

INVESTIGACION

Contribución al estudio del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para nutrición humana

PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA
ISSN 0124-4108 Vol. 13 No. 1 Enero-Junio de 2011
Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia págs. 33-44

Artículo recibido: 12 de diciembre de 2010
Aceptado: 24 de mayo de 2011

Norma Constanza López Ortiz¹; Martha María Tique¹; Liliana del Socorro Pérez Lavalle¹

Resumen

Objetivo: evaluar la composición química y la digestibilidad *in-vitro* del almidón del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) nativo y germinado, y elaborar pastas alimenticias con 10, 15, 20% de inclusión de harina de sorgo nativo. **Materiales y métodos:** a las semillas de sorgo forrajero, híbridos HF-895, se les determinó la composición proximal, almidón total y digestibilidad *in-vitro* del almidón. A las fracciones granulométricas de la harina de sorgo, se les analizó el contenido de proteína y almidón total. Las pastas fueron sometidas a pruebas de cocción. **Resultados:** la composición del sorgo nativo está dentro de los parámetros establecidos por la normatividad del sorgo para consumo humano. El proceso de germinación, redujo la humedad y grasa, y no produjo cambios significativos en el contenido de proteína, cenizas y fibra dietaria. La velocidad de hidrólisis del almidón fue superior en semillas germinadas. Se presentaron diferencias significativas respecto al contenido de proteína y almidón de las fracciones granulométricas. Las pastas con inclusión del 10% presentaron el menor porcentaje de sólidos solubles. El índice de absorción de agua fue igual para todos los niveles de inclusión. **Conclusión:** los germinados y las pastas alimenticias con inclusión del 10% constituyen dos alternativas de uso del sorgo para alimentación humana.

Palabras clave: sorgo, almidón, harina, germinados, pastas alimenticias.

¹ Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia.
nclopezo@unal.edu.co

Como citar este artículo: López Ortiz NC, Tique MM, Pérez Lavalle L del S. Contribución al estudio del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para nutrición humana. *Perspect Nutr Humana*. 2011;13:33-44.

Contribution to the research of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) for human nutrition

Abstract

Objective: To evaluate the chemical composition and in-vitro digestibility of native and germinated sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and to elaborate pasta with 10, 15, 20% of native sorghum flour. **Materials and methods:** We determined proximate composition, total starch and in-vitro digestibility of starch of fodder sorghum seeds, HF-895 hybrid. Content of protein and total starch was analyzed in granulometric fractions of the sorghum flour. Pasta was subject to cooking tests. **Results:** Composition of native sorghum is within the established parameters of sorghum for human consumption. Germination process decreased moisture and fat, and did not produce significant changes in the content of protein, ashes and dietary fiber. Starch hydrolysis speed was higher in germinated seeds. There were significant differences regarding protein and starch granulometric fractions content. Pastas with 10% of native sorghum flour showed the lowest percentage of soluble solids. Water absorption index was the same for all levels of sorghum flour inclusion. **Conclusion:** Germinated and pastas with 10% of sorghum are two alternatives of sorghum use for human nutrition.

Key words: sorghum, starch, flour, germinated, pasta.

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal más importante del mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la cebada (1). Se constituye en una alternativa potencial para la fabricación de alimentos dirigidos a la alimentación humana, debido a que resiste zonas agroecológicas caracterizadas por la escasez de precipitaciones y por la sequía, donde es inadecuada la producción de otros cereales. Adicionalmente, tolera el calor y la salinidad mejor que el maíz, y puede crecer en una amplia variedad de suelos con un aporte limitado de nutrientes (2). De igual manera, al carecer de gluten y al ser una fuente rica en vitaminas del complejo B, minerales y carbohidratos, ofrece una solución ante la creciente demanda de alimentos y bebidas para personas con enfermedad celiaca, considerado como un importante problema de salud en muchos países (3). Alrededor de 48% de la producción mundial de sorgo, se utiliza como

pienso y 42% se destina para consumo humano. En países en desarrollo, principalmente de Asia y África, se emplea como alimento, consumiéndose como grano entero o como harina, con la que se preparan platos tradicionales como gachas consistentes o delgadas, pan plano con masa fermentada o sin fermentar, entre otros. También, se elaboran preparados fritos en aceite y productos cocidos similares a los que se preparan con sémola de maíz o con arroz (4). Sin embargo, a diferencia de los países mencionados, en otros desarrollados y algunos en desarrollo, el sorgo es utilizado con fines de comercialización, destinándose en su mayor parte para la alimentación de ganado, siendo subutilizado en otros tipos de industria (5). En Nicaragua, se han desarrollado panes integrales utilizando 50% de harina de sorgo y galletas hechas 100% con harina de sorgo (6). Las pastas alimenticias constituyen otra alternativa tecnológica de la harina de sorgo; algunos estudios reportados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

