

27. Agroalimentos

Optimización del proceso de parbolizado/descascarado para la obtención de harinas refinadas de sorgo

Yerien, Virginia¹; Galán, María Gimena²; Drago, Silvina Rosa²

¹ autor; ² orientador

virginiayer@gmail.com; mggalan@fcb.unl.edu.ar; sdrago@fiq.unl.edu.ar

Instituto de Tecnología de Alimentos

Facultad de Ingeniería Química

Universidad Nacional del Litoral

Resumen

Las harinas refinadas de sorgo tienen un enorme potencial como ingrediente en alimentos. Para obtener estas harinas es necesario descascarar los granos antes de su molienda. Con los métodos utilizados actualmente (descascarado abrasivo) los rendimientos no son buenos, lo que desalienta la producción a escala industrial. En este contexto, el parbolizado de los granos previo a su descascarado surge como una estrategia interesante para mejorar los rendimientos y reducir las pérdidas de nutrientes, de manera semejante al arroz. Los objetivos del trabajo fueron: i) optimizar el proceso de parbolizado/descascarado mediante la evaluación de los efectos de la temperatura de remojo (TR: 60-80°C) y el tiempo de pulido (TP: 4 - 6 min y 5,5 – 9,5 min para sorgo rojo y blanco, SR y SB), sobre el rendimiento de endospermo y contenido de cenizas, para obtener harinas refinadas de sorgo parbolizado (HR-SP), usando un híbrido de cada color; ii) aplicar las condiciones óptimas en diez híbridos (cinco de cada color) y evaluar la composición de las HR-SP; iii) comparar los rendimientos con los obtenidos previamente en harinas refinadas de sorgo nativo (HR-SN). Las condiciones óptimas de TR-TP fueron de 73,3°C – 4,8 min para SR y de 67,9°C - 8,6min para SB. El rendimiento de endospermo fue superior en las HR-SP (75,5%) que en las HR-SN (72,1%), al igual que los contenidos de Fe, Zn, Ca, Cu y K (Fe: 14,64 vs 19,08 mg/Kg; Zn: 8,65 vs 10,76 mg/Kg; Ca: 43,53 vs 81,37 mg/Kg; Cu: 1,34 vs 1,98 mg/Kg y K: 1761,8 vs 2163,9 mg/Kg). Fue posible mejorar el rendimiento del endospermo y el contenido de nutrientes usando un proceso de parbolizado previo al descascarado de los granos de sorgo al obtener harinas refinadas.

Palabras clave: sorgo, harinas refinadas, descascarado, parbolizado, optimización.

Introducción

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) constituye una parte importante de la dieta de los países en desarrollo, particularmente en regiones semi-áridas y áridas, debido a la adaptabilidad del cultivo a la sequía y las altas temperaturas (Stefoska-Needham, Beck, Johnson y Tapsell, 2015). En los países desarrollados, hay menor interés en este cereal ya que se lo utiliza principalmente como alimento para ganado y producción de biocombustibles (Lemlioglu-Austin, 2015). Sin embargo, en los últimos años se le ha prestado más atención ya que es un cereal sin gluten y por su alto contenido de componentes promotores de la salud, como los compuestos fenólicos antioxidantes (Althwab, Carr, Weller, Dweikat y Schlegel, 2015).

Las harinas refinadas de sorgo tienen un enorme potencial como ingrediente en distintos alimentos como galletas, tortas, pastas, productos expandidos, snacks, salchichas, revestimientos, sopas, salsas, alimentos infantiles y espesantes (Palavecino, Penci, Calderón-Domínguez y Ribotta, 2016). El descascarado seguido de la molienda en molinos de martillo es el proceso de molienda industrial más común en el sur de África para obtener harinas refinadas de sorgo (Beta, Rooney, y Taylor, 2000). Young, Haidara, Rooney y Waniska (1990) encontraron que el parbolizado del sorgo antes del proceso de descascarado era una forma de reducir significativamente la rotura del grano y

aumentar el rendimiento de endospermo, particularmente con granos de endospermo blando. Sin embargo, este proceso ha sido poco estudiado y utilizado en los granos de sorgo y aún no se ha estudiado en granos de sorgo rojo, por lo que no es conocido si granos de distinto color presentan un comportamiento diferente.

El parbolizado es un tratamiento hidrotérmico pre-molienda que se aplica muy frecuentemente en granos de arroz y que comprende tres etapas: remojo, cocción y secado. Este proceso gelatiniza el almidón y conduce a cambios físicos, químicos y organolépticos en el grano, que afectan en gran medida las cualidades de molienda, almacenamiento, cocción y forma de consumo (Kwofie y Ngadi, 2017). Además, podría constituir una estrategia para aumentar el rendimiento de endospermo al obtener harinas refinadas de sorgo, lo que contribuye a que el proceso sea económicamente factible. Como primer paso, el remojo es esencial para que el agua difunda dentro del grano. Sin embargo, remojar a temperatura ambiente puede provocar contaminación microbiana, lo que afecta el color, el sabor y el olor del producto. Yamakura et al. (2005) encontraron que el remojo a alta temperatura efectivamente generó una mejor calidad nutricional para el arroz cocido, pero produjo la pérdida de sólidos y el cambio de color de los granos de arroz. Al presente, no hay información

acerca del estudio de las condiciones óptimas del parbolizado para producir harinas refinadas de sorgo.

