestras representativas que fueron sometidas a los siguientes análisis utilizando técnicas convencionales de laboratorio: humedad (HUM, %, estufa 105 °C durante 4 h), proteína bruta (PB, % base seca, nitrógeno x 6,25, método Kjeldahl), extracto etéreo (EE, % b.s., método Soxhlet), cenizas (% b.s., calcinado a 600 °C), Solubilidad de la PB en OHK (SolPB, % de PB total, método Araba & Dale, 1990, 1990b), y actividad ureásica (AU, en unidades de pH, método

IRAM 5608).

En base a los datos de laboratorio y los espectros NIRS se desarrollaron modelos de predicción (calibraciones) para cada parámetro utilizando Cuadrados Mínimos Parciales Modificados. Las muestras aberrantes (“outliers”) fueron descartadas. Las calibraciones se basan en datos base tal cual, pero la determinación simultánea del % HUM de cada muestra permite expresar los resultados en base seca. El único parámetro para el cual no se logró una calibración precisa para estimarlo fue Actividad Ureásica. Para el resto de los parámetros se eligieron las mejores calibraciones en base a estadísticos como SEC (error estándar de calibración), SECV (error estándar de validación cruzada),  $R^2$  (coeficiente de determinación laboratorio-NIRS) y RPD (relación entre el rango del conjunto de muestras y el SEC). No se presentan los resultados detallados del desarrollo de estas calibraciones por exceder el ámbito de la presente publicación. Con las calibraciones logradas se pudo analizar con tecnología NIRS la totalidad de las muestras de expeller.

### **Análisis estadístico**

Para describir los procesos de extrusión-prensado y las características de la materia prima utilizada (poroto de soja) y del producto obtenido (expeller) se calculó el promedio, desvío estándar, y mínimo y máximo para cada parámetro evaluado, generando gráficos de barras. La posible interrelación entre parámetros se describió calculando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la ecuación de regresión lineal. Sólo en algunos casos puntuales se analizaron los datos discriminados por provincia. Parámetros como % Extracción de aceite y Eficiencia en extracción de aceite se calcularon a partir del contenido de aceite del expeller y del poroto que le dio origen. Para la comparación entre plantas, y entre fechas de muestreo dentro de una misma planta, se calculó promedio, desvío estándar, coeficiente de variación, y valores mínimo y máximo, lo que permitió conocer la variabilidad general e individual registrada para varios parámetros de interés.

---

# Resultados y Discusión

De las plantas detectadas y contactadas en las distintas provincias, 62 accedieron a participar de este estudio contestando la encuesta y llevando a cabo los muestreos de soja. De las encuestas se desprenden los datos que permiten caracterizar el estado de la industria en el período 2012-2014. Asimismo, en algunos puntos se agrega información más actual tomada de un nuevo estudio que se está llevando a cabo en 2015-2016 (datos preliminares, no publicados).

## Breve caracterización de las plantas de extrusión-prensado

### • Capacidad de molienda:

El promedio de todas las plantas era de 36 ton/día. El 33% de las plantas contaba con una capacidad de molienda instalada de hasta 25 ton/día, en el 50% la capacidad de molienda iba de 25 a 50 ton/día, y sólo el 17% molía más de 50 ton/día. Ninguna de las plantas relevadas superaba las 100 ton/día.

Para 2015 se habría incrementado esa capacidad individual de molienda, y el promedio por planta habría ascendido a alrededor de 43 ton/día.

### • Origen y Distancia de compra del poroto:

Sólo el 10% de la soja que se procesa en el sector es de producción propia, el 90% se compra a terceros. De ese volumen de compra el 85 % se adquiere en un radio menor a los 100 Km de la planta de proceso y sólo el 15 % a una distancia mayor. En el caso de la provincia de Santa Fe este comportamiento es diferente a la media del sector, siendo un 30% el volumen de soja propia que se procesa.

### • Tratamiento del poroto previo al proceso de extrusado-prensado:

**Limpieza:** Solamente el 30% de las plantas cuenta con algún sistema de limpieza. Este aspecto tiene una relación directa con la calidad de los productos finales obtenidos, principalmente en lo referente al expeller. Es muy importante hacer una correcta limpieza del poroto previo al procesado ya que los cuerpos extraños, tierra, piedras y demás residuos vegetales presentes con el grano de soja, además de perjudicar la calidad del producto, trae aparejado una disminución de la vida útil de los equipos debido al desgaste extra que producen las impurezas.

**Secado:** El 35 % de las plantas acondicionaba el poroto unificando su humedad por medio de secadoras. Esto permite una mayor eficiencia en el proceso ya que se trabaja siempre a la misma humedad, mejorando el rendimiento industrial (mayor extracción), estandarizando el proceso y la calidad de expeller. En la provincia de Bs.As. el 55% de las plantas contaba con secadora, proporción muy superior a la media del sector.

Este aspecto ha mejorado mucho en los últimos años, principalmente en Córdoba y Santa Fé, y en la actualidad el 80 % de las plantas poseen secadora en sus instalaciones.

**Partido:** Sólo el 20% de las plantas realiza partido del poroto previo al extrusado. Esto responde en gran medida a la marca y/o tecnología del equipamiento, ya que algunos proveedores incluyen el partido como un acondicionamiento esencial y otros sugieren el ingreso del poroto entero a la extrusora. Según los proveedores de equipos que incluyen el partido, éste puede aumentar el rendimiento del extrusor, o bien mantenerlo, pero disminuyendo el consumo energético.

**Descascarado del Poroto:** Sólo el 3% de las plan-

tas descascara el poroto. Este proceso permite un aumento directo en la concentración de proteína del expeller de hasta 2 puntos, ya que la cáscara, que representa entre el 9 y el 11% del grano, tiene un contenido de proteína de no más de 10-12%.

Lograr un expeller con un elevado % de proteína es muy deseable desde el punto de vista nutricional. Ahora bien, desde el punto de vista del industrial esta práctica sólo se realizaría si el mercado estuviera dispuesto a pagar esta mejora en la calidad, ya que el valor al que se comercializa la cáscara no incluida en el expeller es muy inferior al precio de éste.

**Calentamiento:** Al momento del relevamiento era una tecnología incipiente en el sector, y sólo el 8% de las plantas la realizaban. Consiste en calentar el poroto con aire caliente, llevándolo a 60°-70° C, previo a su entrada a la extrusora. Esto permite una disminución en el consumo energético, aumentando a su vez la capacidad de trabajo.

Actualmente la adopción de esta práctica ha aumentado, llegando a un 18% de las plantas para el caso de Santa Fe y Córdoba.

- **Análisis de calidad del poroto:**

La totalidad de las plantas adquieren mercadería según los parámetros establecidos en la Norma de Clasificación para la Comercialización de Soja de la Bolsa de Comercio de Rosario, principalmente % humedad y limpieza. Sólo un 5 % de las plantas, la mayoría localizadas en la provincia de Bs.As., analizaban proteína y aceite para decidir la compra.

También esta práctica ha ido en aumento, y en 2015 el 30% de las plantas de Santa Fe y Córdoba analiza la calidad del poroto de soja antes de adquirirlo.

- **Análisis de calidad del expeller:**

El 100% de las plantas realiza algún tipo de análisis, pero si analizamos la frecuencia encontramos que sólo el 10 % de las plantas lo realiza de manera semanal, el 80 % mensual y el 10% restante con una frecuencia mayor al mes. Cabe aclarar que la mayoría de los entrevistados manifestaron la importancia de tener un laboratorio propio o bien poder realizar análisis tercerizados a un menor costo, lo que les permitiría poder ajustar más el proceso y por ende mejorar y estabilizar la calidad del expeller. Los prin-

cipales parámetros que se miden son: humedad, extracto etéreo, proteína bruta, actividad ureásica, cenizas, y en ocasiones la solubilidad de la proteína en hidróxido de potasio.

En el caso de la actividad ureásica, más del 90 % de las plantas realiza la prueba del rojo fenol, que es una medición indirecta. En la mayoría de las plantas se mide de manera diaria y en muchas la frecuencia es horaria. Esto permite saber de manera rápida y sencilla con bastante exactitud la eficiencia del tratamiento térmico y, por ende, el grado de desactivado logrado.

- **Mercado del expeller:**

Menos del 5 % se exporta como mezcla, principalmente a Chile, y el resto se comercializa en el mercado interno. Los principales destinos son tambos (35 %), criaderos de cerdos (20 %), feedlots (15 %), avícolas (10 %), fábricas de balanceados (8 %) y consumo propio (12 % restante). En el caso de Santa Fe el 30 % del expeller va a consumo propio de los mismos dueños de las plantas. En Buenos Aires, el 30 % va a plantas de alimentos balanceados que en general pertenecen a los mismos dueños de las aceiteras y forman parte de una nueva unidad de negocio Integrada.

- **Análisis de calidad del aceite y desgomado:**

El desgomado del aceite es una práctica que realizan el 100% de las plantas. El 90% lo hace mediante agregado de agua caliente y decantación, y sólo un 10% lo hace por decantación y centrifugado. La tecnología de centrifugado está presente en aquellas plantas donde la unidad de molienda está por encima de la media. Este proceso mejora el desgomado comparado con la decantación tradicional, logrando niveles inferiores a las 40 ppm de fosfolípidos en el aceite. La mayoría de las plantas realiza análisis de la calidad del aceite que elaboran, en general no tienen problemas y logran un aceite crudo desgomado de muy buena calidad.

