

Efecto de la cocción sobre la digestibilidad proteica del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Agudelo R.A., Alarcón O.M., Fliedel G.

Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

RESUMEN. Los cambios en la digestibilidad de las proteínas que ocurren durante la cocción han interesado a muchos científicos. Por esta razón en el presente estudio se evaluó el efecto de la cocción en agua sobre la digestibilidad proteica in vitro (DPIV) de granos de sorgo sin taninos (SST) o con taninos previamente detoxificados (SPD) y se comparó con la del arroz y la del maíz. También se estudió la influencia de los sulfitos presentes en el agua de cocción sobre la digestibilidad proteica del sorgo. La DPIV de SST antes de la cocción fue del 71.1%, menor ($p < 0.05$) que la del SPD, la del maíz y la del arroz pulido, que presentaron respectivamente 80.4%, 80.8% y 90.6%. Todos los granos disminuyeron su digestibilidad después de ser cocidos en agua, la DPIV se redujo en 23.1%, 66.3%, 3.1% y 3.2% para el SST, el SPD, el arroz pulido y los endospermos de maíz, respectivamente. Los valores de la digestibilidad proteica para el SST y el SPD tratados con bisulfito de sodio (0.1M) fueron de 65.2 y 50.1% lo cual representa una disminución de la DPIV de 8.0 y 37.7%, respectivamente. Resultados similares se obtienen con el empleo de metabisulfito de sodio (0.1M) en el medio de cocción. Estos hallazgos demuestran que los sulfitos impiden la disminución brusca de la DPIV de los granos de sorgo sometidos a cocción y sugieren que estos compuestos pueden evitar la formación de los puentes disulfuro entre las moléculas de la γ -kafirinas (prolaminas) localizadas en la superficie de los cuerpos proteicos del sorgo. Sin embargo, no se descarta la existencia de otros factores que deberán ser estudiados en investigaciones ulteriores. En conclusión, puesto que los sulfitos previenen la formación de puentes disulfuros durante la cocción y hacen al sorgo más digerible por la pepsina, probablemente la formación de los puentes -S-S- es la responsable de la disminución de la digestibilidad proteica del sorgo cocido.

Palabras clave: Sorgo, digestibilidad proteica, taninos, bisulfito de sodio, metabisulfito de sodio.

INTRODUCCION

El sorgo, debido a su rusticidad, es de alto interés económico para las zonas semiáridas del planeta, ya que se puede cultivar en regiones cálidas y secas, que presentan condiciones desfavorables para el desarrollo de otros cereales tropicales, como el maíz y el arroz. Dentro de los cereales, algunas variedades de sorgo contienen taninos condensados que le confiere ventajas agronómicas (1-4) en aquellas regiones donde el ataque de pájaros constituye un verdadero problema económico, pero que disminuyen su calidad nutricional (5-7).

SUMMARY. Effect of cooking on the protein digestibility of sorghum. The changes in protein digestibility that occur during cooking have interested many scientists. In this study the effect of cooking sorghum in water on the in vitro protein digestibility (IVPD) was evaluated using sorghum grains not containing tannin (SST), and grains containing detoxified tannin (SPD). The results were compared with rice and maize. The effect of sulfitos present in the water used for cooking was also determined. The IVPD of sorghum excent of tannins before cooking was 71.1% smaller ($p < 0.05$) than that obtained for corn (80.8%), polished rice (90.6%) or sorghum with detoxified tannins (80.4%). After cooking in water the IVPD decreased to 23.1%, 66.3%, 3.1% and 3.2% for SST, SPD, polished rice and corn endosperms, respectively. The IVPD of SST and SPD treated with 0.1M sodium bisulfite was 65.2 and 50.1%, which corresponds to a decrease in IVPD of 8.0 and 37.7%, respectively. Similar results were obtained when 0.1M sodium metabisulfite is added to the cooking media. These findings demonstrate that sulfitos inhibit the sudden decrease of the IVPD of cooked sorghum grains, and suggest that these compounds may block the formation of disulfide bridges (-S-S-) among the γ -kafirins molecules located on the surface of the sorghum protein bodies or possibly other factors involved which will be later studied.