Objetivos

Los objetivos de este estudio fueron: i) optimizar el proceso de parbolizado/descascarado para obtener harinas refinadas de sorgo rojo y blanco, y ii) evaluar el contenido final de nutrientes seleccionados en harinas refinadas obtenidas en estas condiciones óptimas.

Materiales y Métodos

Granos de sorgo: Se utilizaron granos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) de diez híbridos comerciales, libres de taninos condensados. Cinco híbridos fueron rojos, (SR: 10SAR0010, PEX42353, PEX1282, PEX41027 y 10SAR0025) y cinco blancos, (SB: NideraA9941W, PAN8706W, NUSEED JOWARFOOD143, TOBINTOB48W y PEX9261W).

Diseño experimental: se evaluaron los efectos de la temperatura de remojo (TR) del proceso de parbolizado y el tiempo de pulido (TP) del proceso de descascarado posterior, sobre el rendimiento de endospermo y el contenido de cenizas de harinas refinadas (HR), utilizando un híbrido de SR (10 SAR 0025) y uno de SB (PAN 8706W), mediante la realización de dos diseños experimentales (uno para cada híbrido de sorgo). Se utilizaron diseños factoriales de tres niveles y dos factores, con tres repeticiones en el punto

central. Los niveles de los factores fueron 60, 70 y 80 °C para TR y 4 - 5 y 6 min para TP en el caso de SR y 5,5 – 7,5 y 9,5 minutos para TP en SB. Los niveles de cada variable se establecieron de acuerdo con ensayos preliminares.

El rendimiento del endospermo se determinó como:

$$\text{Rendimiento del endospermo (\%)} = \frac{\text{peso del grano descascarado} \times 100}{\text{peso del grano entero}}$$

El contenido de cenizas se midió mediante el método de AOAC (2000).

La optimización de las respuestas se llevó a cabo para maximizar el rendimiento del endospermo y obtener HR de sorgo con contenido de cenizas inferior a 0,65 g / 100 g, como establece el Código Alimentario Argentino (CAA, Cap IX, Art 663 bis).

Parbolizado y descascarado de granos enteros de sorgo:

En primer lugar, los granos enteros de sorgo fueron parbolizados. El remojo se llevó a cabo en un baño termostático (Tecnodalvo, Argentina) durante 90 minutos a 60, 70 u 80°C según el diseño experimental. Luego, las muestras se procesaron a 121°C a 1 atm durante 10 minutos en autoclave y se secaron a 50°C hasta 13,25 g/100g de humedad (Galán, Llopart y Drago, 2017). Luego los granos fueron descascarados (pulidos) utilizando una descascaradora abrasiva tangencial (Gallicet, Entre Ríos, Argentina) en los tiempos indicados en el diseño experimental de acuerdo con el color del

grano. Después, los granos pulidos se molieron usando un molino Cyclotex (CyclonSamplemill UD Corporation, Boulder, EE. UU.) con malla de 1 mm y fueron almacenados a 5°C hasta su análisis.

Análisis de las harinas refinadas: una vez obtenidos los niveles óptimos de TR y TP para SR y SB, se procedió al parbolizado/descascarado y posterior molienda de diez híbridos de sorgo, en esas condiciones. Las harinas refinadas de sorgo parbolizado (HR-SP) se analizaron con respecto a: 1) composición centesimal (AOAC, 2000) 2) Contenido de minerales: Fe, Zn, Ca, Cu, Mg (mediante espectroscopia de absorción atómica), Na y K (mediante fotometría de llama), usando un espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 300 (Perkin Elmer); 3) Contenido de polifenoles libres (PFL) (Singleton, Orthoferm y Lamuela-Raventos, 1999).

Análisis estadístico: se utilizó el software Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, EE. UU.) para realizar los diseños experimentales y la optimización de las respuestas. Además, se utilizó el software Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics Inc., Rockville, MD) para realizar el análisis de varianza (ANOVA) seguido del test de LSD para comparar significancias al 95% de confianza, y ANOVA Multifactor para evaluar los efectos del parbolizado/descascarado, color de los granos y sus interacciones en cada componente evaluado.

Verificación del modelo: Los criterios para evaluar la confiabilidad de los experimentos fueron el porcentaje de error (PE) observado entre los valores experimentales y teóricos. Por lo tanto, el valor experimental se comparó con el predicho por modelo optimizado mediante el cálculo del PE para determinar la adecuación de los modelos de superficie de respuesta. Se consideró que un valor de PE inferior al 10% indica un buen ajuste (Kek, Chin y Yusof, 2014).