Alimentación (FAO), recomienda elaborar una harina compuesta consistente en 70% de trigo y 30% de sorgo (5). Otro uso del sorgo para alimentación humana, y quizá uno de los más tradicionales, es la utilización de la harina de sorgo germinada, para la elaboración de alimentos de destete para niños, mejor conocida como harina de Kimea o harina potente, debido a que se ha comprobado que la germinación es un proceso que mejora la digestibilidad y las características nutricionales del grano y reduce factores antinutricionales como los taninos (2). A su vez, este proceso facilita la reducción de la consistencia espesa de las papillas, permitiendo utilizar una menor cantidad de agua para aumentar la densidad energética y nutricional, proceso relacionado con la hidrólisis del almidón por acción de enzimas como la α -amilasa y β -amilasa (7). Otro factor relevante que influye en la calidad nutricional de la harina de sorgo nativo y de otros cereales, es el tamaño de partícula. Toth y colaboradores (8), demostraron que tamaños de partícula entre 125-90 μm de harina de trigo, presentan un mayor contenido de proteína y micronutrientes que tamaños de partícula superiores, considerando la posibilidad de que el salvado y la capa de aleurona, ricos en proteínas, hayan quedado en esta fracción. Por otro lado, Bolade y colaboradores (9) encontraron un aumento en el contenido de proteína en harina de maíz, en proporción a la disminución del tamaño de partícula, observando el mayor porcentaje en las fracciones de 75-150 μm . El objetivo del presente estudio fue evaluar algunas propiedades fisicoquímicas y nutricionales del sorgo nativo (sin germinar) y germinado, y así contribuir a la caracterización de una variedad que se siembra en Colombia y que puede llegar a ser una alternativa en el uso de harinas compuestas para la elaboración de pastas alimenticias u otros productos que pueden ser una buena opción en la nutrición humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas de sorgo: se utilizaron semillas de sorgo forrajero, híbridos HF-895 que cumplen con las características agronómicas para su siembra en las subregiones naturales del Valle geográfico del Río Magdalena y Río Cauca, de la Casa Comercial Cristiani Burkard S.A. producido en Texas, Estados Unidos e importados y distribuidos por la empresa Andinesa, con sede en Cali, Colombia.

Sémola de trigo: se obtuvo de Molinos La Aurora Bogotá (Colombia). Con una distribución de tamaño de partícula en la que el 94% pasa por tamiz de 212 μm , proteína mínimo 12,0% y máximo 14,3% de humedad, de acuerdo con la información técnica de la empresa.

Germinación de las semillas de sorgo: las semillas de sorgo fueron lavadas por inmersión y desinfectadas utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 1% por 30 seg. Posteriormente se sometieron a remojo en una solución de formaldehído reactivo analítico, código 104003 Merck, al 0,03% durante cuatro horas a aproximadamente 25 ± 2 °C de temperatura con aireación. Se enjuagaron tres veces con agua destilada en una proporción 1:2 y se sometieron nuevamente a remojo en recipientes plásticos en una proporción 1:1 agua/semilla durante 20 horas a 25 ± 2 °C con aireación durante una hora cada 10 horas. Se continuó la germinación durante cuatro días protegido de la luz y con riego por aspersión cada 12 horas en una proporción de 5 mL de agua/200 g sorgo, hasta que la radícula emergente alcanzó al término de este tiempo su fase de germinación, previa a la de crecimiento. Las semillas germinadas se secaron en una estufa Memmert con circulación de aire forzado a 60 °C, hasta peso constante y posteriormente se molieron en un molino de discos marca Corona, para obtener la harina (7, 10-11).

Análisis proximal: se aplicó la metodología establecida por la Association of Official Analytical Chemists, (AOAC International), para evaluar los siguientes parámetros: humedad 925.10, proteína 923.04, extracto etéreo 920.39c, ceniza 923.03, 920.39c y fibra dietaria total 985.29 (12).

Almidón total y digestibilidad *in-vitro* del almidón de sorgo nativo y germinado: la determinación del almidón total se llevó a cabo con base en el método de Goñi y colaboradores (13). Las muestras se suspendieron en KOH 2M para dispersar el almidón, agitando a temperatura ambiente durante 30 min. El almidón se hidrolizó luego de la incubación con amiloglucosidasa (60 °C, 45 min, pH 4,75 Boehringer Mannheim, Alemania). Se determinó glucosa usando el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa, GOD/POD.

La velocidad de hidrólisis del almidón se determinó acorde con el método de Holm (14), que consiste en incubar la muestra con α -amilasa pancreática porcina (Sigma A-3176) a 37 °C durante una hora, sacando alícuotas a distintos tiempos, en las cuales se determinó el contenido de azúcares reductores con ácido 3,5-dinitrosalicílico.