Key words: Sorghum, protein digestibility, tannins, sulfitos.

Por esta razón es necesario un tratamiento tecnológico que neutralice este efecto negativo de los taninos y, de esta manera, mejorar su utilización. Los granos sin taninos (detoxificados) se pueden procesar artesanal o industrialmente para elaborar diversos productos que tradicionalmente se obtienen del maíz (8-10).

El sorgo se consume en muchas regiones en forma de granos enteros cocidos, atoles, couscous, galletas, etc., preparaciones que necesariamente requieren de un tratamiento térmico para su elaboración. Sin embargo, Hamaker et al. (11) han señalado que los granos de sorgo con o sin taninos

disminuyen su digestibilidad proteica, en 24.5%, durante la cocción, debido posiblemente a la formación de puentes disulfuro (-S-S-) entre las moléculas de proteínas. Las kafirinas y las glutelinas son las principales proteínas presentes en el endospermo del sorgo. Las primeras se concentran en la superficie de los cuerpos proteicos, mientras que las segundas se localizan en la llamada matriz proteica (12). En relación a esto, Hamaker et al. (13), mediante la electroforesis en gel, demostraron que las kafirinas son la fracción proteica responsables de la disminución de la digestibilidad en el sorgo cocido. Por esta razón, los cambios que ocurren en las kafirinas durante la cocción son de gran interés y están siendo muy estudiados.

Las kafirinas pueden ser clasificadas en α -, β - y γ -kafirinas (14), en base a su composición de aminoácidos, su peso molecular y su solubilidad. En el endospermo vítreo, éstas representan 80-84%, 7-8% y 9-12% respectivamente (15), Shull et al. (16) han señalado que las γ -kafirinas poseen un alto contenido de cistina y se ubican en la periferia de los cuerpos proteicos, envolviendo su porción central, constituida básicamente por α -kafirinas.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la cocción en agua sobre la digestibilidad proteica de granos de "sorgo sin taninos" o "con taninos previamente detoxificados" y se comparó con la del arroz y el maíz. Simultáneamente se estudió como afecta a la digestibilidad proteica del sorgo, la presencia de sulfitos en el agua de cocción.

MATERIALES Y METODOS

Granos

Se utilizó granos de sorgo sin taninos (híbrido Chaguaramas III) y sorgos con alto contenido de estos polifenoles (híbrido Prosorgo 6) producidos en la estación experimental de Chaguaramas, Estado Guárico (Venezuela) por la firma Protinal C.A., a los cuales se les eliminó las glumas y se limpiaron cuidadosamente.

Los granos de híbridos Chaguaramas III se pelaron por abrasión hasta un rendimiento entre 75 y 80%; a este material se le denominó "sorgo sin taninos, pelado". El híbrido rico en taninos se detoxificó y se designó como "sorgo detoxificado".

Para comparar la digestibilidad proteica del sorgo con la de otros cereales tropicales se utilizó granos de arroz pulido, de una marca comercial venezolana, y endospermos de maíz blanco obtenidos en el comercio.

Detoxificación de los granos de sorgo ricos en taninos

Para eliminar los taninos, los granos de híbrido Prosorgo 6 se pelaron en una pulidora para arroz, tipo abrasiva (marca Suzuki), hasta un rendimiento comprendido entre 75 y el 80% y se humedecieron hasta 30% de agua con una solución de ácido acético (1% v/v), en una proporción del 25% (v/p) de la solución ácida en relación al peso total de los granos. Los granos de sorgo pelados y humedecidos se mantuvieron du-

rante 7 días a temperatura ambiente ($20 \pm 3^\circ\text{C}$), en recipientes herméticamente cerrados.