Resultados y Discusión

Ajuste del modelo: Los resultados del contenido de cenizas y el rendimiento del endospermo para las diferentes combinaciones de TR y TP se muestran en la Tabla 1, y los gráficos de efectos principales correspondientes para SR y SB se muestran en la Figura 1. El ANOVA para los efectos de la TR y el TP sobre el rendimiento de endospermo y el contenido de cenizas de las HR-SP, se muestran en la Tabla 2 y los coeficientes de regresión de los polinomios en la Tabla 3.

Los altos valores del coeficiente de determinación (r^2) y la falta de ajuste no significativo sugieren que los modelos son adecuados para los datos con un nivel de confianza del 95.0%. Para SB, se ajustó un modelo cuadrático a ambas respuestas; mientras que para SR, se ajustó un modelo lineal al rendimiento del endospermo y uno cuadrático al contenido de cenizas.

Tabla 1: Contenido de cenizas (Cz) y rendimiento de endospermo (RE) de harinas refinadas de sorgo rojo y blanco parbolizados obtenidos a diferentes temperaturas de remojo (TR) y tiempos de pulido (TP).

Sorgo Blanco (PAN 8706 W)				Sorgo Rojo (10 SAR 0025)			
TR (°C)	TP (min)	RE (%)	Cz (g/100g)*	TR (°C)	TP (min)	RE (%)	Cz (g/100g)*
60	5,5	79,97	0,75 ± 0,00	60	4	81,57	0,74 ± 0,00
60	7,5	77,83	0,73 ± 0,00	70	4	80,58	0,72 ± 0,00
60	9,5	72,44	0,62 ± 0,01	80	4	78,32	0,67 ± 0,01
70	5,5	78,12	0,71 ± 0,00	60	5	78,45	0,67 ± 0,01
70	7,5	76,30	0,68 ± 0,01	70	5	77,91	0,63 ± 0,00
70	7,5	76,32	0,68 ± 0,00	70	5	77,27	0,63 ± 0,00
70	7,5	76,44	0,67 ± 0,00	70	5	77,18	0,64 ± 0,01
70	9,5	69,97	0,59 ± 0,02	80	5	75,16	0,61 ± 0,01
80	5,5	75,12	0,66 ± 0,00	60	6	74,20	0,64 ± 0,00
80	7,5	73,14	0,64 ± 0,00	70	6	73,34	0,62 ± 0,01
80	9,5	66,97	0,53 ± 0,02	80	6	71,64	0,58 ± 0,01

*Base seca, Media ± SD.

Tabla 2: ANOVA para los efectos de la temperatura de remojo (TR) y el tiempo de perlado (TP) sobre el rendimiento del endospermo (RE) y el contenido de cenizas (Cz) de las harinas refinadas de sorgo rojo y blanco parbolizados.

Fuente	P			
	Sorgo Rojo (10 SAR 0025)		Sorgo Blanco (PAN 8706 W)	
	RE ^b	Cz ^c	RE ^c	Cz ^c
A: TR (°C)	0,0113*	0,0055*	0,0002*	0,0027*
B: TP (min)	0,0221*	0,0024*	0,0001*	0,0014*
AA	-	0,4452	0,0056*	0,7515
AB	-	0,4778	0,0548	1,0000
BB	-	0,0181*	0,0005*	0,0098*
Falta de ajuste	0,9176	0,2997	0,1696	0,3025
P del modelo	<0,0001*	0,0051*	<0,0001*	0,0019*
r ^{2a}	0,9914	0,9715	0,9966	0,9844

* Diferencia significativa al 95% de confianza; ^aAjustado por grados de libertad f; ^bModelo lineal; ^cModelo cuadrático.

Tabla 3: Coeficientes de regresión de los polinomios para el rendimiento del endospermo (RE) y el contenido de cenizas (Cz) de las harinas refinadas de sorgo rojo y blanco parbolizados.

Coeficientes	Sorgo Rojo (10 SAR 0025)		Sorgo Blanco (PAN 8706 W)	
	RE ^a	Cz ^b	RE ^b	Cz ^b
Intersección	72,4282	1,6850	44,4669	0,6578
A: TR (°C)	0,5807	0,0003	0,6932	-0,0026
B: TP (min)	-0,4584	-0,3316	6,3280	0,1045
AA	-	-0,0000	-0,0063	-0,0000
AB	-	0,0002	-0,0077	0,0000
BB	-	0,0265	-0,5180	-0,0090

^aModelo lineal, ^bModelo cuadrático. TR: temperatura de remojo; TP: tiempo de pulido.