Fraciones granulométricas de la harina de sorgo: se molieron de manera independiente tres muestras de 1,00 kg de semillas de sorgo, en un molino de martillos Fitz Mill Illinois 60126 Modelo D con malla de 1 mm. De cada kilogramo de sorgo

molido se tomaron 500 g por el método de cuarteo manual, para su posterior tamizado en el equipo Ro Tap Tyler, el cual consta de seis tamices (N° 35, 45, 60, 70, 80, 100), con tamaño de partícula de 500, 355, 250, 212, 180 y 150 μ m respectivamente. A cada fracción obtenida se le determinó el contenido de proteína y almidón total acorde con los métodos mencionados.

Elaboración de las pastas alimenticias: para la elaboración de las pastas alimenticias se sustituyó la sémola de trigo por harina de sorgo nativo con tamaño de partícula de 355 μ m en proporciones de 10, 15 y 20% (Tabla 1). Se dejó reposar la mezcla durante 30 min, para permitir su hidratación. Posteriormente se amasó durante 10 min utilizando una máquina marca Arcosteel Italian Collection para pastas, la cual realiza el proceso de extrusión en frío y se realizó el corte en forma de fideos. Se secaron a temperatura ambiente (14 \pm 5 °C, y humedad relativa promedio de Bogotá 72%) por 24 horas.

Determinación de la estabilidad durante la cocción: para evaluar la calidad de la pasta alimenticia se determinó la estabilidad durante la cocción, se analizaron los sólidos solubles (SS) y el índice de absorción de agua (IIA) siguiendo el método reportado por Anderson con algunas modificaciones (15). Se pesaron aproximadamente 20 g de pasta en una balanza analítica y se colocaron en un recipiente con 250 mL de agua destilada en ebullición

Tabla 1. Formulaciones para la elaboración de las pastas alimenticias

| Ingredientes | Inclusión (%) | | | Control |
|---------------------|---------------|----|----|---------|
| | 10 | 15 | 20 | |
| Sémola de trigo (g) | 90 | 85 | 80 | 100 |
| Harina de sorgo (g) | 10 | 15 | 20 | |
| Agua (mL) | 35 | 35 | 35 | 35 |

durante 10 min. Luego se pesó la pasta cocida. Para la determinación del porcentaje de sólidos solubles se tomó una alícuota de 10 mL del agua de cocción y se secó a peso constante en una estufa a 110 C. El IAA y SS se determinaron de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel}(g)}{\text{Peso de la muestra}(g)\text{base seca}} * 100$$

$$SS = \frac{\text{Peso de solubles}(g)}{\text{Peso de la muestra}(g)} * 100$$

Análisis estadístico: los datos, tanto del sorgo nativo como del germinado, fueron analizados estadísticamente por t-student (comparación de dos muestras) a un nivel de significancia del 5%. Se realizaron nueve análisis en total para humedad, extracto etéreo, proteína bruta y cenizas tanto para el sorgo germinado como sin germinar. Los análisis de almidón total, fibra dietaria y la digestibilidad del almidón se realizaron por métodos descriptivos (promedio y desviación estándar) con dos réplicas. Los datos de porcentaje de proteína y almidón de las dieciocho fracciones obtenidas a partir de tres operaciones de tamizaje fueron evaluados por análisis de varianza (ANOVA), a un nivel de significancia del 5% para un diseño de bloques completos al azar, usando como soporte Microsoft Office Excel 2007. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS),

para establecer el tratamiento con mayor contenido de proteína y almidón. De igual manera, se tomaron tres réplicas para la prueba de estabilidad durante la cocción a cada nivel de inclusión de sorgo (10, 15 y 20%) en las pastas alimenticias, aplicando una prueba de ANOVA a un nivel de significancia del 5% y una DMS a los datos obtenidos. Se usaron pruebas paramétricas debido a la naturaleza de los datos, y se procesaron en Excel debido a la solución metodológica que genera en el desarrollo de un análisis de varianza.

RESULTADOS

Análisis proximal: la composición proximal resultante para el sorgo nativo y germinado se muestra en la tabla 2. Se presentó una disminución significativa en cuanto al contenido de humedad y grasa del sorgo germinado con respecto al nativo ($p < 0,05$). No obstante, no se observaron diferencias significativas en relación al contenido de proteína, ceniza y fibra.

Almidón total y digestibilidad *in-vitro* del almidón de sorgo nativo y germinado: el porcentaje de almidón del sorgo nativo fue de $68,0 \pm 3,01$. Al comparar el contenido de almidón total del sorgo nativo con el presente en el sorgo germinado $56,46 \pm 1,89$, se observa que la proporción en este último es menor. La digestibilidad del almidón del sorgo nativo y del germinado, sometidos a un proceso previo de

Tabla 2. Composición proximal de semillas de grano entero de sorgo nativo y germinado, expresados en % de base seca

| Sorgo | Humedad (n=9) X±DE | Grasa (n=9) X±DE | Proteína (n=9) X±DE | Cenizas (n=9) X±DE | Fibra dietaria (n=2) X±DE |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Nativo | 10,39±0,41 ^a | 3,47±0,14 ^a | 14,88±0,43 ^a | 1,50±0,04 ^a | 14,80±1,66 ^a |
| Germinado | 6,02±0,33 ^b | 2,96±0,39 ^b | 14,84± 0,25 ^a | 1,48±0,03 ^a | 13,93±0,32 ^a |