- **Mercado del Aceite:**

El destino del aceite varía mucho de una provincia a otra. En La Pampa se vende en su mayoría a plantas productoras de biodiesel, en Santa Fe este destino también es importante, sumado a refineras

que producen aceite comestible, y a su uso como coadyuvante en la formulación de productos fitosanitarios. En el caso de Córdoba una parte termina en la exportación, y el resto se vende a intermediarios y refinerías.

### Calidad de la materia prima

Los resultados del análisis de calidad del poroto de soja utilizado como materia prima se presentan en los Gráficos 1 a 3.

Como se puede observar, el contenido de proteína promedio de la soja procesada fue del 39,3 % base seca, superior a los valores de 38,3, 37,1 y 37,2 % reportados por el INTA Marcos Juárez en la zona núcleo sojera para las campañas 2011/12, 2012/13 y 2013/14 (Cunibert y col., 2012, 2013, 2014). Con res-

pecto al contenido de materia grasa, se obtuvo un valor medio de 21,2 % base seca, inferior a los valores de 22,2, 22,1 y 21,7 % reportados para esas mismas campañas. Estas diferencias podrían deberse a que en el relevamiento de plantas extrusoras se incluyeron, además de la zona núcleo, otras zonas sojeras del país, que posiblemente tuvieron menores rendimientos pero mayor tenor proteico, y/o a que las aceiteras pudieron haber hecho alguna selección por calidad al momento de comprar materia prima para procesar eligiendo, por ejemplo, los lotes de mayor proteína.

En promedio, la soja se procesó con un 10,3 % de humedad, pero se puede observar una amplia variabilidad en este aspecto, con máximo y mínimo distanciados casi 10 puntos (14,8 y 5,7 %, respectivamente). Esto podría estar relacionado con el hecho

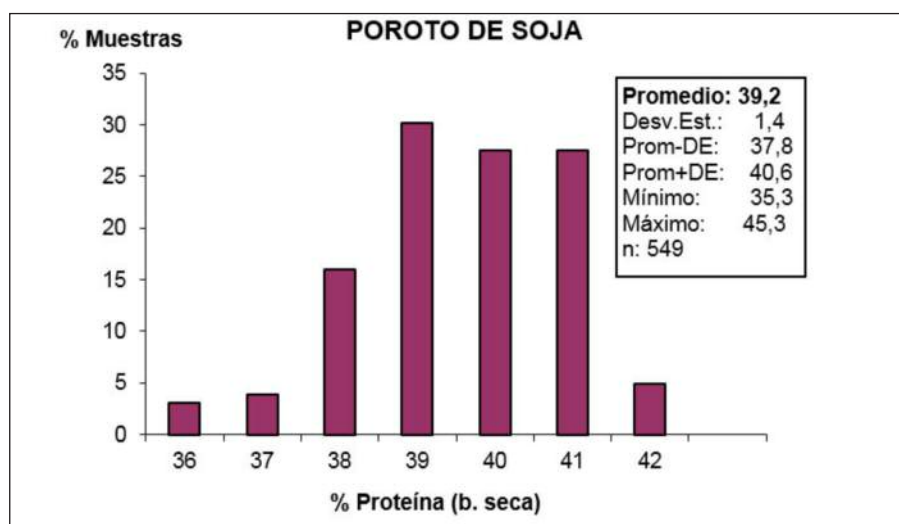


Gráfico 1. Contenido de proteína del poroto de soja procesado en plantas de extrusión-prensado en Argentina.

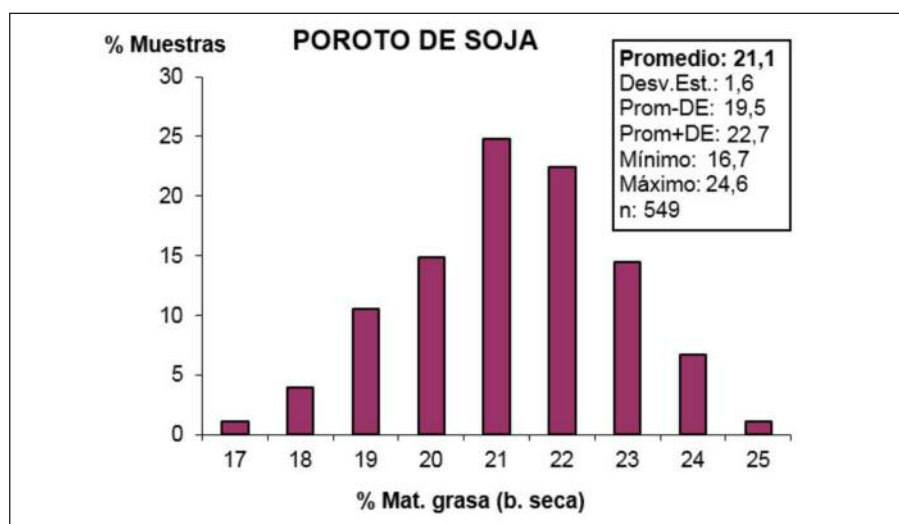


Gráfico 2. Contenido de materia grasa del poroto de soja procesado en plantas de extrusión-prensado en Argentina.

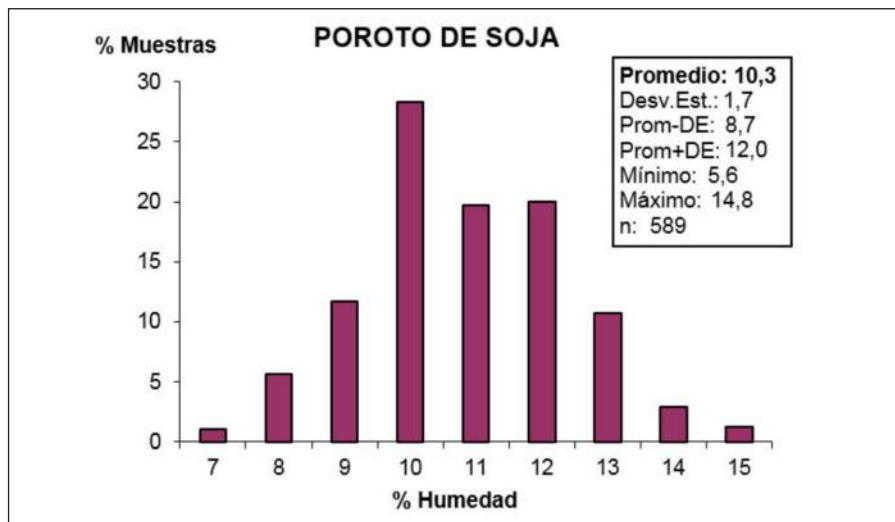


Gráfico 3. Contenido de humedad del poroto de soja procesado en plantas de extrusión-prensado en Argentina.

que hay plantas que procesan la soja tal cual la reciben (aunque esté algo húmeda), mientras que otras la acondicionan, bajándole la humedad con secadoras antes de procesarla.

### Calidad del producto expeller

Los análisis de las muestras mostraron como resultado expellers muy distintos en cuanto a su contenido de humedad, proteína, aceite, proteína soluble, cenizas y actividad ureásica (Gráficos 4 a 9).

La proteína de las muestras de expeller varió entre un máximo de 48,4 % y un mínimo de 37,4 %, con un promedio de 43,5 %, en todos los casos en base seca. Este valor medio es inferior al reportado como normal (45-46 %) por Gallardo (2005), y también inferior en un punto al valor que la reglamentación vigente (SAGPyA, 1999) pone como base para la

comercialización de expeller, que es del 44,5 % base seca (equivalente al 39,0 % base tal cual que indica la Norma, si se asume un contenido de humedad igual al máximo permitido, que es de 12,5 %). De acuerdo a un trabajo del INTI (López, 2012), en promedio el expeller producido estaría encuadrado en la 1ra categoría de calidad (proteína mayor o igual a 43 % b.s.) aunque, analizando los valores individuales, un 15 % de las muestras no alcanzarían siquiera el mínimo de proteína para entrar en la 2da categoría (41,0 % b.s.)

Como ya se dijo, el parámetro Solubilidad de la Proteína en OHK da una estimación del efecto de la temperatura que alcanzó el material extrusado. Valores de solubilidad proteica por debajo de 70-75% indican que el material sufrió un excesivo calentamiento y que una porción considerable de sus proteínas no estarán disponibles para el animal.

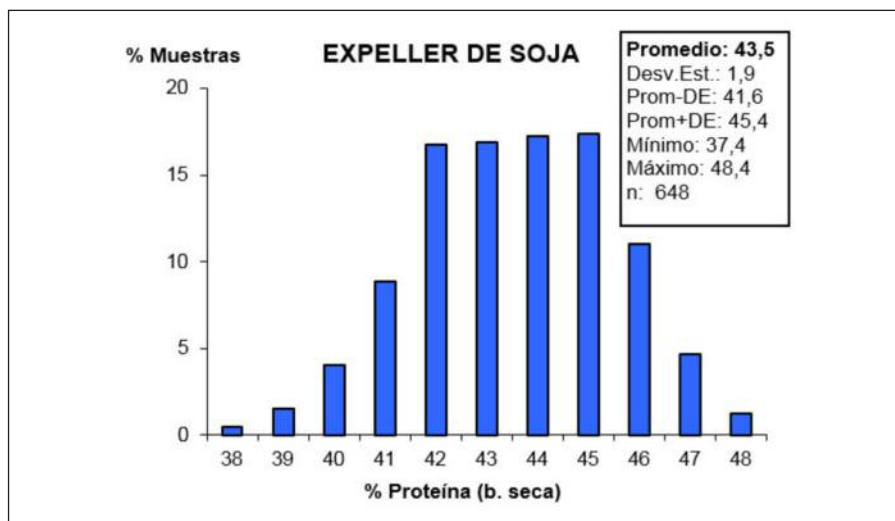


Gráfico 4. Contenido de proteína del expeller de soja producido por plantas de extrusión-prensado en Argentina.



