



# ¿Cómo afecta el secado de soja en la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado y en la calidad de la proteína?

Lograr una buena eficiencia en la extracción de aceite de soja resulta relevante para mejorar el resultado económico de las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) que procesan soja por medio del extrusado-prensado para obtener aceite y expeller de soja, cuyo principal destino es consumo animal. Sin embargo, en la Argentina existen numerosas PyMEs que procesan soja y su destino final es la obtención de un producto destinado a alimentación humana, como es el caso de los texturizados de soja. En este caso resulta importante conservar las propiedades funcionales, es decir la calidad de la proteína. Esto se debe a que las propiedades funcionales de las proteínas son las responsables de que estos productos tengan importantes aplicaciones tecnológicas en alimentos. El presente artículo presenta los resultados de dos experimentos desarrollados en la Tesis Doctoral de Gisele Maciel que fueron realizados para evaluar el efecto del tratamiento de secado del poroto de soja antes de su procesamiento por extrusado-prensado en la eficiencia de extracción de aceite y en la calidad de la proteína del expeller de soja.

**E**l proceso de extrusado-prensado se caracteriza por lograr en condiciones óptimas una eficiencia de extracción de aceite por encima del 70%. Sin embargo, en un relevamiento realizado anteriormente en diferentes plantas procesadoras de Argentina se encontró que la eficiencia de extracción oscila alrededor del 60%, sustancialmente inferior. A partir de esto se planteó la hipótesis de que la causa principal de la baja eficiencia podría ser la falta de control de la humedad de la soja procesada.

Normalmente la soja se procesa con un rango de humedades muy variable, entre 9,3% y 16,2% en base seca [de aquí en más se hará mención a valores de humedad en base seca]. De manera general los fabricantes de

equipos de extrusado-prensado recomiendan procesar soja con una humedad entre 11 y 12%. Sin embargo, esta es una recomendación empírica ya que no hay datos publicados al respecto. Además, la humedad típica de cosecha y comercialización de soja en Argentina es de 15,6% (13,5% en base húmeda), por lo que la soja debe secarse artificialmente para poder optimizar la eficiencia de extracción de aceite.

Por otro lado, el uso de la proteína de soja en la formulación de alimentos es cada vez más extensiva debido a su alto valor nutricional, a sus propiedades funcionales y por ser una alternativa a los productos de origen animal. En general, los tratamientos térmicos, incluido el secado, pueden producir desnaturalización y otras modifi-

**Gisele Maciel<sup>1</sup>, Ricardo Bartosik<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto para la Innovación Agropecuaria y el Desarrollo Sostenible (INTA Balcarce-CONICET)



caciones estructurales en las proteínas de soja que pueden evaluarse a través del índice de dispersabilidad de proteínas (PDI). Existen numerosos estudios donde se evalúa el efecto del tratamiento térmico en la desactivación de los factores anti nutricionales e incluso el efecto del secado sobre la germinación de la semilla, mientras que previo a este trabajo, solo un estudio evaluó el efecto del secado en el PDI.

Dado que el tratamiento de secado puede generar importantes daños en la proteína, resultó necesario encontrar un equilibrio entre la temperatura a la que se puede operar una secadora para maximizar su eficiencia y capacidad, pero sin afectar la calidad de la proteína de soja. Por esta razón los objetivos de este trabajo fueron: 1)

estudiar el efecto de la humedad la semilla de soja en la eficiencia de extracción de aceite a través del método de extrusado-prensado en condiciones de escala real; y 2) evaluar el efecto del tratamiento de secado de soja sobre la calidad de la proteína, cuantificada como PDI.