X±DE corresponde al promedio ± desviación estándar

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de t-student

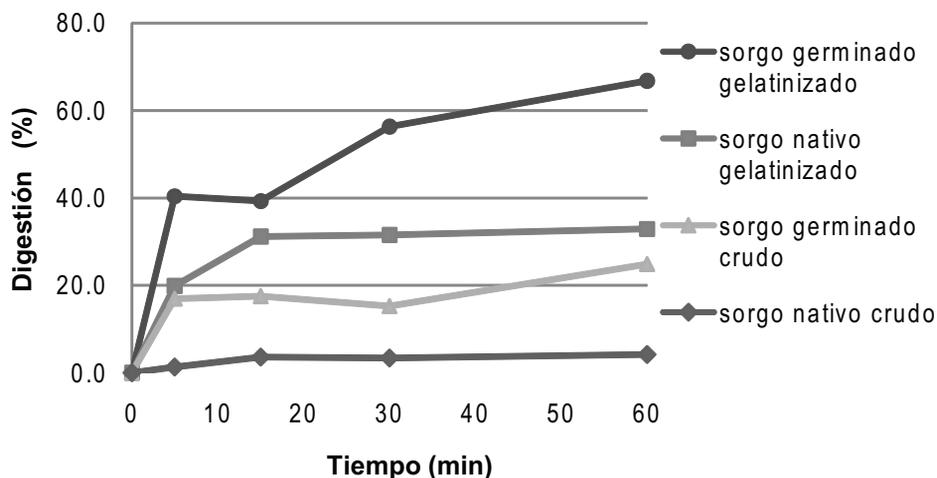
gelatinización, tuvo valores mucho más altos que aquellos que no se sometieron a este proceso, tal como se muestra en la Figura 1.

Fracciones granulométricas de la harina de sorgo: en la molienda de martillos se obtuvo un porcentaje de rendimiento de $96,6 \pm 1$. Asimismo, se obtuvo harina integral de color rojo, característico del pigmento original de la semilla. Las pérdidas por molienda fueron de 3,4%. El mayor porcentaje de harina correspondió al tamaño de partícula de 500 μm , con un promedio de 27,06%; seguido de la fracción de 355 μm , con 23,06% ($p < 0,05$) (Tabla 3). También, se presentó un porcentaje considerable de harina de sorgo correspondiente a tamaños de partícula superiores a 500 μm . El contenido de proteína y almidón total de las diferentes fracciones de la harina de sorgo se muestra en la tabla 3. En cuanto al contenido de almidón de las diferentes fracciones obtenidas de harina de sorgo, según el tamaño de partícula, se presentaron diferencias significativas entre las distintas fracciones ($p = 0,036$); las últimas fracciones obtenidas (250, 212, 180 y 150 μm)

fueron las que presentaron el más alto contenido de almidón. Asimismo, se observaron diferencias en el contenido de proteína de las diferentes fracciones ($p < 0,05$). La harina de sorgo con tamaño de partícula de 500 μm fue la que presentó el mayor porcentaje de proteína (11,15%), seguida de las fracciones de 355 y 150 μm .

Determinación de la estabilidad durante la cocción: el porcentaje de sólidos solubles (SS) e índice de absorción de agua (IAA) de los distintos niveles de inclusión de las pastas se muestra en la tabla 4. En cuanto al contenido de sólidos solubles, se demuestra una diferencia significativa ($p = 0,002$). Las pastas elaboradas con las inclusiones de 20 y 15% de harina de sorgo presentaron los mayores porcentajes de sólidos solubles, en comparación con la pasta control. Por el contrario, la pasta con la inclusión de 10% de harina de sorgo tuvo un porcentaje de sólidos solubles igual a la pasta control. Con respecto al índice de absorción de agua, no se presentaron diferencias estadísticas ($p = 0,10$) entre los distintos niveles de inclusión y la pasta control.

Figura 1. Tasa de digestión de almidón *in vitro* de sorgo nativo germinado, crudo y gelatinizado



Cada punto de la figura es el resultado del promedio de tres mediciones.