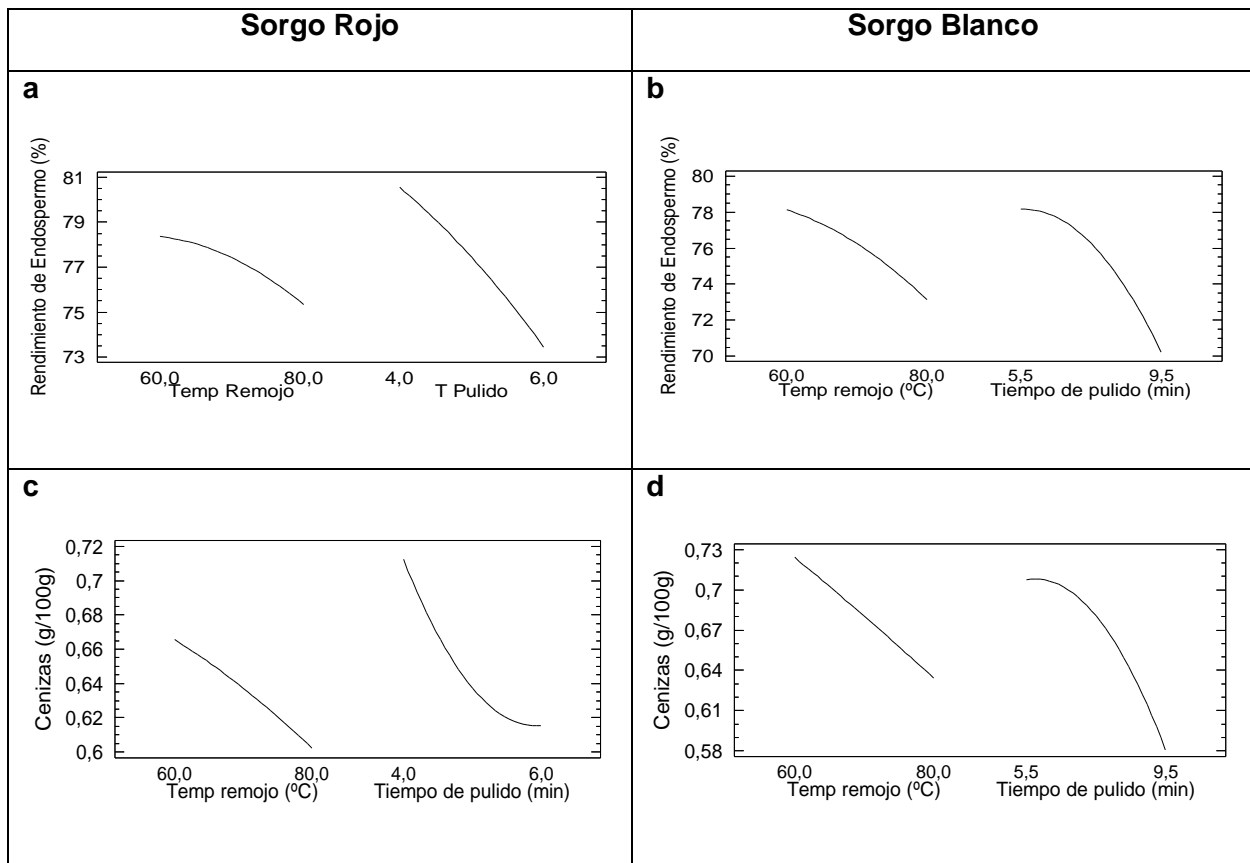


Figura 1: Efectos principales para la temperatura de remojo y el tiempo de pulido sobre el rendimiento del endospermo (a y b) y el contenido de cenizas (c y d) de las harinas refinadas de sorgo rojo y blanco parbolizados.

Rendimiento de endospermo: El rendimiento de endospermo del sorgo rojo y blanco parbolizado varió entre 71.64 - 81.57% y 66.97 - 79.97%, respectivamente (Tabla 1). Las Figuras 1.a y 1.b (SR y SB, respectivamente) muestran los efectos de TR y TP sobre el rendimiento del endospermo. Para ambos tipos de sorgo, el rendimiento de endospermo disminuyó con el aumento de TP. Este efecto ya se había observado en un trabajo previo en el que se estudió el descascarado de sorgos nativos. A mayor TP, se perdieron cantidades más altas de pericarpio, germen y parte del endospermo (Galán et al., 2017). Por otro lado, se observó un rendimiento máximo

del endospermo alrededor de los 70°C de TR, que coincide con la temperatura de gelatinización (68 - 71°C) del almidón de sorgo (Kaufman, Wilson, Bean, Xu y Shi, 2017). Durante el tratamiento térmico, se gelatiniza la superficie almidonosa de los granos y se cierran las grietas presentes en el endospermo, consolidándose la estructura de los granos. Numerosos estudios han demostrado que este efecto mejora significativamente el rendimiento de molienda en arroz parbolizado (Kwofie y Ngadi, 2017).