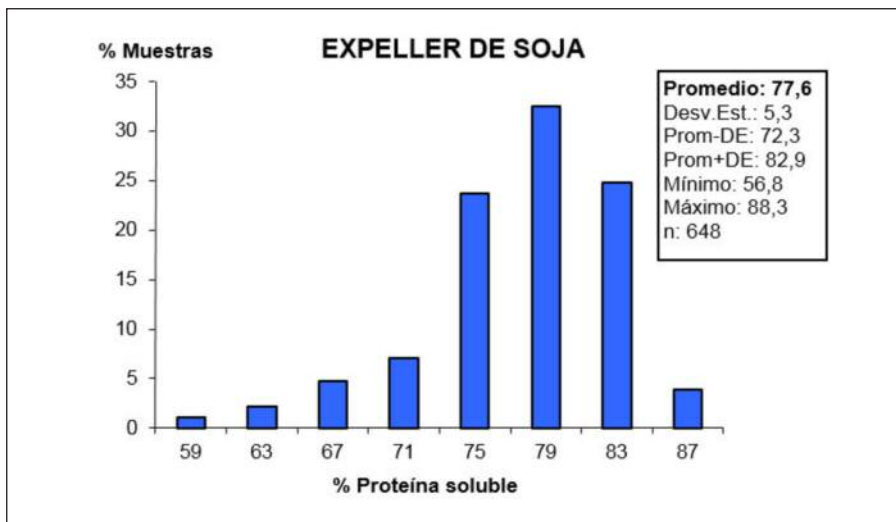


Gráfico 5. Contenido de proteína soluble en OHK del expeller de soja producido por plantas de extrusión- prensado en Argentina.

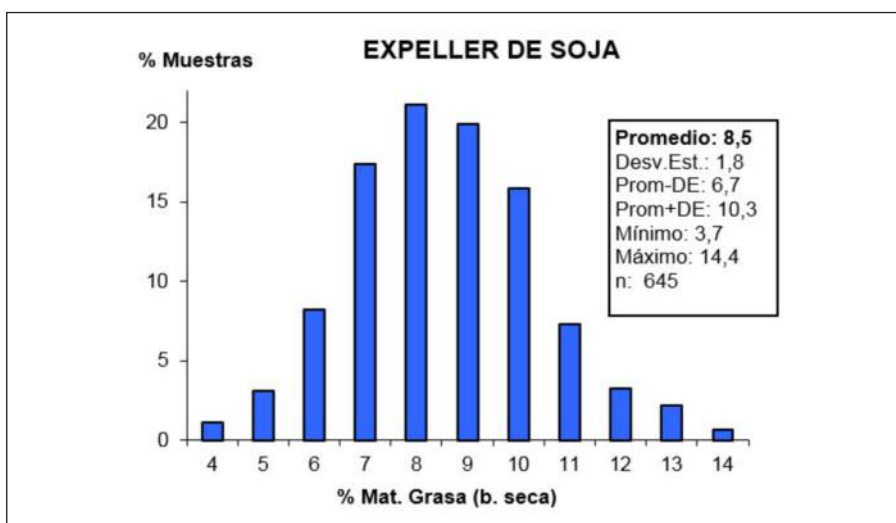


Gráfico 6. Contenido de materia grasa del expeller de soja producido por plantas de extrusión- prensado en Argentina.

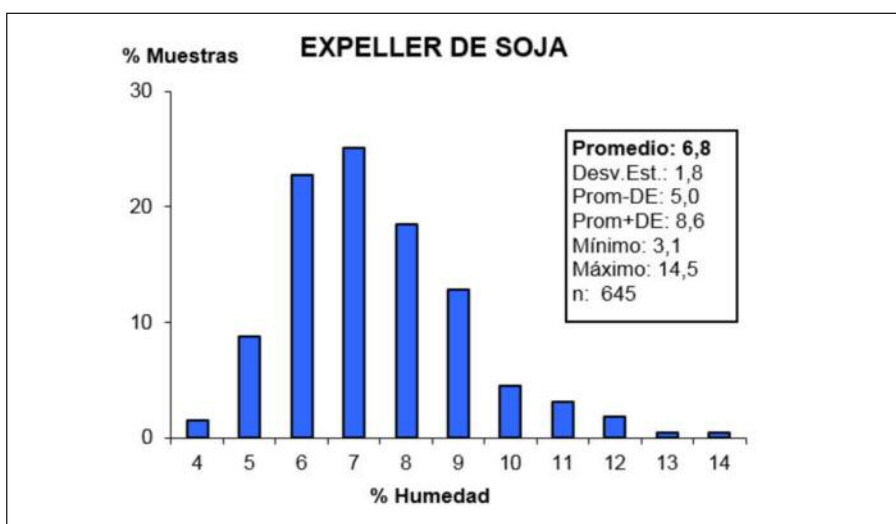


Gráfico 7. Contenido de humedad del expeller de soja producido por plantas de extrusión- prensado en Argentina.

Por el contrario, valores superiores a 80% indican que la temperatura alcanzada fue insuficiente y que existe un exceso de proteína fácilmente degradable. Además, puede estar indicando que los factores antinutricionales de la soja no fueron debidamente desactivados por el calor. En este estudio, un 11 % de las muestras no alcanzaron el 70% de solubilidad, y un 4 % superó el máximo de 85 %.

Con respecto al contenido de materia grasa (aceite) en el expeller, los valores mínimo y máximo encontrados en este relevamiento fueron de 3,7 y 14,4 % b.s., respectivamente, con un promedio para todas las muestras de 8,5 %. Este valor medio es inferior al límite máximo establecido como tolerancia de comercialización (SAGPyA, 1999) que es de 10,3 % base seca (equivalente al 9,0 % base tal cual que indica la Norma, con una humedad de 12,5 %). El valor promedio se encuentra dentro del rango reportado como normal (5,5 - 9,0 % bs) por Gallardo (2005), y el expeller promedio se ubicaría dentro de la 2da categoría (MG entre 8 y 9 %) según el trabajo del INTI (López, 2012). Analizando los valores individuales, un 14 % de las muestras presentaron tenores de aceite superiores a la tolerancia (10,3 % bs), por lo que recibirían descuentos en el precio o no serían aceptados.

La humedad promedio del expeller fue de 6,8 %. Este valor se ubica dentro de los rangos normales reportados por Gallardo (2005) y por Fox (2012), y sensiblemente por debajo del máximo de 12,5 % permitido para su comercialización (SAGPyA, 1999). La humedad del expeller fue en promedio 3,5 puntos menor a la del poroto. Esta diferencia se debe al

agua que se pierde por evaporación en el proceso, principalmente debida a la súbita descompresión que sufre el material al salir de la extrusora hacia la prensa. De esta manera se encontraron expellers con importantes variaciones en el contenido de humedad, que va desde 3,1 hasta 14,5 %. Cabe aclarar que la humedad del expeller muestreado a la salida de la prensa como en el caso de este trabajo (promedio 6,8 %) muchas veces no coincide con la humedad a la que se comercializa el producto (alrededor de 9 a 11 %). Esta diferencia es generalmente debida al agregado (por goteo, chorro o aspersión) de las gomas diluidas en agua durante o después del enfriamiento del expeller, y antes de su almacenaje.

En promedio el expeller cumple con la normativa en cuanto al contenido máximo de cenizas aceptable (6,5 % b.s.), aunque se detectó un 10 % de las muestras con valores superiores a ese límite. El contenido de cenizas en el expeller es un indicador del nivel de contaminación con tierra de la soja procesada, y de la eficacia o no de la limpieza que se le hace previo al extrusado.

Alrededor del 80 % de las muestras tuvieron valores de actividad ureásica por debajo o igual a 0,20 unidades de pH, valor mencionado como límite máximo de aceptable (SAGPyA, 1999). Esas muestras tendrían correctamente desactivados los factores antinutricionales que posee el poroto de soja crudo. De todos modos, el máximo propuesto por el INTI (López, 2012) para expeller de 1ra categoría, y que coincide con los requerimientos de la exportación, es más estricto (0,10 UpH), lo que dejaría afue-

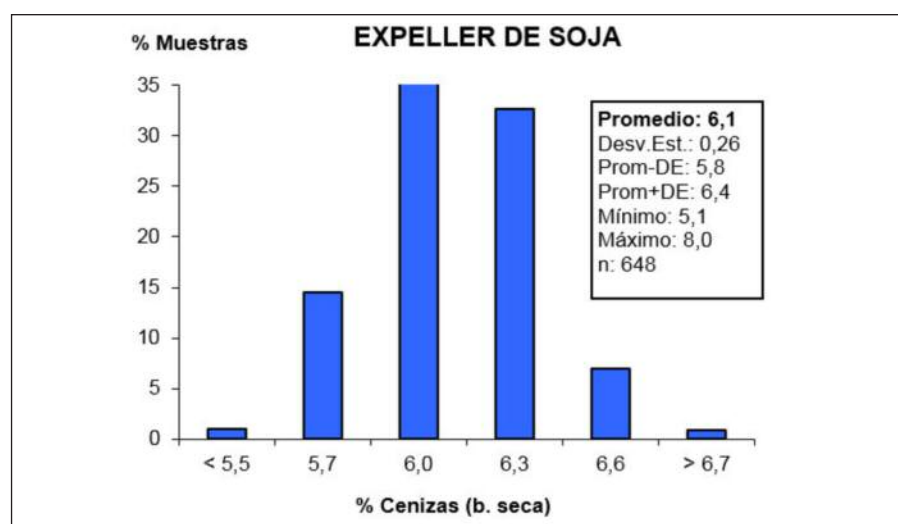


Gráfico 8. Contenido de cenizas del expeller de soja producido por plantas de extrusión- prensado en Argentina.