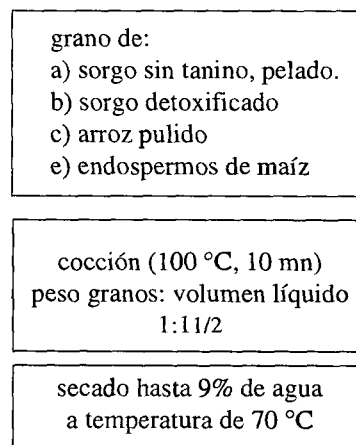
Los taninos se determinaron según el método de Price et al. (17) con cloruro de vanilina. Para la extracción sucesiva de los taninos a los granos finamente molidos se utilizó metanol puro (p. a.) y la mezcla metanol: HCl (99:1). A una alícuota del extracto se le añadió solución de vanilina y la intensidad del color desarrollado se leyó a 500 nm. La curva estándar se preparó a partir de catequina y los resultados se expresaron como equivalentes de catequina (EC).

Cocción de los granos

El procedimiento utilizado se esquematiza en la Figura 1. Los distintos cereales: "sorgo sin taninos, pelados", "sorgo detoxificado", "arroz pulido" y los "endospermos de maíz" se sometieron a cocción en agua destilada hirviendo a pH 7.0, durante 10 minutos. La proporción peso de granos y volumen de líquido de cocción fue de 1:1 1/2, respectivamente. Una vez cocidos, los granos se secaron hasta un 9% de humedad en una estufa a 70°C . En el caso de los granos de "sorgo sin taninos, pelados" y "sorgo detoxificado" también se utilizó como medios de cocción, soluciones de metabisulfito de sodio y de bisulfito de sodio 0.1M.

FIGURA 1

Cocción de los granos



Calidad nutricional

Para estimar la calidad nutricional se evaluó la digestibilidad de las proteínas in vitro (DPIV) por el método de Mertz et al. (18) modificado por Rom et al. (19). La muestra a analizar se molió finalmente, hasta lograr partículas inferiores a 0,4 mm, luego se sometió a la acción de la pepsina (1,5 mg/ml) durante 2 horas, a 37°C y a pH 2,0. Después de centrifugar, el contenido de proteínas no digerido por la acción enzimática se determinó por el método de Kjeldahl. La DPIV se expresó como el porcentaje de proteínas digerido en relación al contenido proteico total de la muestra. La DPIV se determinó en todas las muestras, antes y después de la cocción respectiva.

En el caso específico del híbrido Prosorgo 6, la digestibilidad se evaluó al iniciar y al finalizar el proceso de detoxificación.

Análisis estadístico

Cada experiencia se realizó por triplicado y los resultados se expresaron como medias \pm desviación estándar. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza de una vía y se compararon mediante la prueba de rango múltiple de Duncan, para un nivel de confiabilidad α del 5% (20,21).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se muestra que el proceso de detoxificación empleado eliminó completamente los taninos. El híbrido Prosorgo 6, que contenía 3,8% de EC antes del tratamiento, no presentó taninos al final del proceso. Por un lado, el pelado abrasivo removió buena parte de la capa periférica del grano o *testa*, donde se concentran los taninos condensados del sorgo (22). Después de pelados, los granos sólo mostraron 0,5% de EC. Por el otro, luego del almacenamiento en húmedo no se detectó la presencia de taninos en los granos, tal vez debido al hecho que éste produce una repolimerización entre los taninos, disminuyendo su capacidad para formar complejos con otras sustancias químicas (23). La eliminación de los taninos prácticamente triplicó la digestibilidad proteica del grano, que se incrementó desde 26,3% a 80,4%.

TABLA 1

Cambios en el contenido de taninos y en la digestibilidad proteica del híbrido Prosorgo 6, durante el proceso de detoxificación

	Taninos ¹	DPIV ²
Grano entero	3,8 \pm 0,1	26,3 \pm 0,2
Después del pelado abrasivo	0,5 \pm 0,1	35,2 \pm 1,0
Después del almacenamiento en húmedo	0	80,4 \pm 1,5

1 Taninos como Equivalentes de Catequina

2 Digestibilidad de proteínas in vitro.

En la Figura 2 se muestran la DPIV antes y después de someter los cereales a una cocción en agua. El "sorgo sin taninos, pelado" presentó una digestibilidad (71,1%) ligeramente inferior a la de los otros cereales. El "sorgo detoxificado", por su parte, mostró una digestibilidad (80,4%) similar a la de los endospermos de maíz (80,8%) y a la del arroz pulido (90,6%). Después de la cocción se observó una disminución de 66,3%, 3,1% y 3,2% para el sorgo detoxificado, el arroz pulido y los endospermos de maíz, respectivamente (Tabla 2).