El contenido de humedad de los granos después de remojo a 60, 70 y 80°C fue 36,2, 38,5 y 45,2 g/100g, respectivamente para SR; y 36,1, 37,5 y 42,0 g/100g,

respectivamente para SB. Durante el remojo, el agua penetra en los gránulos de almidón y forma hidratos a través de enlaces de hidrógeno que causa hinchazón. Esta hinchazón es menos pronunciada cuando el remojo se realiza en agua fría, debido a la capacidad limitada de absorción de agua de los gránulos de almidón. Sin embargo, en la inmersión en caliente, la energía térmica interrumpe los enlaces de hidrógeno y debilita la estructura de los gránulos, lo que permite una mayor hidratación e hinchazón a medida que aumenta la temperatura (Kwofie y Ngadi, 2017).

El rendimiento de endospermo más bajo se observó a 80°C ya que la elevada TR causó una deformación severa de los granos y la pérdida de endospermo. Esto fue confirmado con las pérdidas de sólidos causadas por el remojo que fueron más altas a 80°C (SR: 2,3%, SB: 1,6%), que a 70°C (SR: 1,1%, SB: 0,2%) o 60°C (SR: 1,0%, SB: 0,2%). Taghinezhad, Khoshtaghaza, Minaei y Latifi (2015) investigaron el efecto de la TR (55 - 75°C) en el rendimiento de molienda de arroz parbolizado. Observaron que el rendimiento aumentó significativamente a los 65°C de TR, mientras que temperaturas más altas lo disminuyeron.

Contenido de cenizas: el contenido de cenizas de las HR-SP rojo y blanco varió entre 0,58 a 0,74 g/100g y de 0,53 a 0,75 g/100g, respectivamente (Tabla 1). Las Figuras 1.c y 1.d (para SR y SB, respectivamente) muestran que el

contenido de cenizas disminuyó con el aumento de la TR y del TP, en todos los niveles estudiados. Durante el descascarado abrasivo del sorgo, se eliminan el pericarpio, las capas de testa y parte del germen que contiene los niveles más altos de ceniza de grano (Moraes et al., 2015). Por lo tanto, al aumentar el TP se redujo el contenido de cenizas. La reducción del contenido de cenizas con el aumento de la TR está probablemente relacionada con una mayor lixiviación y pérdida de sólidos a temperaturas más altas, como lo observaron Paiva et al. (2016) en arroz pigmentado.

Optimización de condiciones de parbolizado y verificación de modelos:

Para lograr condiciones óptimas de parbolizado de sorgo (TR y TP) se utilizó la función de deseabilidad, teniendo en cuenta el contenido de ceniza de las HR-SP fuera inferior a 0,65 g/100g con un máximo rendimiento de endospermo. Las condiciones óptimas de TR-TP fueron 73.3°C - 4.8 min para SR y 67.9°C - 8.6 min para SB. El valor de deseabilidad de la optimización fue de 0,567 y 0,689 para SR y SB. Una vez que se determinaron las condiciones óptimas TR-TP, se realizaron experimentos independientes adicionales. Después de la verificación, los valores experimentales fueron muy cercanos a las respuestas pronosticadas (Tabla 4) y el PE% indicó que los valores observados experimentalmente fueron iguales a los pronosticados con la aplicación del modelo estadístico.

Tabla 4: Valores experimentales y pronosticados de las respuestas en condiciones óptimas según la función de deseabilidad.

Respuestas	Objetivos	Valores pronosticados		Valores experimentales*		PE (%)	
		SR	SB	SR	SB	SR	SB
RE (%)	Maximizar	77,61	73,78	78,01 ± 0,32	73,11 ± 0,49	0,52	0,91
Cz (g/100g)	Menor a 0,65	0,64	0,64	0,64 ± 0,22	0,64 ± 0,14	0,00	0,00

*Media ± SD. SR: sorgo rojo; SB: sorgo blanco; RE: rendimiento de endospermo; Cz: cenizas.

Composición de las HR-SP: Diez híbridos de sorgo fueron parbolizados y descascarados en condiciones óptimas y se evaluó su composición y contenido mineral (Tabla 5). El contenido de cenizas fue inferior a 0,65 g/100g y no difirió entre todas las muestras evaluadas. Los rendimientos de endospermo estuvieron comprendidos entre 76,3 – 78,9% y 71,5 – 74,1% para SR y SB, respectivamente. Esto confirma que las condiciones óptimas de TR y TP son válidas para otros híbridos del mismo color. En cuanto a los otros nutrientes, se observaron diferencias entre los diferentes híbridos de sorgo. El contenido de proteína, lípidos, Cu y PFL fueron más altos para SR que SB ($p = 0,0141$; $0,0004$; $0,0467$; $0,0042$, respectivamente). Mientras que, Fe, Zn, Ca y Na fueron más altos en SB que SR ($p: 0,0058$; $0,0008$; $0,0138$; $0,0103$, respectivamente). Es importante tener en cuenta que la composición y el valor nutricional del sorgo pueden verse afectados por factores como el genotipo, el clima, el tipo de suelo y la fertilización (Ebadi et al., 2005).