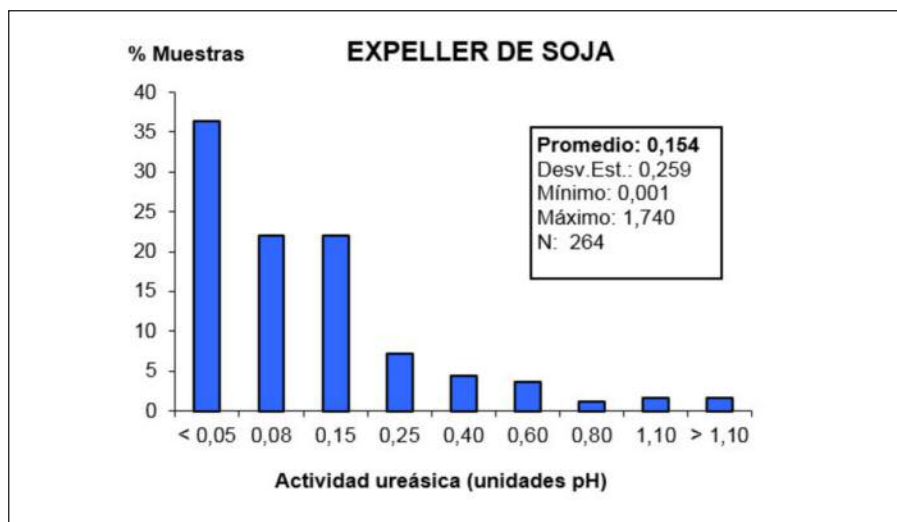


Gráfico 9. Actividad ureásica del expeller de soja producido por plantas de extrusión-prensado en Argentina.

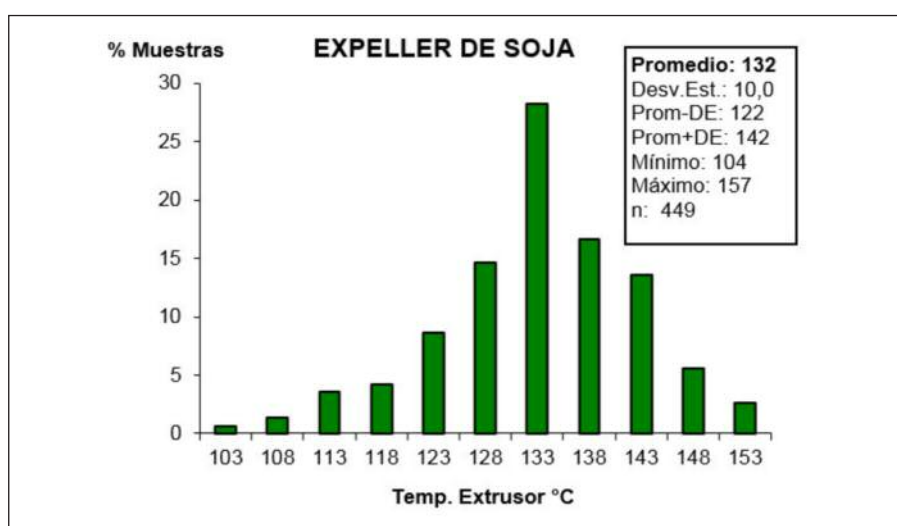


Gráfico 10. Temperatura que alcanza el extrusor en el último tercio en plantas de extrusión-prensado de soja de Argentina.

ra a aproximadamente un 40 % de las muestras.

La **temperatura** máxima (que se logra en el último tercio de la extrusora) durante el proceso fue en promedio de 132 °C, pero con una considerable variación (desde un mínimo de 103 hasta un máximo de 157 °C). En general el responsable de planta controla la temperatura para que no sea demasiado baja (sería insuficiente la desactivación de la soja) o demasiado alta (que pueda dañar la proteína convirtiéndola en indigestible). La temperatura del extrusor puede modificarse manejando el tenor de humedad de la soja que ingresa, y/o regulando el caudal de ingreso de soja a la extrusora o el caudal de salida del material extrusado. La época del año también es un factor que condiciona de manera importante la temperatura alcanzada en el extrusor, ya que en verano en ocasiones ésta tiende a aumentar a valores no deseables y en invierno se hace difícil en

algunos casos lograr temperaturas mínimas que aseguren un buen desactivado del material. Además, los operadores coinciden en que la marca y modelo y el desgaste del extrusor influye en la temperatura alcanzada. Los datos presentados ponen en evidencia que no en todos los casos se logra la temperatura óptima.

La extracción de aceite promedio de todas las muestras fue de 12,7 puntos, lo que representa que del aceite que contenía la soja en promedio (21,1 %) se le extrajo el 60 % (eficiencia de extracción), y el resto quedó como remanente en el expeller. Posiblemente el aspecto más interesante que muestra el Gráfico 12 es que en alrededor de un tercio de las muestras se ha alcanzado una eficiencia superior al 70 %, lo que pone en evidencia la factibilidad de mejorar sensiblemente que tendría un buen número de plantas que están en niveles inferiores al 60% de

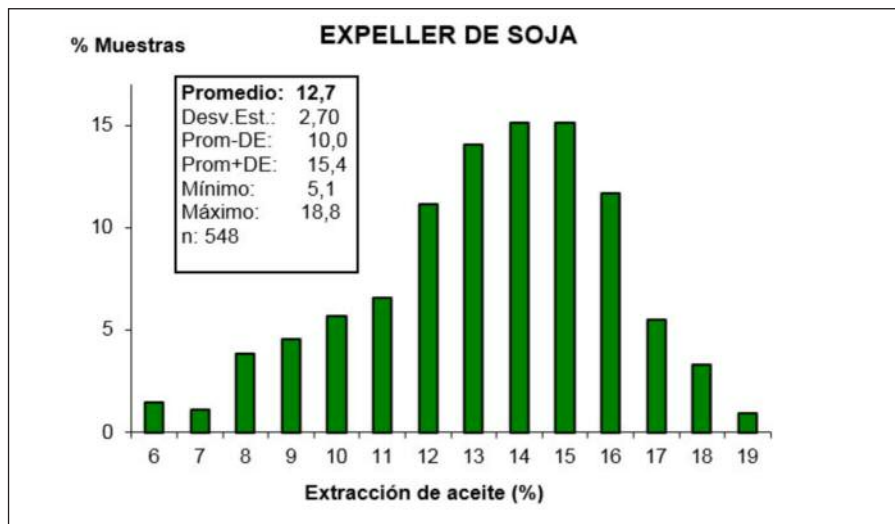


Gráfico 11. Extracción de aceite en plantas de extrusión-prensado de soja de Argentina.

% extracción= % aceite poroto - % aceite expeller

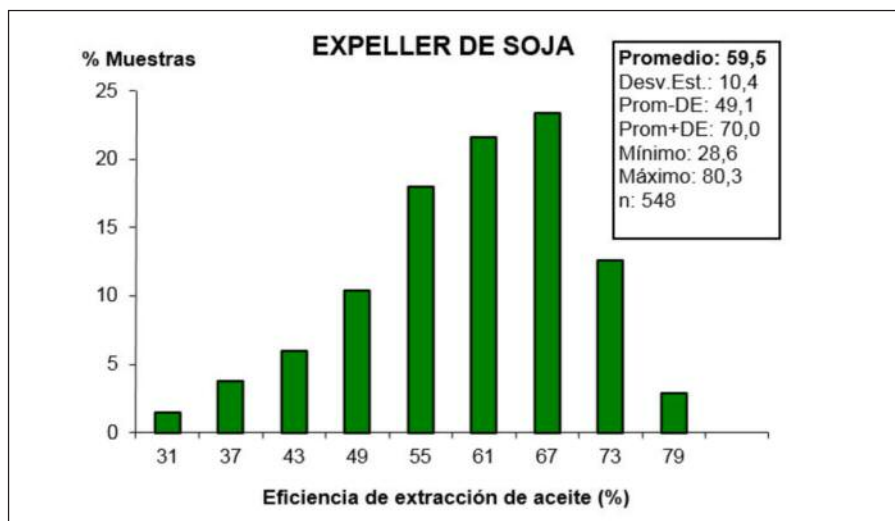


Gráfico 12. Eficiencia en la extracción de aceite en plantas de extrusión-prensado de soja de Argentina. % Eficiencia extracción= (% extracción/% aceite poroto) x 100

eficiencia de extracción.

El nivel de aceite remanente en el expeller tiene varias implicancias. Por un lado, tiene un fuerte impacto en la ecuación económica de estas empresas, dado el valor de mercado del aceite que se deja de extraer. Por otro lado, tiene importancia en la calidad del expeller, porque el exceso de aceite (concentraciones mayores a 10 % base seca) expone al material a una rápida rancidez y disminuyen las posibilidades de almacenamiento, sobre todo en las épocas más cálidas del año. Además, debido a los requerimientos de ciertas especies de animales (principalmente porcinos), y sobre todo de ciertas categorías, el contenido de aceite no puede superar determinado nivel en la ración, a riesgo de tener un efecto negativo.