## METODOLOGÍA

### *Experimento 1*

Se realizaron diferentes tratamientos de secado en una planta de extrusado-prensado ubicada en la localidad de Balcarce. Se utilizó una secadora de caballetes con una capacidad de 17 t de soja (Avello, 15T, Argentina), con un caudal de aire de  $40 \text{ m}^3 (\text{min t})^{-1}$  y con un quemador de biodiesel como fuente de calor. Las condiciones climáticas durante estos experimentos fueron típicas para la temporada de secado de soja en el lugar (mayo a julio). Tres lotes de soja con una humedad inicial entre 15 y 17% se utilizaron para rea-



lizar el secado a  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta alcanzar tres humedades finales diferentes (9, 10 y 11%). La humedad final de secado fue chequeada utilizando un medidor de humedad portátil (Tesma, Plus 2, Argentina). Al finalizar cada tratamiento de secado, se tomó una muestra a la salida de la secadora que fue utilizada para determinar la humedad de los granos individuales. Después de lograr cada nivel de

humedad deseado la secadora se apagó y el lote permaneció en la máquina hasta el día siguiente, donde se transfirió a un silo donde permaneció por 24-48 h para su estabilización antes de ser procesada. Además, un lote adicional de soja con una humedad de 16% se consideró como lote control, ya que se procesó sin realizar un tratamiento de secado.

La soja seca y estabilizada se procesó por extrusado-prensado utilizando una extrusora (YPHS138 Extruder, Anyang General International, China) con una capacidad de 0,8 t h<sup>-1</sup> y dos prensas (OIL PRES ZX-130H, Anyang General International, China) con una capacidad de 0,4 t h<sup>-1</sup> cada una. Cada lote de soja se procesó durante tres días consecutivos.

### Experimento 2

Se realizó el secado de dos lotes de soja con la misma secadora a dos temperaturas diferentes (80 y 115 °C, siendo estas las temperaturas mínima y máxima a las que se puede regular la secadora) hasta una humedad final de 9%. La temperatura alcanzada por el grano durante el secado se midió cada 10 min tomando 1 kg de muestra a la salida de la secadora en marcha, colocándola en un recipiente térmico con tapa e insertando en la misma un termómetro de alcohol. La lectura se registró después de 5 min de estabilización. La misma muestra fue utilizada para medir humedad con un humidímetro portátil y determinar la finalización del tratamiento.

### Muestreo y acondicionamiento de soja y expeller de soja

Se recogieron pares de muestras de soja y expeller durante tres días consecutivos de procesamiento. Se recolectó aproximadamente 1 kg de muestra de soja en el ingreso a la extrusora en doble bolsa hermética y se colocaron 60 granos de soja (sin daños visibles) en tubos Eppendorf y se cerraron herméticamente para determinar la humedad de cada grano individual. Las muestras del expeller (5 kg) se recogieron a la salida de la prensa y se colocaron en una bolsa de rafia que luego fue colocada en doble bolsa hermética. Este procedimiento se repitió 4 veces en cada fecha de muestreo con una frecuencia de 15-20 min para hacer una muestra compuesta tanto del grano como del subproducto. Los pares de muestras compuestas fueron inmediatamente llevados al Laboratorio de poscosecha de granos de INTA Balcarce, para su procesamiento. Todas las muestras fueron acondicionadas de acuerdo con lo establecido por la Norma XIX (SAGPyA, 1999).

### Determinaciones realizadas

La composición de las muestras de soja y expeller fue analizada por

**Tabla 1** | Composición del expeller de soja y eficiencia de extracción de aceite para tratamientos de secado hasta diferentes humedades finales en una secadora a escala real a temperatura de 115 °C

Humedad soja (% b.s.)	Tiempo de secado (h)	Composición del expeller de soja			EfEx (%)
		Humedad (% b.s.)	Proteína (% b.s.)	Aceite (% b.s.)	
9,1	04:15	3,9 ± 0,28 <sup>a</sup>	43,4 ± 0,37 <sup>a</sup>	6,9 ± 0,32 <sup>a</sup>	66,2 ± 1,24 <sup>a</sup>
9,7	04:00	4,1 ± 0,60 <sup>a</sup>	41,4 ± 1,38 <sup>b</sup>	7,2 ± 0,92 <sup>a</sup>	64,9 ± 4,71 <sup>a</sup>
10,1	02:15	4,8 ± 0,22 <sup>b</sup>	41,3 ± 0,14 <sup>b</sup>	8,6 ± 0,14 <sup>b</sup>	58,0 ± 0,79 <sup>b</sup>
16,2	Control	9,4 ± 0,46 <sup>c</sup>	38,6 ± 0,25 <sup>c</sup>	14,5 ± 0,23 <sup>c</sup>	25,5 ± 1,73 <sup>c</sup>