Efecto del proceso y del color del grano en la composición de las harinas refinadas: en un trabajo previo (Galán et al., 2017), se determinó el rendimiento de endospermo y la composición de harinas refinadas a partir de granos de sorgo nativos (HR-SN). Estos resultados se compararon con los obtenidos en las HR-SP usando ANOVA Multifactor (Tabla 6).

Tabla 6: ANOVA multifactorial para los efectos del proceso (descascarado - parbolizado/descascarado) y el color del grano (rojo - blanco) en los componentes evaluados en harinas refinadas de híbridos de sorgos rojos y blancos.

Componente	<i>p</i>		
	Proceso	Color	Interacción
RE	0,0001*	0,0000*	0,0237*
Cenizas	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Proteínas	0,7629	0,0011*	0,5566
Lípidos	0,0000*	0,8272	0,0009*
Fe	0,0000*	0,2561	0,0000*
Zn	0,0000*	0,1891	0,0000*
Ca	0,0000*	0,1353	0,0029*
Cu	0,0000*	0,0000*	0,0000*
Mg	0,0862	0,0092*	0,0726
Na	0,5868	0,0288*	0,0470*
K	0,0000*	0,0078*	0,0002*
PFL	0,6420	0,0000*	0,1350

*Diferencias significativas al 95% de confianza. RE: rendimiento de endospermo; PFL: polifenoles libres.

Tabla 5: Composición y contenido mineral de harinas refinadas de sorgo parbolizado rojo y blanco

Hybrids	Ash (g/100g)	Ether extract (g/100g)	Proteínas (g/100g)	Fe (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Mg (mg/Kg)	Na (mg/Kg)	K (mg/Kg)	FPC (mg/100g)
10SAR0025	0.65 ± 0.00 ^a	0.62 ± 0.01 ^c	9.23 ± 0.15 ^b	18.60 ± 1.09 ^{a. b}	8.07 ± 0.14 ^a	78.70 ± 1.87 ^{d. e}	2.34 ± 0.06 ^d	728.88 ± 1.51 ^a	135.73 ± 2.98 ^{d. e}	2028.93 ± 47.17 ^{a. b}	86.71 ± 3.91 ^e
10SAR0010	0.64 ± 0.00 ^a	0.87 ± 0.00 ^g	10.63 ± 0.20 ^e	16.61 ± 0.02 ^a	8.01 ± 0.28 ^a	82.67 ± 2.19 ^e	1.81 ± 0.11 ^{a. b}	1203.68 ± 53.19 ^f	102.08 ± 5.79 ^b	2085.43 ± 44.42 ^{a. b}	95.33 ± 4.88 ^f
PEX42353	0.65 ± 0.00 ^a	0.91 ± 0.00 ^h	10.02 ± 0.02 ^d	18.04 ± 1.00 ^{a. b}	9.02 ± 0.36 ^b	71.15 ± 0.24 ^{a. b}	2.15 ± 0.12 ^c	1438.28 ± 34.69 ^h	92.69 ± 5.15 ^b	2285.13 ± 92.65 ^d	85.13 ± 4.43 ^e
PEX1282	0.64 ± 0.01 ^a	1.06 ± 0.00 ^j	10.89 ± 0.01 ^e	17.60 ± 0.26 ^a	11.08 ± 0.23 ^c	75.35 ± 3.01 ^{c. d}	2.17 ± 0.10 ^{c. d}	1329.99 ± 21.39 ^g	58.94 ± 1.34 ^a	2205.59 ± 22.37 ^{c. d}	74.38 ± 2.47 ^d
PEX41027	0.64 ± 0.00 ^a	0.99 ± 0.00 ⁱ	10.02 ± 0.22 ^d	16.95 ± 1.14 ^a	11.73 ± 0.65 ^{c. d}	68.67 ± 2.72 ^a	1.91 ± 0.07 ^b	1100.83 ± 19.52 ^{d. e}	124.03 ± 5.82 ^c	1935.08 ± 116.92 ^a	55.98 ± 1.26 ^a
PAN8706W	0.65 ± 0.00 ^a	0.68 ± 0.00 ^e	10.29 ± 0.18 ^d	16.38 ± 0.69 ^a	13.09 ± 0.75 ^f	84.16 ± 4.25 ^e	2.21 ± 0.01 ^{c. d}	978.49 ± 35.19 ^b	144.00 ± 7.50 ^e	2327.38 ± 121.69 ^d	66.65 ± 0.74 ^{b. c}
PEX9261W	0.65 ± 0.02 ^a	0.58 ± 0.00 ^b	8.96 ± 0.05 ^b	20.22 ± 0.14 ^{b. c}	11.44 ± 0.23 ^c	79.01 ± 1.65 ^{d. e}	1.80 ± 0.08 ^{a. b}	1202.69 ± 36.43 ^f	126.24 ± 7.19 ^{c. d}	2233.74 ± 19.22 ^{c. d}	67.55 ± 4.00 ^{c. d}
NIDERAA9941W	0.65 ± 0.00 ^a	0.45 ± 0.01 ^a	9.58 ± 0.02 ^c	21.55 ± 2.76 ^c	12.54 ± 0.05 ^{e. f}	102.24 ± 3.52 ^f	1.91 ± 0.08 ^b	1155.42 ± 1.18 ^{e. f}	130.31 ± 3.68 ^{c. d}	2227.63 ± 20.44 ^{c. d}	66.12 ± 3.48 ^{b. c}
TOB48W125	0.65 ± 0.02 ^a	0.76 ± 0.00 ^f	8.65 ± 0.15 ^a	20.37 ± 0.39 ^{b. c}	11.45 ± 0.24 ^c	100.50 ± 2.00 ^f	1.83 ± 0.06 ^{a. b}	1075.31 ± 16.50 ^{c. d}	124.68 ± 3.86 ^{c. d}	2204.07 ± 84.96 ^{c. d}	58.09 ± 0.36 ^a
NUS JOW F 143	0.64 ± 0.00 ^a	0.63 ± 0.00 ^d	9.60 ± 0.04 ^c	24.51 ± 0.47 ^d	11.20 ± 0.51 ^c	71.32 ± 1.08 ^{a. b}	1.66 ± 0.08 ^a	1022.04 ± 9.83 ^{b. c}	122.89 ± 4.65 ^c	2106.25 ± 34.85 ^{b. c}	60.67 ± 0.21 ^{a. b}