### Variabilidad entre plantas de extrusión-prensado

Cuando se comparan los datos, ya no del total de muestras individuales, sino del expeller “promedio” que elabora cada planta relevada, también se observa una alta variabilidad entre plantas (Tabla 3). Las mayores variaciones se dan en el contenido de humedad (CV=22 %) y aceite del expeller (CV=20 %). También hay grandes diferencias en la extracción de aceite que cada planta logra, lo que da como resultante diferencias en la eficiencia de extracción.

Mientras una de las plantas presentó un contenido promedio de aceite remanente en expeller de sólo 4,3 %, otra tuvo un remanente promedio de 12,5 %. Este remanente está determinado en alguna medida por el contenido de aceite de la soja que le dio origen, pero fundamentalmente por la cantidad

Tabla 3. Variabilidad entre plantas de extrusión/prensado en el contenido de humedad, proteína y aceite de la soja y del expeller, la extracción de aceite y la eficiencia en la extracción de aceite (Dato de cada planta es promedio de 10 muestras tomadas en días diferentes).

	Soja			Expeller			Extracción de aceite (%)	Eficiencia de extracción de aceite (%)
	HUM (%)	PB (% bs)	MG (% bs)	HUM (%)	PB (% bs)	MG (% bs)		
Mínimo	7,5	37,6	18,5	4,3	40,1	4,3	6,9	37,0
Maximo	13,5	41,5	23,7	10,7	46,7	12,5	17	77,2
<b>CV (%)</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>16</b>
n	57	57	57	62	62	62	57	57

HUM: humedad, PB: proteína bruta, MG: materia grasa, bs: base seca  
 CV: Coeficiente de Variación (Desvío Estándar relativo a la media, en %)  
 Mínimo: valor mínimo entre los promedios de las plantas.  
 Maximo: valor máximo entre los promedios de las plantas.  
 n: número de plantas relevadas

o proporción de aceite extraído durante el proceso. En ese sentido, mientras hubo plantas que extrajeron 17,0 puntos porcentuales de aceite (con una eficiencia de extracción del 77,2 %), otras extrajeron sólo 6,9 puntos de aceite (lo que representó una eficiencia del 37,0 %).

Con respecto a la materia prima que procesan las plantas existe una variación considerable en la humedad de la soja (CV= 16 %) que ingresa a la extrusión. Por el contrario, el contenido de aceite (CV= 7 %) y fundamentalmente el de proteína (CV= 3 %) del poroto son parámetros relativamente estables.

#### Variabilidad dentro de una misma planta de extrusión-prensado

Más allá de la variabilidad detectada entre las diferentes plantas para los parámetros estudiados, en muchos casos también se detectó una alta varia-

bilidad dentro de una misma planta a lo largo de los 10 días de muestreo. Así como existen plantas con un producto muy uniforme en el tiempo (bajos valores de CV), hubo otras con altos valores de CV que mostraron que pueden mejorar significativamente en ese aspecto (Tabla 4).

Por ejemplo, para el caso de la humedad de la soja el CV promedio de todas las plantas fue de 5,3 %, pero mientras que una planta arrojó un CV de 2,1 % en sus 10 muestras (muy estable), otra dio un valor de 17,3 % (muy inestable), y así para cada parámetro.

En promedio la mayor variabilidad entre muestras de una misma planta se registra en los siguientes parámetros: humedad del expeller (CV= 11,6 %), contenido de aceite del expeller (CV= 9,7 %), % extracción de aceite (CV= 8,9 %) y eficiencia de extracción de aceite (CV= 7,1 %). En cambio, el contenido de proteína de la soja procesada es relativa-

Tabla 4: Coeficiente de variación promedio, mínimo y máximo entre las 10 muestras tomadas en cada planta de extrusión-prensado para diferentes parámetros.

	Soja			Expeller			Extracción de aceite (%)	Eficiencia de extracción de aceite (%)
	HUM (%)	PB (% bs)	MG (% bs)	HUM (%)	PB (% bs)	MG (% bs)		
<b>CV Promedio</b>	5,3	2,0	3,4	11,6	2,0	9,7	8,9	7,1
<b>CV Mínimo</b>	2,1	0,7	0,9	1,6	0,6	3,3	2,8	1,8
<b>CV Maximo</b>	17,3	5,6	6,3	38,8	7,6	25,1	20,9	18,9

HUM: humedad, PB: proteína bruta, MG: materia grasa, bs: base seca  
 CV: Coeficiente de Variación (Desvío Estándar Relativo a la media, en %)

Tabla 5. Composición del expeller de soja y eficiencia de extracción de aceite en dos plantas de extrusado-prensado de diferente variabilidad.

Día de Muestreo	Planta de alta variabilidad			Planta de baja variabilidad		
	PB (% bs)	MG (% bs)	Eficiencia Extracción de Aceite (%)	PB (% bs)	MG (% bs)	Eficiencia Extracción de Aceite (%)
1	42,2	5,2	73,1	47,6	3,7	80,3
2	39,0	9,3	45,8	47,4	4,2	77,5
3	42,8	5,5	69,2	46,2	4,7	75,7
4	42,5	5,7	69,1	48,4	4,3	78,7
5	40,1	8,1	58,3	47,0	4,1	76,6
6	46,7	6,4	69,2	46,9	4,2	78,4
7	47,8	5,1	75,2	46,1	4,3	77,3
8	47,4	5,0	75,6	45,3	4,7	75,4
9	40,5	8,6	55,4	46,0	4,8	73,9
10	40,1	8,6	56,3	46,1	4,1	78,3
<b>Promedio</b>	<b>42,9</b>	<b>6,7</b>	<b>64,7</b>	<b>46,7</b>	<b>4,3</b>	<b>77,2</b>
<b>CV (%)</b>	<b>7,6</b>	<b>25,3</b>	<b>15,6</b>	<b>1,9</b>	<b>7,9</b>	<b>2,4</b>

PB: proteína bruta, MG: materia grasa, bs: base seca

CV: Coeficiente de Variación (Desvío Estándar Relativo a la media, en %)

mente estable (CV= 2,0 %), al igual que su contenido de aceite (CV= 3,4 %). Esto indicaría que algunas plantas deberían mejorar significativamente su proceso productivo para ofrecer un producto más homogéneo entre diferentes partidas. La Tabla 5 muestra los datos recogidos en una planta de alta variabilidad, y en otra planta mucho más estable en el tiempo.

### Relaciones entre los parámetros estudiados

#### • Efecto de la temperatura del extrusor

No se observaron correlaciones significativas entre la temperatura alcanzada en el extrusor y el contenido de aceite remanente en el expeller (Gráfico 13), o la eficiencia de extracción de aceite (Gráfico 14). Los resultados coinciden con observaciones empíricas de los encargados de varias de las plantas relevadas, quienes afirman que una alta temperatura final de extrusión no necesariamente mejora la extracción. Sí coinciden en que el precalentado de la soja hasta 60-80 °C previo al ingreso a la extrusora favorece la acción de ésta de rompi-

miento de los tejidos y de liberación del aceite contenido en ellos, lo que a su vez mejora la eficiencia de extracción de las prensas. Algunas plantas cuentan con tecnología para precalentar la soja, y otras plantas que poseen secadora para estandarizar la humedad del poroto tratan de que éste ingrese al proceso inmediatamente después de secarlo, de esta forma la soja ingresa caliente al extrusor. Este efecto del precalentado del poroto no fue evaluado o cuantificado en el presente estudio. Está previsto que se disponga en un futuro cercano de una planta piloto de extracción-prensado en la provincia de Santa Fé, en la cual el tema de la temperatura podrá ser estudiado en detalle.

Con respecto a la relación entre la temperatura del extrusor y el desactivado de factores antinutricionales de la soja, el Gráfico 15 muestra que por arriba de 135 °C prácticamente la totalidad de las muestras presentaron baja Actividad Ureásica (AU), es decir, fueron correctamente desactivadas. Como se esperaba, por debajo de esa temperatura aparece un cierto número de muestras con altos valores de AU, indicio de potenciales problemas nutricionales. Llamativamente, varias de las muestras sometidas

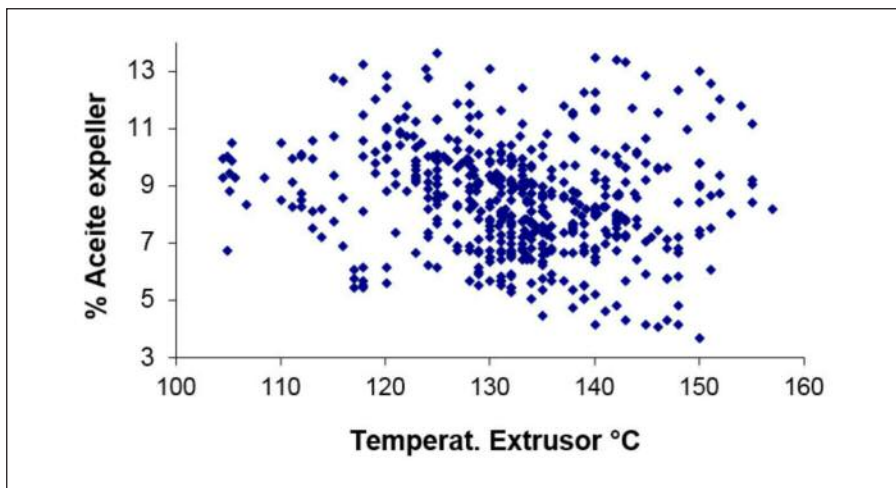


Gráfico 13. Relación entre temperatura del extrusor y % aceite del expeller de soja.