Nota: % b.s. es el porcentaje expresado en base seca, EfEx es la eficiencia de extracción de aceite y ± es la desviación estándar. Dentro de una columna, las medias con letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05)

NIRS (FOSS, NIRSystems 6500, Dinamarca) y se estimó la eficiencia de extracción de aceite a partir del contenido de aceite del poroto y del contenido de aceite residual en el expeller. La humedad de granos individuales se determinó mediante el método de estufa (esta se determina en granos individuales, mientras que la humedad que generalmente vemos reportada se determina sobre una muestra compuesta por muchos granos). El PDI de las muestras de soja fue determinado de acuerdo al método oficial AOCs (1993).

### Análisis de los resultados

Se utilizó la estadística descriptiva (medias, coeficiente de variación y desviación estándar), y se realizó el análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de los diferentes tratamientos (<0.05) con el paquete "emmens" del software estadístico RStudio (versión 2022.07.1). Las figuras fueron creadas con el software estadístico RStudio y Excel (Microsoft Office Professional Plus 2016).

## RESULTADOS y DISCUSIÓN

### Experimento 1

#### Efecto del tratamiento de secado a diferentes humedades de soja sobre la composición del expeller

Las humedades finales de los tres lotes de soja utilizados para los diferentes tratamientos de secado (diferente tiempo de exposición hasta alcanzar la humedad final deseada) fueron 9.1, 9.7, 10.9%, mientras que

la humedad del lote control fue 16,2%. No hubo diferencias significativas en la composición de los cuatro lotes de poroto de soja utilizados. El contenido promedio de proteína y aceite de la semilla de soja fueron 37,8% (±0,54) y 20,2% (±0,54), respectivamente.

Por otro lado, el procesamiento de soja con diferentes humedades afectó la composición del expeller. El incremento en la humedad del poroto generó una disminución en el contenido de proteína y un aumento en el contenido de aceite residual, como así también en la humedad del expeller como se muestra en la Tabla 1.

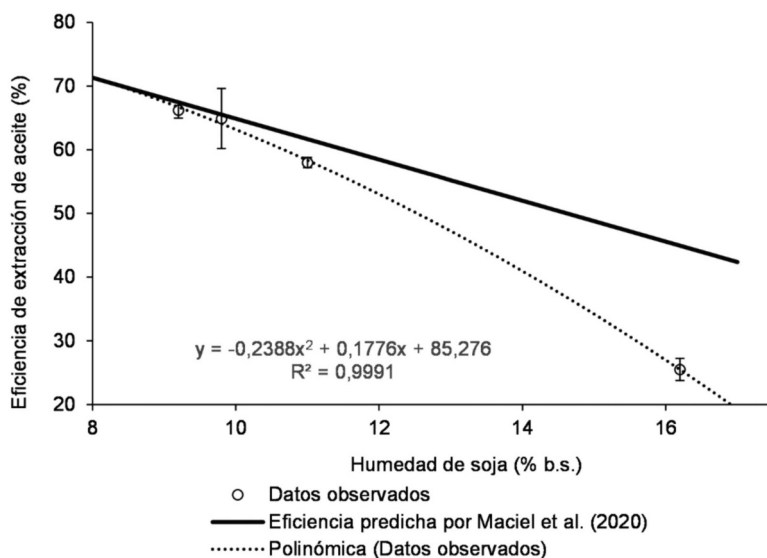
#### Efecto del tratamiento de secado a diferentes humedades de soja sobre la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado

El tratamiento de secado de soja afectó en líneas generales la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado, mostrando una clara tendencia de aumento en la eficiencia de extracción cuando el contenido de humedad de la soja procesada disminuye, como se muestra en la Figura 1 (círculos negros y línea negra punteada). De manera particular, el procesamiento de soja sin secado (16,2 % de humedad) resultó en una eficiencia de extracción muy baja, alcanzando valores de sólo un 25,5 %. Por otra parte, los lotes que presentaron un tratamiento de secado mostraron mayores eficiencias de extracción de aceite por extrusado-prensado. Los lotes con humedades de 10,9 y 9,7% alcanzaron valores de eficiencia de 58% y

64,9%, respectivamente. Esta diferencia en la eficiencia de extracción se debe a que la temperatura de extrusado y la humedad afectan las propiedades viscoelásticas de la soja. Cuando la humedad de la soja incrementa, la viscosidad del material disminuye y también lo hace la relación de conversión de energía mecánica en calor y la fricción mecánica. Esto dificulta la ruptura de los oleosomas (pequeñas células que contienen el aceite dentro de la matriz del grano) durante el proceso de extrusión y la posterior extracción del aceite durante el prensado.

Para predecir el comportamiento de la eficiencia de extracción en función del nivel de humedad de la soja se ajustó un modelo polinómico de segundo orden ( $R^2$  de 0,9991) representado como la línea negra punteada en la Figura 1. En un trabajo anterior, los mismos autores desarrollaron un modelo de predicción para la eficiencia de extracción en función de la humedad del grano y del contenido de aceite (línea sólida). Este modelo se alimentó con información de muestras de soja y expeller recolectadas de diferentes plantas de extrusado-prensado localizadas en diferentes provincias de Argentina, las cuales trabajan bajo diferentes condiciones climáticas, con diferentes equipos (marcas y capacidades de trabajo) y configuraciones. Mientras que, en el presente trabajo, la extrusora y prensa utilizada y sus ajustes fueron los mismos para todos los tratamientos, y las condiciones climáticas similares, por lo que las diferencias encontradas en la eficiencia de extracción podrían atribuirse exclusivamente a la condición del grano de soja. Entonces, en la Figura 1 se representó la eficiencia de extracción con un modelo polinómico ajustado a los datos de este trabajo con una línea negra punteada. Se puede apreciar que la eficiencia de extracción de aceite aumentó a medida que el grano procesado era menor. También es posible visualizar que ambos modelos predicen de manera similar la eficiencia de extracción para una humedad de grano inferior a 10%, mientras que para humedades superiores a 10%, el modelo lineal de Maciel et al. (2020) sobrestimó la eficiencia de extracción.

En base a los resultados de ambos trabajos, se puede concluir que el secado de soja por debajo de la



**Figura 1** | Eficiencia de extracción de aceite en función del contenido de humedad de la soja. Los círculos son los valores promedio observados del estudio actual (las barras de error son  $\pm$  SD), la línea negra punteada es el ajuste polinómico de los datos observados y la línea negra continua son los valores predichos en un trabajo previo realizado por los mismos autores (Maciel et al. 2020)

## POSCOSECHA | ¿Cómo afecta el secado de soja en la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado y en la calidad de la proteína?

humedad de comercialización (15,6%) permite obtener mejores rendimientos de aceite extraído. De manera particular, secar la soja por debajo de 10% (como se evaluó en el presente trabajo) permitiría alcanzar una eficiencia de extracción cercana al 65%.

Por otro lado, es importante destacar que secar la soja por debajo del 10% da como resultado un aumento marginal decreciente en la eficiencia de extracción (por cada punto de humedad extra que se seca, el incremento en la eficiencia de extracción es menor), por lo tanto, la decisión de secar por debajo de ese nivel deberá tomarse en función de los costos del secado y el beneficio de lograr una mayor extracción de aceite. En definitiva, la conveniencia depende de los precios relativos de la energía demandada para el secado y del aceite obtenido en el momento en que se lleva a cabo esta práctica. En un escenario de bajo precio de la energía y alto precio del aceite puede ser conveniente secar la soja por debajo del 10% y viceversa.