Media ± SD; diferentes letras en una columna indican diferencias significativas (p < 0.05). SR: sorgo rojo; SB: sorgo blanco; PFL: polifenoles libres.

Se observó que el rendimiento de endospermo fue mayor para las HR-SP (SR: 76,3 – 78,9% y SB: 71,5 – 74,1%) que para las HR-SN (SR: 74,7 – 77,4% y SB: 66,8 – 69,5%). Young et al. (1990) investigaron el efecto del parbolizado en el rendimiento de endospermo de SB mediante dos métodos diferentes: i) remojo durante toda la noche y ebullición durante 10 minutos o ii) ebullición 10 min, remojo durante toda la noche y ebullición nuevamente. Informaron que ambos procedimientos de parbolizado aumentaron el rendimiento de endospermo mientras reducían la rotura del grano.

Aunque el contenido de proteína no cambió (9,7 g/100 g), el contenido de lípidos fue mayor en HR-SN que en las HR-SP (1,35 vs. 0,75 g/100 g). Esto ayudaría a mejorar la vida útil de las harinas al reducir la susceptibilidad a la oxidación. Los contenidos de cenizas, Fe, Zn, Ca, Cu y K fueron mayores en las HR-SP que en las HR-SN (ceniza: 0,64 vs. 0,57 g/100 g, Fe: 19,08 vs. 14,64 mg/kg, Zn: 10,76 vs 8,65 mg/Kg, Ca: 81,37 vs. 43,53 mg/Kg, Cu: 1,98 vs 1,34 mg/Kg y K: 2163,9 vs 1761,8 mg/Kg). Se ha informado que el parbolizado mejora la calidad nutricional del arroz como resultado de los cambios en la estructura del almidón y la difusión hacia el interior de los micronutrientes del salvado hacia el endospermo (Patindol, Fragallo, Wang y Durand-Morat, 2017), por lo que se podría sugerir el mismo mecanismo para el

aumento del contenido mineral en el caso del parbolizado de sorgo.

El rendimiento de endospermo y el contenido de cenizas, proteínas, Cu, Mg, Na y K se vieron afectados por el color del grano. Además, se observó una interacción de los factores en el rendimiento de endospermo, cenizas, lípidos, Fe, Zn, Ca, Cu, Na y K.

Conclusiones

La temperatura de remojo y el tiempo de pulido fueron factores que afectaron significativamente el rendimiento de endospermo y el contenido de cenizas, en la producción de harinas refinadas de sorgo parbolizado. La optimización de estas variables de proceso fue importante para obtener el mayor rendimiento de endospermo y un contenido particular de cenizas (indicativo de la calidad de la harina). Estas condiciones fueron válidas para aplicar a otros híbridos del mismo color para obtener harinas refinadas. Las harinas refinadas de sorgo tienen un alto potencial de aplicación en alimentos y son una alternativa para la población celíaca. Sin embargo, durante el descascarado de los granos, se produce una pérdida de nutrientes. Fue posible mejorar el rendimiento de endospermo usando un proceso de parbolizado previo al descascarado, que también contribuyó a aumentar el contenido de minerales en las harinas refinadas obtenidas.

Bibliografía

CAA, Código Alimentario Argentino, Capítulo IX, Artículo 663 bis - (Res 4276, 28.12.79)

http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigo_a/CAPITULO_IX.pdf

Althwab, S., Carr, T.P., Weller, C.L., Dweikat, I.M. y Schlegel, V. (2015). Advances in grain sorghum and its co-products as a human health promoting dietary system. *Food Res Int*, 77, 349-359. Doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.011

AOAC, (2000). Official Methods of Analyses. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist.