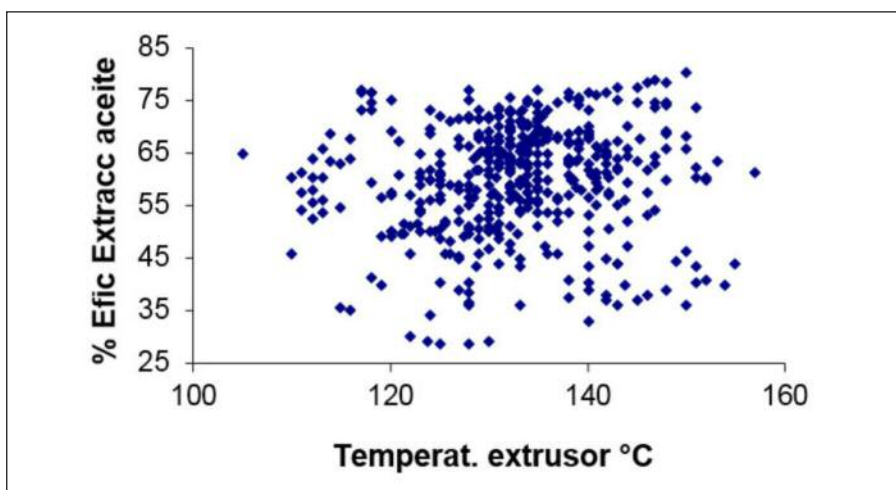


Gráfico 14. Relación entre temperatura del extrusor y eficiencia de extracción de aceite.

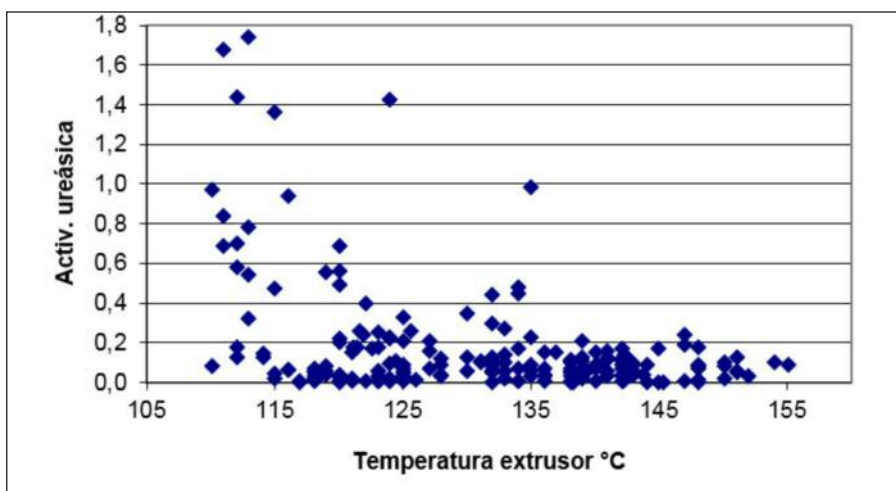


Gráfico 15. Relación entre la temperatura de extrusión y el nivel de actividad ureásica del expeller de soja.

das a temperaturas relativamente bajas (menos de 125 °C) estarían correctamente desactivadas, mostrando bajos valores de AU. Esta inconsistencia podría deberse en parte a diferencias entre plantas

en el funcionamiento de los termistores que miden la temperatura en el extrusor, o a la inexactitud de los mismos.

• *Efecto de la humedad del poroto*

Se esperaba encontrar una clara correlación negativa entre humedad del poroto y temperatura alcanzada en el extrusor, dada la dificultad para aumentar la temperatura que se observa cuando se trabaja con material con mayor humedad a la recomendada, que es de aproximadamente 10%. Los resultados indican que en la práctica esa relación negativa no ocurrió (Gráfico 16), posiblemente porque los encargados de planta monitorean la humedad del poroto que ingresa al proceso, y de acuerdo a ella regulan el flujo del material a través del extrusor, abriendo o cerrando el paso de salida hacia la prensa hasta alcanzar la temperatura deseada (a mayor humedad del poroto provocan un menor flujo por el extrusor > mayor presión > mayor fricción > mayor temperatura, y viceversa). En los casos en que no se realizara ningún ajuste en el extrusor cuando cambia la humedad del poroto, sí se daría la correlación negativa que se esperaba.

El Gráfico 17 muestra que podría haber un efecto

directo y e inverso de la humedad del poroto sobre la eficiencia del proceso de extracción. De hecho, los resultados de este estudio muestran que las plantas más eficientes trabajan siempre con poroto seco. La humedad del poroto influiría directamente sobre el proceso de rompimiento de tejidos y liberación de la materia grasa retenida en los adipocitos (la “cocción”), lo que facilita la posterior extracción por prensado, pero los datos recogidos en el presente estudio no nos permite confirmar esta hipótesis.

**Relaciones entre el contenido de proteína y aceite del poroto y del expeller, y la extracción de aceite**

Actualmente el objetivo principal de las empresas de extrusión-prensado es producir la mayor cantidad de aceite posible por cada tonelada de soja procesada. Otro objetivo podría ser el de maximizar el contenido de proteína del expeller que producen, aunque a este tema se le otorga una menor importancia por diversas razones, entre las que podemos citar que el tipo de cliente que demanda expeller

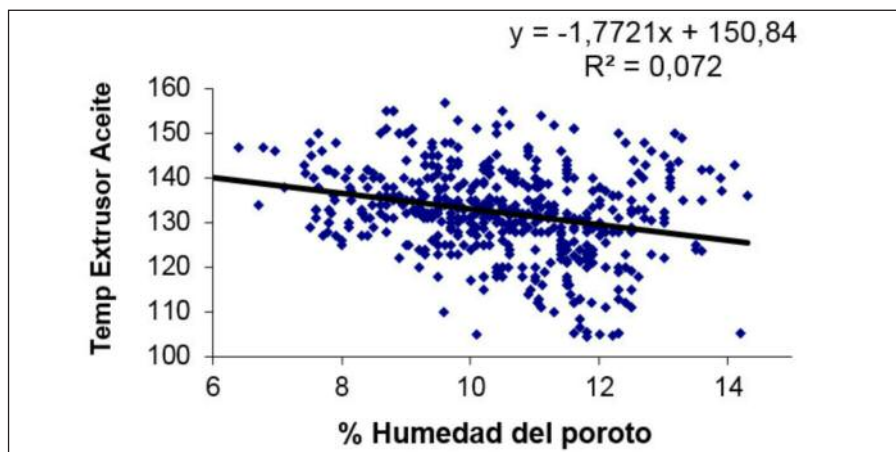


Gráfico 16. Relación entre % humedad del poroto y temperatura del extrusor.

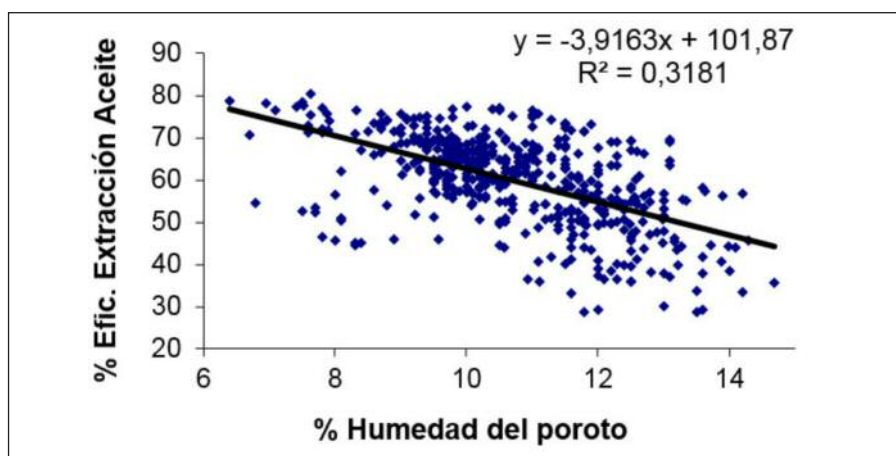


Gráfico 17. Relación entre % humedad del poroto y eficiencia de extracción de aceite.



estaría conforme con la relación precio/proteína, las plantas de extrusión-prensado no pretenden competir en el mercado de los concentrados proteicos “Hi Pro” dominado por las harinas de extracción por solvente, y tampoco están condicionadas por el cumplimiento de contratos de exportación con requerimientos estrictos de proteína. De todos modos, ambos objetivos son complementarios dado que el contenido de aceite y de proteína se encuentran en balance en el expeller, cuando uno aumenta el otro disminuye, y viceversa (Gráfico 18).

Se plantea entonces la pregunta de cuál sería la mejor estrategia para maximizar la producción de aceite de una planta. Una opción sería la compra de lotes de soja con contenido de aceite superior al promedio, decisión que implicaría llevar a cabo análisis de los lotes antes de comprar. La segunda vía para lograr el objetivo es incrementar la eficiencia en la extracción de aceite mediante ajustes en los procesos de planta. El Gráfico 19 nos muestra que aún procesando poroto de alta materia grasa se podría estar perdiendo mucho aceite como rema-

nente en el expeller si el proceso de extracción no es el adecuado.