### Efecto del tratamiento de secado a diferentes humedades de soja sobre la humedad de granos individuales

Conocer la humedad de los granos individuales es de gran relevancia ya que son un indicador del grado de variabilidad que presentan los granos que fueron sometidos a un tratamiento de secado. Esto se debe principalmente a que el secado generalmente no es homogéneo. Por ejemplo, algunos granos entran en contacto con el aire caliente y seco, mientras que otros son alcanzados por el aire con una mayor humedad y con menor temperatura. Es por esta razón que se consideró necesario realizar este ensayo.

La Tabla 2 muestra el efecto en la humedad de los granos individuales de los tratamientos de secado a 115 °C hasta alcanzar diferentes humedades finales. Se puede apreciar que la humedad de grano individual en promedio fue inferior a la humedad determinada en la masa de granos para todos los tratamientos.

Al analizar de manera particular cada tratamiento de secado vemos que para la muestra control (16,2 % de

**Tabla 2** | Contenido de humedad de granos individuales de soja sometidas a diferentes tratamientos de secado (los valores presentados son el promedio de tres repeticiones de 20 granos cada una)

Temperatura del aire de secado (°C)	Humedad <sup>(1)</sup> (% b.s.)	Humedad de grano individual (% b.s.)	CV (%)	Rango de humedad de grano individual (% b.s.)
115	9,1	8,5 ± 1,25 <sup>a</sup>	14,8	5,1 – 13,7
	9,7	8,8 ± 0,84 <sup>b</sup>	9,6	6,7 – 13,8
	10,9	10,5 ± 0,79 <sup>c</sup>	7,5	7,9 – 13,5
Control	16,2	15,8 ± 0,66 <sup>d</sup>	4,2	13,6 – 18,2

Nota: (1) es el contenido de humedad medido a granel, ± es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación. Dentro de una columna, las medias con letras diferentes son significativamente diferentes (p<0.05)

**Tabla 3** | Contenido de humedad de granos individuales de soja secados a diferentes temperaturas

Temperatura del aire de secado (°C)	Humedad <sup>(1)</sup> (% b.s.)	Humedad de grano individual (% b.s.)	CV (%)	Rango de humedad de grano individual (% d.b.)
80	9,4	10,3 ± 0,91	8,8	8,7 – 12,4
115	8,8	10,3 ± 1,46	14,1	7,4 – 13,7

Nota: (1) es el contenido de humedad medido a granel, ± es la desviación estándar y CV es el coeficiente de variación

humedad), el coeficiente de variación de la humedad de los granos individuales fue de 4,2%, lo que implica que existe una variabilidad natural en la humedad de los granos individuales y que no es causado por el tratamiento de secado. Por otro lado, al analizar las muestras que fueron sometidas a los tratamientos de secado hasta alcanzar diferentes humedades finales, el coeficiente de variación de humedad de los granos individuales aumentó con la intensidad del tratamiento de secado. Los coeficientes de variación fueron 7,5, 9,6 y 14,8% para los tratamientos de secado a 115 °C hasta alcanzar humedades finales de 10,9, 9,7 y 9,1%, respectivamente. Una tendencia similar fue observada para los demás parámetros de dispersión evaluados (desvío estándar y rango).

### Experimento 2

#### Efecto del tratamiento de secado de soja a diferentes temperaturas sobre la humedad de granos individuales

En este experimento se buscó determinar el efecto de la temperatura

del aire de secado en la variabilidad de la humedad de los granos individuales. De manera particular se intentó evaluar si realizar un secado a una baja temperatura por mayor tiempo representa un beneficio frente a un secado a alta temperatura por menos tiempo. Hipotetizando que el tratamiento menos intenso, considerado como el de menor temperatura del aire de secado, permitiría obtener humedades de granos individuales más homogéneas, es decir, con menor variabilidad.