Tabla 3. Fracciones granulométricas de la harina de sorgo

| Tamices (N) | Tamaño de partícula (µm) | Harina de sorgo | Almidón | Proteína |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| | | X±DE (%) | X±DE (%) | X±DE (%) |
| | > 500 | 20,46±3,07 | | |
| 35 | 500 | 27,06±2,00 | 53,10±3,37 ^{ac} | 11,15±0,33 ^a |
| 45 | 355 | 23,06±0,00 | 51,43±4,95 ^a | 8,83±0,50 ^b |
| 60 | 250 | 4,57±1,15 | 60,57±3,50 ^b | 8,03±0,27 ^c |
| 70 | 212 | 3,93±0,95 | 59,32±7,04 ^{cb} | 7,89±0,47 ^c |
| 80 | 180 | 5,03±0,57 | 60,85±4,30 ^b | 7,88±0,37 ^c |
| 100 | 150 | 0,38±0,17 | 60,64±8,89 ^b | 8,43±0,17 ^{bd} |
| Valor de p* | | | 0,036 | 0,000 |
| Pérdidas por tamizado | | 15,49±1,22 | | |

Promedios (n=3)

X±DE corresponde al promedio ± desviación estándar.

*Valores de p correspondientes a la prueba de ANOVA.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba t de student.

Tabla 4. Sólidos solubles e índice de absorción de agua de las pastas alimenticias.

| Inclusión de harina de sorgo (%) | Porcentaje de SS (n=3) X±DE | Porcentaje de IIA (n=3) X±DE |
|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 10 | 0,25±0,01 ^a | 256,81±9,55 ^a |
| 15 | 0,33±0,02 ^b | 259,72±18,83 ^a |
| 20 | 0,35±0,03 ^b | 277,60±3,97 ^a |
| Sémola (pasta control) | 0,26±0,02 ^a | 275,57±2,73 ^a |
| Valor de p* | 0,002 | 0,10 |

X±DE corresponde al promedio ± desviación estándar.

Valor de p* según la prueba de ANOVA.

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba t de student.

SS: sólidos solubles.

IIA: índice de absorción de agua.

DISCUSIÓN

La composición del sorgo nativo está dentro de los parámetros establecidos por la normatividad del sorgo en grano destinado para consumo humano, Norma Codex Stan 172-1989 (16). El cambio en el contenido de humedad del sorgo germinado fue, probablemente, debido al proceso de secado que sufrieron los granos, con el objetivo de acondicionar la muestra. También se le atribuye a la suspensión de la tercera etapa del proceso de germinación, caracterizada por la emergencia de la radícula y la reabsorción de agua para dar origen a la plántula y continuar su crecimiento. El nivel de humedad obtenido para ambos tipos de sorgo es adecuado para evitar su deterioro en condiciones de almacenamiento. De igual manera, la reducción en el contenido de grasa de los granos germinados es debida a cambios bioquímicos y fisiológicos que se dan en la germinación, proceso que requiere de un buen aporte energético, constituyendo la grasa un buen sustrato. Resultados similares fueron reportados por Elmaki y colaboradores (17) y Traoré y colaboradores (18). En relación al contenido de proteína, no hubo diferencias significativas entre el sorgo nativo y germinado, similar a lo encontrado por Elmaki y colaboradores (17). Este fenómeno podría explicarse por un posible sistema de equilibrio para los procesos de degradación y síntesis de proteínas en el proceso de germinación, debido a que la proteína es uno de los principales sustratos para el crecimiento y el desarrollo de la planta. Es importante mencionar que aunque se modifique o no el contenido de proteína durante la germinación, este proceso mejora su disponibilidad y por ende su valor nutricional, debido a que se ha reportado por diferentes estudios que este proceso incrementa su digestibilidad, lo cual se ha atribuido a la modificación y degradación de las proteínas en compuestos de menor peso molecular, como péptidos y aminoácidos, que son fácilmente absorbidos, y a la reducción de factores antinutricionales, como polifenoles, fitatos e inhibidores de

tripsina (19). Con respecto al contenido de cenizas, el resultado se atribuye a que el análisis de las semillas germinadas se realizó con los brotes. En el estudio de Traoré y colaboradores (18) se observó una considerable disminución de cenizas durante el proceso de germinación y malteado, tal efecto se atribuye a que a los granos se les retiraron las raíces y brotes de las semillas germinadas con el objetivo de reducir el contenido de cianuro. Por otra parte, en el estudio realizado por Elmaki y colaboradores (17) se encontró una reducción significativa en el contenido de cenizas para los dos tipos de cultivo de sorgo analizados, pero solo en las primeras 24 horas de germinación, notándose posteriormente una estabilización. El sorgo, al igual que otros cereales integrales, es una fuente rica en fibra, especialmente en fibra dietaria insoluble, la cual representa aproximadamente 86,2% de la fibra dietaria total (20). Al comparar los valores de fibra dietaria obtenidos (14,8 y 13,9%) para el sorgo nativo y germinado con los estudiados por Smith y Frederiksen (9,5-10,1%) (7), se observa que estos fueron superiores. Teniendo en cuenta que los resultados en cuanto a composición pueden diferir entre las variedades botánicas del grano, se sugiere que el tipo de semilla analizada puede tener un mayor contenido de fibra en relación con otras variedades de sorgo y, quizás, una mayor fracción de fibra insoluble, teniendo en cuenta que la mayor parte de esta, se encuentra localizada en el pericarpio y, además, que se analizó una variedad de sorgo forrajera. El contenido de almidón resistente en el sorgo puede aumentar los valores obtenidos de fibra dietaria; resultados similares se encontraron en un estudio de sorgo y mijo, los cuales, en comparación con otros cereales, tienen un alto contenido de almidón resistente. En este estudio se encontró un contenido de fibra dietaria total de 21% incluyendo el almidón resistente (21).