Procesando poroto de alto aceite (>22,5 %) se puede lograr una buena producción de aceite por cada tonelada de soja (Gráfico 20), pero esa condición por sí sola no es suficiente para alcanzar una alta eficiencia en la extracción (Gráfico 21) si no se ajustan otros factores del proceso.

Por otro lado, si el objetivo principal de una planta fuera maximizar el contenido de proteína del expeller, una de las formas sería comprar poroto de alta proteína, basándose en el análisis de cada lote. De todos modos, el Gráfico 22 indica que esta condición es importante, pero no determinante del nivel de proteína final del expeller. Una alta eficiencia en la extracción de aceite sería también imprescindible para alcanzar un contenido de proteína superior, por ejemplo, al 45 % base seca (Gráfico 23), y posiblemente también se necesite implementar el descascarado del poroto previo al procesamiento para lograrlo.

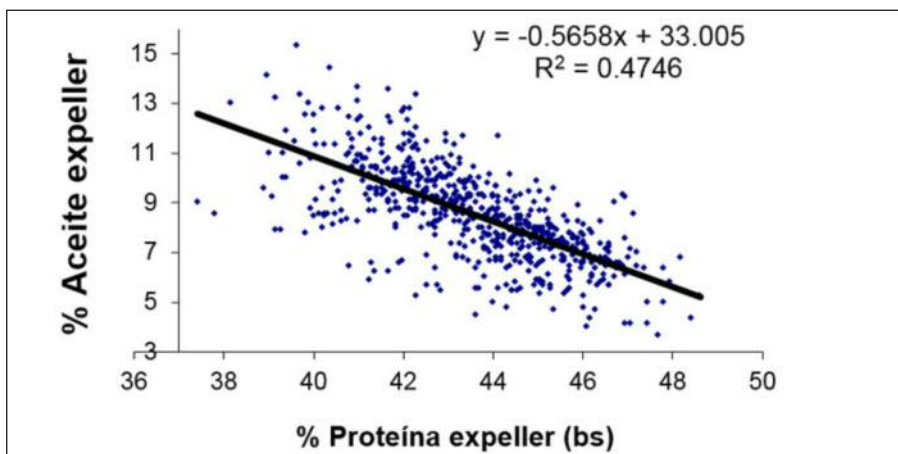


Gráfico 18. Relación entre % proteína y % aceite en expeller de soja.

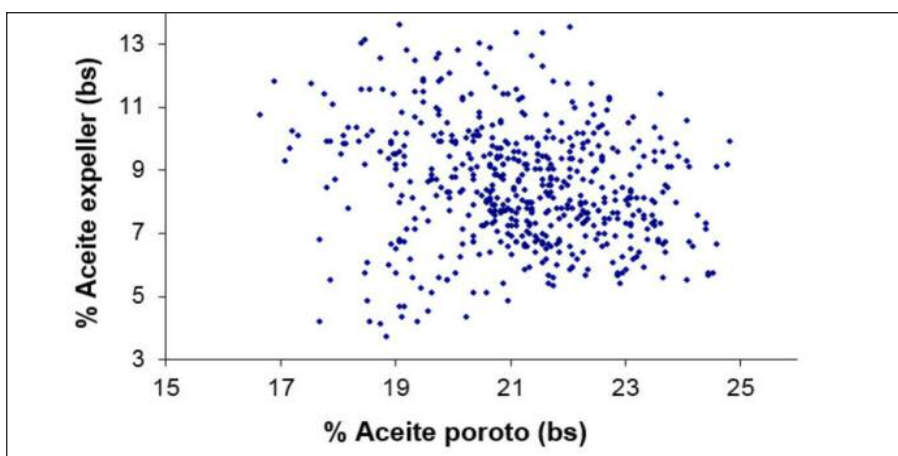


Gráfico 19. Relación entre % aceite del poroto y % aceite del expeller de soja.

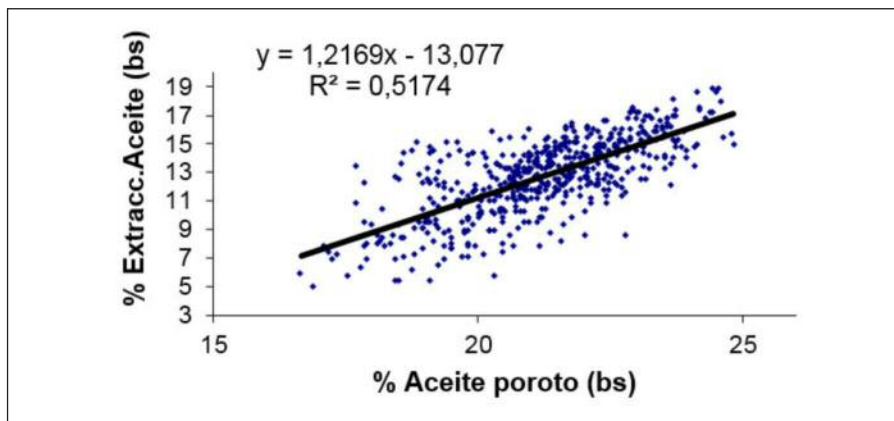


Gráfico 20. Relación entre % aceite del poroto y % extracción de aceite.

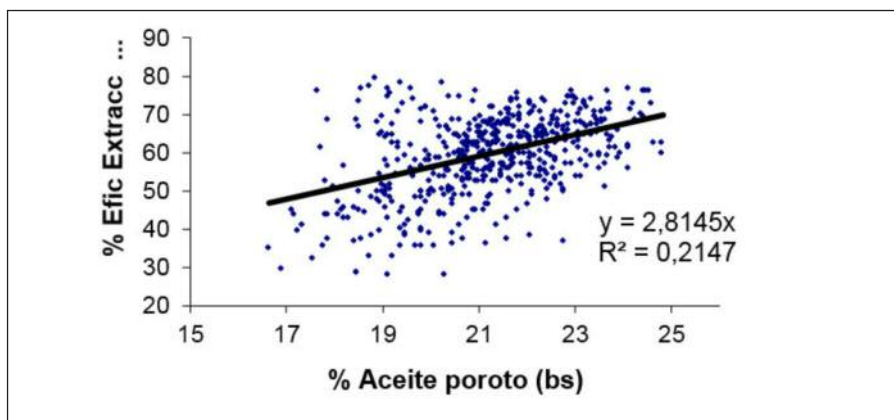


Gráfico 21. Relación entre % aceite del poroto y % eficiencia extracción aceite.

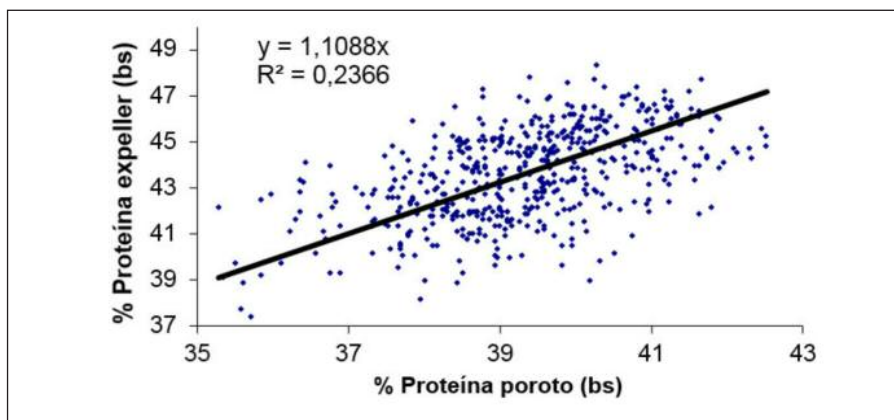


Gráfico 22. Relación entre % proteína del poroto y % proteína del expeller.

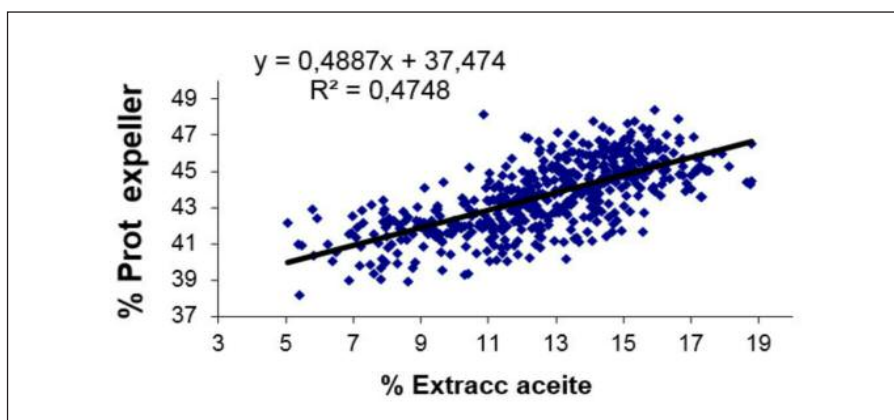


Gráfico 23. Relación entre % extracción de aceite y % proteína del expeller de soja.