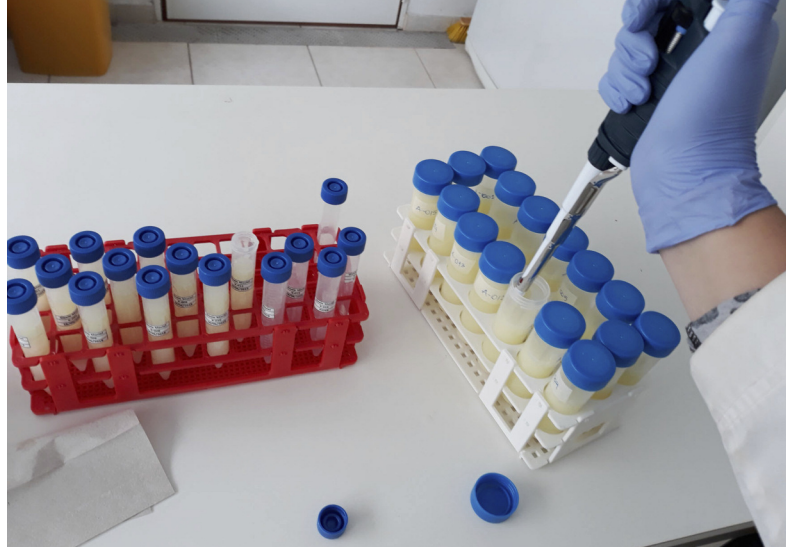
Sabemos que la humedad de los granos individuales afecta la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado. En un trabajo previo se mostró que a medida que aumenta la variabilidad en el contenido de humedad de los granos de soja, la eficiencia de extracción de aceite disminuye. Este efecto podría deberse a que la humedad afecta las propiedades viscoelásticas de los granos individuales y, en consecuencia, afecta la energía requerida y el rendimiento general del proceso de extrusión.

La humedad de los granos individuales y los parámetros de dispersión evaluados para cada tratamiento de

secado a diferente temperatura se muestran en la Tabla 3. De manera similar a lo observado en la Tabla 2, la dispersión de humedad de los granos individuales aumentó con la intensidad del tratamiento de secado, en este caso con el incremento de la temperatura. El coeficiente de variación de la humedad de granos individuales fue de 8,8% para el tratamiento de secado a 80 °C y aumentó a 14,1% para el tratamiento de secado a 115 °C. Una tendencia similar se puede observar para el desvío estándar y el rango.

### ***Efecto del tratamiento de secado de soja a diferentes temperaturas sobre el índice de dispersabilidad de la proteína de soja***

Las fracciones proteicas conocidas como las globulinas 7S y 11S son las principales responsables de las propiedades funcionales de las proteínas de soja. Estas fracciones son muy sensibles a agentes desnaturali-



zantes y, en particular, a los tratamientos a alta temperatura. Existen numerosos trabajos donde se evalúa el efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre parámetros de calidad tanto de soja como de los sub-productos. Sin embargo, no hay información suficiente y específica que determine el efecto del secado en el PDI en la soja antes de su procesamiento. Contar con esta información es importante ya que el PDI es el indicador más utilizado por la industria para evaluar la calidad de la proteína de soja.

El PDI de los dos lotes de soja antes del tratamiento de secado fue sustancialmente diferente. El lote utilizado para el tratamiento de secado a 80 °C presentó un PDI inicial de 83,7%, mientras que el lote para secar a 115 °C presentó un PDI inicial de 73,2% (Tabla 4). Esta diferencia se debe a que los lotes de soja provienen de diferente origen. En consecuencia, dadas estas diferencias en las muestras sin secar, el efecto del secado en el PDI se analizó de manera separada, es decir, sin hacer comparaciones entre tratamientos. El proceso de

## POSCOSECHA | ¿Cómo afecta el secado de soja en la eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado y en la calidad de la proteína?

secado a 80 °C no afectó de manera significativa el PDI. El valor del PDI se redujo a 82,9%, es decir, se observó una reducción de 0,8 puntos porcentuales. Por otro lado, el proceso de secado a 115 °C mostró una leve reducción, aunque significativa en el PDI de 2,1 puntos porcentuales (de 73,2 % a 71,1 %).