Al comparar los resultados de almidón total obtenido para el sorgo nativo, se observa que estos no difieren de los reportados por otros autores (55,6-75,2%) (7).

El resultado de almidón total obtenido en el sorgo germinado se correlaciona con la mayor actividad enzimática presente en los procesos de germinación, en especial de aquellas enzimas con actividad amilásica como la α -amilasa, β -amilasa, glucoamilasa y pullulanasa, las cuales degradan el almidón a azúcares solubles, como glucosa y fructosa de fácil utilización para los procesos metabólicos necesarios para dar fin al objetivo de la germinación: el crecimiento de una nueva planta capaz de producir su propio alimento (19). El menor contenido de almidón en el sorgo germinado se relaciona con los procesos de absorción de agua, que a una temperatura adecuada producen un ablandamiento del pericarpio y del endospermo, que mejoran la disponibilidad de agua para que se den las reacciones químicas propias del proceso de germinación. Estas reacciones se caracterizan por su efecto en la movilización de reservas, en especial del almidón, teniendo en cuenta que este es la principal reserva energética en los cereales. Estos cambios son posibles gracias a la activación de enzimas por efectos hormonales y que no son activas en el grano nativo.

Al comparar la digestibilidad del almidón del sorgo frente a la de otros cereales como el maíz nutricionalmente similares, se observa que el porcentaje de almidón digerido para el sorgo germinado en este trabajo, es significativamente menor y ligeramente inferior o comparable a la digestibilidad del almidón en algunas leguminosas, como el haba o algunos tipos de frijol que clasifican en almidón tipo C, las cuales, junto al almidón tipo B, son las más resistentes a la amilasa pancreática (22). La digestibilidad del almidón del sorgo nativo y germinado sometido a un proceso previo de gelatinización tuvo valores más altos que aquellos que no se sometieron a este. Lo anterior se explica porque el proceso de gelatinización produce un fraccionamiento de los gránulos de almidón y una mayor solubilización de este, gracias a los procesos de absorción de agua e hinchamiento (23).

De igual forma la molienda, después del secado de diversas leguminosas sometidas a cocción, causó un aumento en la hidrólisis del almidón, debido a la destrucción de la estructura celular de los tejidos del cotiledón (24). Otra asociación que se ha encontrado es que los granos de sorgo ricos en kafirina, contenidos en los cuerpos proteicos, también reducen la capacidad de gelatinización del almidón al permanecer los gránulos de almidón ligados a la matriz proteica, impidiendo el acceso a las enzimas (25). Es importante también considerar la fuente botánica del sorgo utilizado, puesto que se ha encontrado que la digestibilidad del almidón es mayor en el almidón de endospermo harinoso que en almidón de endospermo vítreo, en el cual al parecer hay un menor acceso de la amilasa (1,22).

Las pérdidas por molienda probablemente se debieron al calentamiento que generalmente ocurre por la fricción y movimiento del material dentro del molino durante el proceso; lo cual ocasionó la migración de humedad al aire y por ende una reducción en el peso. Adicionalmente, el aumento de la merma se debió a la pérdida de partículas muy finas hacia la atmósfera. El mayor porcentaje de harina se obtuvo con tamaños de partícula mayores de 500 y 355 μm .

Con la distribución de tamaño lograda en este trabajo se pudo seleccionar una fracción adecuada tanto en rendimiento como en tamaño de partícula, para ser usada en la elaboración de pasta alimenticia. De igual manera, se presume que el mayor contenido de proteína presente en los tamaños de partículas mayores se debió a la molturación seca realizada, la cual no produjo un buen fraccionamiento del endospermo en sus componentes químicos: almidón y proteína. En cuanto al contenido de almidón, se presume, que como el grano de sorgo presenta un endospermo córneo y uno harinoso, las partículas de mayor tamaño corresponden al primero, debido a que este presenta una textura más dura, lo cual dificulta la reducción de tamaño cuando no se lleva

a cabo un proceso de atemperado. En este caso las partículas de menor tamaño estarían compuestas por endospermo harinoso. Adicionalmente, las fracciones de menor tamaño estarían también compuestas por pequeños trozos de pericarpio, los cuales a su vez incrementan el contenido de almidón en las últimas fracciones, porque el sorgo, a diferencia de otros cereales, contiene granos de almidón en su pericarpio que oscilan entre 1 y 4 μm . Esta distribución del pericarpio en las últimas fracciones también se le atribuye al tipo de molturación, debido a que otro objetivo del atemperado en la molienda húmeda es poner correoso al salvado para que se resista a ser dividido en pequeños trozos durante la molturación (26).