## Conclusiones

La caracterización del sector de extrusado-prensado de soja realizada mediante encuestas reveló que en promedio procesaban 35 tn soja/día, aunque estudios recientes indican que esta capacidad ha tendido a incrementarse hasta alcanzar un promedio actual de 45 tn/día. La materia prima es de producción propia o se compra en las cercanías de las plantas. El expeller producido se vende en un radio de aproximadamente 100 km, y los principales clientes son, en orden de importancia: tambos, criaderos de cerdos, feedlots, avícolas, fábricas de balanceados y consumo propio. El aceite, ya desgomado, se vende a mayoristas y a plantas productoras de biodiesel.

El contenido promedio de proteína de la soja procesada por las plantas relevadas en este estudio (39,2 % b.s.) resultó algo superior al reportado por otros autores para la zona núcleo para las mismas campañas. A la inversa, el contenido promedio de aceite (21,1 % b.s.) fue levemente inferior al informado en los mismos trabajos. Las diferencias probablemente se deban a las distintas áreas geográficas que abarcan los respectivos estudios y/o a alguna selección por calidad de los lotes comprados para procesar.

Existe una importante variabilidad en la calidad del expeller producido por las plantas de extrusado-prensado de soja en Argentina. Esto se debe en parte a las diferencias de composición de la materia prima utilizada (contenido de humedad, proteína y materia grasa del poroto), pero principalmente a diferencias en el proceso productivo, lo que incluye el acondicionamiento del poroto (limpieza, calentado, partido, secado, descascarado), la marca y modelo del equipamiento, la regulación y el desgaste de las extrusoras y prensas, y la temperatura a la que es expuesta la materia prima durante el extrusado, entre otros aspectos.

La variabilidad se observa no sólo al comparar entre plantas, sino incluso dentro de una misma planta entre diferentes días de muestreo. Estas observaciones dan el indicio de que algunas empresas necesitarían mejorar significativamente su proceso productivo para ofrecer un producto más homogéneo a lo largo del tiempo.

El tenor proteico promedio del expeller (43,5 % b.s.) no llega a la base establecida por la reglamentación vigente de la ex SAGPyA (44,5 % b.s.), pero sí se encuadra en la 1ra categoría en la escala sugerida por el INTI (más de 43 % b.s.). El contenido promedio de aceite del expeller (8,5 % b.s.) está dentro del máximo aceptado por la reglamentación (10,3 % b.s.), y se encuadra en la 2da categoría en la escala del INTI (entre 8 y 9 % b.s.). Los datos del presente estudio indican que en general se está ofreciendo al mercado un producto de buena calidad, aunque se detectó una cierta proporción de muestras que no cumplían con los estándares oficiales de comercialización, ya sea por baja proteína, o por exceso de aceite. Además, en una proporción relativamente pequeña de las muestras los factores antinutricionales de la soja no habían sido correctamente desactivados durante el proceso.

Se hace evidente a partir de los resultados obtenidos que lograr una alta eficiencia en la extracción de aceite y producir un expeller de alta calidad nutricional no depende de un solo factor en particular, sino de múltiples aspectos que deben ser cuidados, desde el análisis y la elección de la materia prima a procesar, hasta el acondicionamiento previo del poroto y la puesta a punto y ajuste continuo de los procesos de extrusión y prensado. Existe aquí otra oportunidad para mejorar, especialmente en aquellas plantas cuya eficiencia de extracción está por debajo del 60%.

Una materia pendiente en esta industria es la

implementación de controles de calidad permanentes, tanto de la materia prima como de los productos generados. Esta práctica permitiría uniformar la calidad dentro de cada planta y si fuera posible entre distintas plantas, requisito fundamental principalmente para la exportación de volúmenes significativos. La tecnología de análisis NIRS (Espectroscopía en Infrarrojo Cercano), por su rapidez y bajo costo operativo, aparece como la herramienta más adecuada para implementar programas de control de calidad.

---

---

#### **Agradecimientos:**

A todos los técnicos de INTA que colaboraron brindando información sobre la localización de las plantas, como así también a otros informantes calificados. A los dueños, encargados y operarios de las plantas visitadas que colaboraron tomando las muestras según el protocolo.

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto Específico Nro. 1130022 “Procesos Productivos Agroindustriales para Agregar Valor en Origen en Forma Sustentable” del Programa Nacional de Agroindustria y Agregado de Valor del INTA.

# Bibliografía

- Araba, M. and Dale, N.M. 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing of soyeam meal. *Poultry Science* 69: 76-83
- Araba, M. and Dale, N.M. 1990(b). Evaluation of protein solubility as an indicator of underprocessing of soyeam meal. *Poultry Science* 89:1749-1752.
- Azcona, J.O.; Iglesias, B.F.; Morao L. y Charriere, M.V. 2010. Inhibidores de tripsina en complejo soja: Relevamiento. En Pasinato A, Santini F, Geraci J, editores. Jornadas proyecto nacional de nutrición animal. Buenos Aires: Ediciones INTA - GESyC; p. 81-88.
- Azcona, J.O.; Iglesias, B.F. y Charriere, M.V. 2013. Efecto del método de desactivado y contenido de inhibidores de tripsina sobre el desempeño de las aves. *Revista Agroindustria (CAENA) N° 123* pp 18-29.
- Bargale, P.C, Ford, R.J., Sosulski, F.W., Wulfsohn, D. and Irudayaraj, J. 1999. Mechanical oil expresión from extruded soybean samples. *Jour. Am. Oil Chem. Soc.* Vol. 76, no. 2, pp. 223-229
- Castellano, A. y Goizueta, M. 2011 (a). Agregado de valor en la cadena de la soja: alternativa de upgrading para productores primarios, in: 3er Congreso Regional de Economía Agraria, XVI Congreso de Economistas Agrarios de Chile y VLII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, 9-11 de Noviembre de 2011, Valdivia (Chile).
- Castellano, A. y Goizueta, M. 2011 (b). Agregado de Valor: Industrialización de Grano de Soja. Análisis Económico Financiero de Inversión en Planta de Extrusado y Prensado". Dirección Nacional de Derechos de Autor, Expediente N°948004, Género Científico. ISBN 978-987-679-037-6. INTA.
- Cuniberti, M. y Herrero; R; 2012. Calidad de la soja para el proceso de extrusado-prensado. Laboratorio de Calidad Industrial de Cereales y Oleaginosas de la EEA INTA Marcos Juárez. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/calidad/Calidad-Soja-Extrusion-Prensado.pdf>
- Cuniberti, M., Herrero; R; Mir, L; Berra, O. y Macagno, S. 2013. Rendimiento y Calidad comercial e industrial de la soja en la región núcleo sojera. Cosecha 2012-2013. Informe de Actualización Técnica N° 29, EEA Marcos Juárez, INTA, pág. 67-72
- Cuniberti, M. y Herrero; R; Mir, L; Berra, O y Macagno, S. 2014. Rendimiento y Calidad comercial e industrial de la soja en la región núcleo sojera. Cosecha 2013-2014. Informe de Actualización Técnica N° 32, EEA Marcos Juárez, INTA, pág.126-142. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_calidad\\_soja\\_1314b.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_calidad_soja_1314b.pdf)
- Fox, D.J. 2012. Industrias aceiteras procesadoras del grano de soja en la República Argentina. Trabajo final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/twesis/industrias-aceiteras-procesadoras-grano-soja.pdf>
- Gallardo, M. 2005. Soja: harinas de extracción para la alimentación del ganado. Un análisis de las cualidades nutricionales de los distintos tipos de acuerdo al método de extracción utilizado. EEA INTA Rafaela. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/SojaHarinasExtraccionAlimentacionGanado.asp>
- Juan, N.A. 2011. Herramientas para medición de la calidad de insumos y productos agroalimentarios: la tecnología NIRS Anales de Segunda Jornada de Capacitación sobre Valor Agregado en Origen, pág. 39-50.
- Latimori, N.J., Kloster, A.M. y Garis, M.H. 2013. Uso de expeller de soja como sustituto de la harina de soja en dietas de engorde de bovinos a corral. Información para Extensión N° 143. EEA Marcos Juárez, INTA.
- López, M.C. 2012. Parámetros de calidad de expeller de soja. INTI, Centro de Cereales y Oleaginosas, Parque Tecnológico Miguelete. Disponible en <http://www.inti.gob.ar/interlaboratorios/informes/2012>

- Massigoge, J.I.; Ochandío, D.C. y Juan, N. 2014. Industria de extrusado-prensado de soja en la mitad sur de la provincia de Buenos Aires. Boletín Técnico N° 40. Estación Experimental Agropecuaria Integrada Barrow, INTA-MAA.
  - Méndez, J.; Covacevich, M.; Capurro, J.; Bragachini, M; Casini, C. y Saavedra, A. (2010): “Procesamiento del Grano de Soja en la Provincia de Santa Fe mediante Extrusado y Prensado: una Alternativa para el Agregado de Valor en Origen”. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/agoindustrializacion/>
  - MinAgri. 2015. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Disponible en: <http://www.sii.gov.ar/series>
  - Oil World. 2015. <http://www.oilworld.biz/statistics>
  - PRECOP. 2012. Evolución del Sistema productivo agropecuario argentino. Actualización Técnica N° 73. INTA. Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/pdfs/EvolSistemaProdAgropArgentino2011.asp>
  - SAGPyA, 1999. Norma XIX: 317/99 (ex Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). Disponible en: <http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anejos/55000-59999/59599/norma.htm>
  - USDA. 2015 .United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. May 2015. Oilseeds: World Markets and Trade. Disponible en: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>
  - Whittle, E. and M. Araba. 1992. Sources of variability in the protein solubility assay for soybean meal. J. Appl. Poultry Res. 1:221-225
-