Se observó que, a mayor temperatura del aire de secado, mayor fue la temperatura alcanzada por el grano. Cuando la temperatura del aire de secado fue de 80 °C, el grano alcanzó una temperatura de 52 °C, mientras que el grano alcanzó los 57 °C cuando la temperatura del aire de secado fue de 115 °C. Esto se debe a que durante el secado hay un intercambio simultáneo de temperatura y humedad entre la masa de granos y el aire de secado. A medida que transcurre el proceso de secado, parte de la energía del aire se destina a evaporar humedad del grano, por lo que la temperatura promedio de la semilla al final del secado fue de sólo 52 y 57 °C para las temperaturas del aire de secado de 80 y 115 °C, respectivamente. Ambas temperaturas se encontraron por debajo de la temperatura crítica de 69 °C que establecieron estos autores en un trabajo previo (Maciel et al., 2023), como la temperatura por encima de la cual comienza a reducirse el PDI durante el tratamiento de secado en condiciones controladas. Esta podría ser la razón por la cual el daño sobre el PDI fue inferior al esperado.

Las temperaturas del aire de secado evaluadas en el presente estudio son representativas de las secadoras de granos operadas en Argentina. Con base en nuestros resultados, una temperatura del aire de secado de 80

**Tabla 4** | Índice de dispersabilidad de proteínas en granos de soja antes y después del secado

Condiciones de secado	Humedad (% b.s.)		PDI (%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Temperatura del aire de secado (°C)/temperatura del grano (°C)/tiempo de secado (h)				
80 / 52 / 04:40	13,9 ± 0,12	9,4 ± 0,39	83,7 ± 1,81 <sup>a</sup>	82,9 ± 2,06 <sup>a</sup>
115 / 57 / 04:00	14,5 ± 0,30	8,8 ± 0,45	73,2 ± 0,70 <sup>A</sup>	71,1 ± 0,19 <sup>B</sup>

Nota: PDI es el índice de dispersabilidad de proteínas y ± es la desviación estándar. Para un mismo tratamiento las medias con letras diferentes indican que el PDI es significativamente diferente antes y después del secado ( $p < 0.05$ ). Las letras minúsculas son para 80 °C y las letras mayúsculas para 115 °C

°C limitaría el daño en el PDI de soja en secadoras de flujo mixto. Sin embargo, para los secadores de flujo cruzado y de contraflujo, se recomienda limitar la temperatura del aire de

secado a 65 °C para maximizar el rendimiento de la secadora y prevenir el daño en el PDI de la soja, ya que una parte del grano alcanza la temperatura del aire de secado.

### CONCLUSIONES

La eficiencia de extracción de aceite por extrusado-prensado aumentó con la disminución de la humedad del grano de soja procesado. La soja procesada con un 10 % de humedad permitió alcanzar una eficiencia de extracción de aceite del 65%. Una disminución adicional en la humedad de procesamiento del grano resultó en un aumento marginal menor en la eficiencia de extracción de aceite. Por esta razón se recomienda procesar la soja con una humedad de alrededor de 10% en base seca (11,1% en base húmeda).

La funcionalidad de las proteínas medida a través del índice de dispersabilidad o PDI, no se vio afectado por el tratamiento de secado a una temperatura de 80 °C, mientras que el tratamiento de secado a 115 °C afectó de manera significativa.

*Los resultados obtenidos de la presente investigación son relevantes y aportan con conocimiento científico específico para ajustar las condiciones de procesamiento y obtener un producto final con una mejor calidad química y funcional. Esto representa una gran utilidad para el sistema productivo dedicado a la producción de alimentos con destino animal y humano.*