En comparación con otros autores, Toht y colaboradores (8) encontraron un mayor contenido de proteína en la harina de trigo de invierno obtenida a partir de molienda con rodillos, a medida que disminuía el tamaño de partícula. Estos autores argumentan que en trigo el mayor porcentaje de proteína obtenido en la última fracción ($>63 \mu\text{m}$) se debe a que el salvado y la capa de aleurona rica en proteína quedaron distribuidas en las últimas fracciones. De igual manera, Bolade y colaboradores (9) encontraron un aumento en el contenido de proteína en harina de maíz, en proporción a la disminución del tamaño de partícula. Este resultado lo atribuyen a la unión de la matriz proteica con los gránulos de almidón de mayor tamaño, la cual es más débil que con los gránulos de tamaño inferior, distribuyéndose de esa manera la mayor parte de proteína en las últimas fracciones. Los resultados de estos autores difieren con los obtenidos en el presente trabajo, debido, probablemente, a los tamices utilizados. Cabe resaltar que en la fracción correspondiente a 150 μm se observa un leve incremento de proteína en la harina de sorgo, el cual es estadísticamente igual a la fracción de 355 μm . Posiblemente, si se hubiera usado tamices con aberturas inferiores a 150 μm , se hubieran obtenido porcentajes más altos

de proteína en las últimas fracciones. Lo anterior, es debido a que partículas más pequeñas están compuestas por trozos de matriz proteica o pequeños granos de almidón con proteína adherida, siendo más ricas en proteína (26).

El mayor porcentaje de sólidos solubles en las inclusiones de 15 y 20% fue debido, posiblemente, a dos factores: el contenido proteico y la diferencia en la granulometría. El sorgo no posee las proteínas que conforman el gluten, el cual le da las características especiales a la masa para la elaboración de productos como el pan y la pasta. Entre estas características se encuentran la extensibilidad y las propiedades viscoelásticas. Estas proteínas que conforman el trigo durum, principalmente gluteninas y gliadinas (escasamente solubles en agua), forman puentes disulfuro intra e intermoleculares durante el proceso de elaboración de la pasta, lo cual conduce a la formación de una red de gluten de tres dimensiones que atrapa y encapsula el almidón, permitiendo la conservación del producto durante su cocción. Por lo tanto, la mayor inclusión de sorgo, material que no aporta gluten, en las últimas sustituciones, probablemente, disminuyó la fuerza del gluten, debilitando la estructura general de los fideos, lo que conllevó a la disolución del almidón en el agua de cocción (23, 27). Por el contrario, a una inclusión del 10%, no se produce una disminución importante en el contenido de gluten, que afecte la calidad de la pasta. La sustitución de la sémola, por sorgo, representa una disminución en el contenido de gluten y por ende una pasta de calidad diferente. El sorgo tiene mayor contenido de albúminas y globulinas, solubles en agua, por lo tanto compiten por esta con las proteínas de reserva o insolubles en agua, que son las que intervienen en el proceso de formación de la masa. Adicionalmente, la diferencia en la distribución de tamaño de partícula de la sémola de trigo y la fracción de sorgo utilizada influye tanto en la hidratación de la masa como en la uniformidad de la misma, se disminuye la estabilidad

a la cocción al aumentar la sustitución de sorgo en la mezcla. Esto se puede corroborar con los resultados obtenidos por Torres y colaboradores (28), quienes elaboraron una pasta alimenticia con germen desengrasado de maíz, a un nivel de inclusión del 25%, obteniendo una pérdida de sólidos solubles de 82% en relación con la pasta control. La mayor pérdida de sólidos solubles obtenida en el estudio, se debió posiblemente a la granulometría de la harina de maíz usada, la cual correspondió a 180 μm . Esto, probablemente, permitió una mayor hidratación en la harina de maíz, en comparación con la sémola de trigo, debido que a menor tamaño de partícula se produce una hidratación más rápida de la harina lo cual, seguramente, conllevó a la formación de una masa no homogénea, que se disolvió al momento de la cocción.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra dos opciones del uso del sorgo en la alimentación humana, ya sea nativo o germinado. El proceso de germinación de las

semillas de sorgo, en las condiciones estudiadas, redujo el contenido de humedad y grasa y no produjo cambios significativos en el contenido de proteína, cenizas y fibra dietaria. La digestibilidad del almidón del sorgo aumenta con el proceso de germinación. Por otra parte, el tamaño de partícula afectó la calidad nutricional de la harina de sorgo, presentándose un mayor contenido de almidón en las fracciones inferiores correspondientes a 250, 212, 180 y 150 μm y un mayor porcentaje de proteína en las fracciones de 500, 355 y 150 μm . Con un nivel de inclusión de sorgo del 10% y de tamaño de partícula de 355 μm se pueden preparar pastas alimenticias conservando la estabilidad durante la cocción.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo financiero del programa en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (PECTA) de la Universidad Nacional de Colombia.