Beta, T., Rooney, L.W. y Taylor, J. (2000). Effect of chemical conditioning on the milling of high-tannin sorghum. *J Sci Food Agric*, 80(15), 2216-2222. Doi: 10.1002/1097-

0010(200012)80:15<2216::AID-JSFA766>3.0.CO;2-O

Ebadi, M.R., Pourreza, J., Jamalian, J., Edriss, M.A., Samie, A.H. y Mirhadi, S.A. (2005). Amino acid content and availability in low, medium and high tannin sorghum grain for poultry. *Int J Poult Sci*, 4(1), 27-31. Doi: 10.3923/ijps.2005.27.31

Galán, M.G., Llopart, E.E. y Drago, S.R. (2017). Losses of nutrients and anti-nutrients in red and white sorghum cultivars after decorticating in optimised conditions. *Int J Food Ssci Nutr*, 69(3), 283-290. Doi:

10.1080/09637486.2017.1353956

Kaufman, R.C., Wilson, J.D., Bean, S.R., Xu, F. y Shi, Y.C. (2017). Sorghum starch

properties as affected by growing season, hybrid, and kernel maturity. *J Cereal Sci*, 74, 127-135. Doi:

10.1016/j.jcs.2017.01.014

Kek, S.P., Chin, N.L. y Yusof, Y.A. (2014). Simultaneous time-temperature-thickness superposition theoretical and statistical modelling of convective drying of guava. *J Food Technol*, 51, 3609-3622. Doi: 10.1007/s13197-013-0923-0

Kwofie, E.M. y Ngadi, M. (2017). A review of rice parboiling systems, energy supply, and consumption. *Renew Sust Energy Rev*, 72, 465-472. Doi: 10.1016/j.rser.2017.01.014

Lemlioglu-Austin, D. (2015). Sorghum: Obliging alternative and ancient grain. *Cereal Chem*, 92, 434-440. Doi: 10.1094/CFW-59-1-0012

Moraes, É.A., da Silva Marineli, R., Lenquiste, S.A., Steel, C.J., de Menezes, C.B., Queiroz, V.A.V. y Júnior, M.R.M. (2015). Sorghum flour fractions: Correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. *Food Chem*, 180, 116-123. Doi:

10.1016/j.foodchem.2015.02.023

Neill, G., Al-Muhtaseb, A.H. y Magee, T.R.A. (2012). Optimisation of time/temperature treatment, for heat-treated soft wheat flour. *J Food Eng*, 11, 422-426. Doi:

10.1016/j.jfoodeng.2012.06.019

Paiva, F.F., Vanier, N.L., Berrios, J.D.J., Pinto, V.Z., Wood, D., Williams, T., Panb, J. y Elias, M.C. (2016). Polishing and

parboiling effect on the nutritional and technological properties of pigmented rice. *Food Chem*, 191, 105-112. Doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.047

Palavecino, P.M., Penci, M.C., Calderón-Domínguez, G. y Ribotta, P.D. (2016). Chemical composition and physical properties of sorghum flour prepared from different sorghum hybrids grown in Argentina. *Starch – Stärke*, 68, 1–10. Doi: 10.1002/star.20160011

Patindol, J., Fragallo, L., Wang, Y.J. y Durand-Morat, A. (2017). Impact of Feedstock, Parboiling Condition, and Nutrient Concentration on Simultaneous Fortification of Two US Long-Grain Rice Cultivars with Iron and Zinc. *Cereal Chem*, 94(6), 984-990. Doi: 10.1094/CCHEM-05-17-0115-R

Singleton, V.L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of the Folin–Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299, 152–178. Doi: 10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Stefoska-Needham, A., Beck, E.J., Johnson, S.K. y Tapsell, L.C. (2015). Sorghum: An underutilized cereal whole grain with the potential to assist in the prevention of chronic disease. *Food Rev Int*, 31, 401-437. Doi: 10.1080/87559129.2015.1022832

Taghinezhad, E., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S. y Latifi, A. (2015). Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian paddy rice.

Int J Food Eng, 11(4), 547-556. Doi: 10.1515/ijfe-2014-0296

Yamakura, M., Haraguchi, K., Okadome, H., Suzuki, K., Thi Tran, U., Horigane, A.K., Yoshida, M., Homma, S., Sasagawa, A., Yamazaki, A. y Ohtsubo, K. (2005). Effects of soaking and high-pressure treatment on the qualities of cooked rice. *J Appl Glycosci*, 52 (2), 85-93. Doi: 10.5458/jag.52.85

Young, R., Haidara, M., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. (1990). Parboiled sorghum: development of a novel decorticated product. *J Cereal Sci*, 11(3), 277-289. Doi: 10.1016/S0733-5210(09)80172-0

Financiamiento: Este estudio fue financiado por los proyectos PICT 1282 y CAI + D 2016 PIC 50420150100092.