Los autores expresan sus agradecimientos al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA).

Referencias

1. Wong J, Lau T, Cai N, Singh J, Pedersen J, Vensel W, et al. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. *J Cereal Sci.* 2009;49:73-82.
2. Dendy D, Dobraszczyk B. Cereales y productos derivados: química y tecnología. Zaragoza: Acribia; 2001.
3. Malekzadeh R, Sachdev A, Fahid A. Coeliac disease in developing countries: Middle East, India and North Africa. *Best Pract Res Clin Gastroenterol.* 2005; 19:351-58.
4. ICRISAT, FAO. La economía del sorgo y el mijo en el mundo. hechos, tendencias y perspectivas. Roma; 1997. [citado diciembre 2009]. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?isbn=9253038616>
5. FAO. El sorgo y el mijo en la nutrición humana. Roma; 1995 [citado diciembre 2009]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0818s/t0818s00.HTM>.
6. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Programa Internacional de Sorgo y Mijo. Alternativas tecnológicas de la harina de sorgo. Nicaragua: INTA; 2009. [citado diciembre 2009]. Disponible en: <http://intsormil.org/smscientificpubs/smposters/PLEGABLE%20Sorgo%20Industrial.pdf>.
7. Smith C, Frederiksen R. Sorghum: origin, history, technology and production. New York: Wiley and Sons; 2001.

Sorgo para nutrición humana

8. Tóht A, Prokisch J, Sipos P, Széles E, Mars E, Gyóri Z. Effects of Particle size on the quality of winter wheat flour, with a special focus on macro-and microelement concentration. *Comm Soil Sci Plant Anal.* 2005;37:2659-72.
9. Bolade M, Adeyemi I, Ogunsua A. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize based nonfermented food gel. *Int J Food Sci Tech.* 2009;44:646-55.
10. Serna S. Refinación de almidón y producción de jarabes glucosados a partir de sorgo y maíz. *Transferencia.* [revista en Internet]. 1998 [citado noviembre de 2008];10. Disponible en: <http://www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/Transferencia42/eli-01.htm>.
11. FAO. Manual técnico: forraje verde hidropónico. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina; 2001. [citado de noviembre 2008]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/009/ah472s/ah472s00.htm>.
12. Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis. 16 ed. Washington: AOAC; 1998.
13. Goñi I, García A, Calixto F. A starch content hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr Res.* 1997;17:427-37.
14. Holm J. Factors affecting enzymic available of starch *in vitro* and *in vivo*. [Tesis de Doctorado]. Stockholm: University of Lund; 1998.
15. Anderson R, Conway H, Pfreifer V, Griffin, E. Gelatinization of corn grits by role and extrusion cooking. *Cereal Sci Today.* 1969;14:4-12.
16. Codex Alimentarium. Norma del Codex para el sorgo en grano: Codex Stan 172-1989. Roma: FAO, OMS; 1989. [citado diciembre 2009]. Disponible en: www.codexalimentarius.net/download/standards/57/CXS_172s.pdf.
17. Elmaki H, Babiker E, Tinay A. Changes in chemical composition, grain malting, starch and tannin contents and protein digestibility during germination of sorghum cultivars. *Food Chem.* 1998;64:331-6.
18. Traoré T, Mouquet C, Icard C, Traoré A, Tréche S. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and a-amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso). *Food Chem.* 2004;88:105-14.
19. Ratikanta M. Sorghum science. 2 ed. Washington: Science Publishers; 1996.
20. Khatoon N, Prakash J. Nutrient retention in microwave cooked germinated legumes. *Food Chem.* 2006;97:115-21.
21. Ahmed S, Mahgoub S, Babiker B. Changes in tannin and cyanide contents and diastatic activity during germination and the effect of traditional processing on cyanide content of sorghum cultivars. *Food Chem.* 1996;56:159-62.
22. Ezeogu L, Duodo K, Taylor J. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the *in vitro* starch digestibility of sorghum and maize flours. *J Cereal Sci.* 2005;42:33-44.
23. Fennema O. Química de los alimentos. 2 ed. Zaragoza: Acribia; 2000.
24. Vargas A, Osorio P, Agama E, Morales L, Bello L. Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) *Interciencia.* 2006;31:881-4.
25. Duodo K, Taylor J, Belton P, Hamaker B. Factors affecting sorghum protein digestibility. *J Cereal Sci.* 2003;38:117-31.
26. Hosene R. Principios de ciencia y tecnología de cereales. Zaragoza: Acribia; 1991.
27. Kill R, Turnbull K. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Zaragoza: Acribia; 2004.
28. Torres A, Rodríguez M, Guerra M, Granito M. Factibilidad tecnológica de incorporar germen desengrasado de maíz en la elaboración de pasta corta. *An Venez Nutr.* 2009;22:25-31.