FIGURA 2

Digestibilidad de las proteínas de los cereales antes y después de la cocción en agua

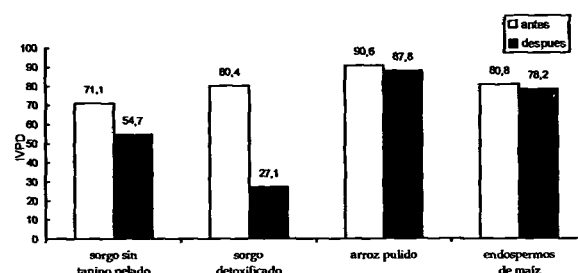


TABLA 2

Digestibilidad de proteínas in vitro antes y después de la cocción de los granos¹

	DPIV ² antes de la cocción	DPIV ² después de la cocción	Disminución de la DPIV ²
Sorgo sin taninos pelado	71,1 \pm 0,9 ^c	54,7 \pm 0,2 ^c	23,1%
Sorgo detoxificado	80,4 \pm 1,2 ^b	27,1 \pm 1,9 ^d	66,3%
Arroz pulido	90,6 \pm 1,4 ^a	87,8 \pm 1,4 ^a	3,1%
Endospermos de maíz	80,8 \pm 0,7 ^b	78,2 \pm 1,1 ^b	3,2%

1 Promedios seguidos por letras diferentes en una misma columna indican que son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

2 Digestibilidad de proteínas in vitro.

Estos resultados concuerdan, en parte, con los publicados por Mertz et al. (18) quienes demostraron que la digestibilidad enzimática de las proteínas del trigo (85,5%), del maíz (85,3%) y del arroz (83,8%) es superior a la del sorgo crudo (59,0%); sin embargo, el valor de esta digestibilidad proteica para el sorgo es significativamente inferior al observado en la presente investigación, para un sorgo sin taninos. Nuestros resultados demuestran que la cocción de los granos en agua disminuye su digestibilidad proteica, en especial en los "sorgos detoxificados" y en los "sorgos sin taninos, pelados", lo cual corrobora los trabajos previos de Hamaker et al. (13), aunque esta tendencia no se observó en el maíz, donde los valores se mantuvieron casi constantes. En base a estos resultados, Hamaker et al. (13) concluyeron que las proteínas del sorgo crudo son casi tan digeribles como las del maíz crudo. Sin embargo, con la cocción, las prolaminas del sorgo se hacen mucho menos solubles y menos digeribles por la pepsina que las prolaminas del maíz. Estos mismos autores (24) sugieren que la disminución de la digestibilidad proteica del sorgo después de la cocción se debe a la formación de puentes disulfuro entre las moléculas de prolaminas (γ -kafirinas), ubicadas en la superficie de los cuerpos proteicos, que impi-

den, de esta manera, la acción enzimática de la pepsina sobre las proteínas del interior. Otros mecanismos que pudieran explicar los resultados de la presente investigación, debidos a la cocción, incluyen: a) alteración (o cambios) de la estructura química de las proteínas del sorgo y disminución de su digestibilidad, y b) formación de polímeros proteicos insolubles (o poco solubles) unidos por puentes disulfuros que disminuyen la digestibilidad proteica.

Bookwalter et al. (25) también observaron una disminución de la DPIV cercana al 16%, una vez que los granos de sorgo sin taninos era cocidos en agua, siendo este fenómeno menos perceptible al realizarse sobre hojuelas de avena, harina de trigo o endospermos de maíz. En contraste, Serna-Saldivar et al. (26) encontraron una disminución significativa de la DPIV, tanto en el sorgo como en el maíz, una vez que estos cereales son sometidos a una cocción alcalina para la fabricación de tortillas tipo mexicanas. Hamaker et al. (24) consideran que a pesar de que el maíz y el sorgo pertenecen a la misma tribu botánica *Andropogoneae* y de que sus prolaminas son muy similares en cuanto a composición de aminoácidos, estructura y localización alto grado de secuencia peptídica y reactividad cruzada para los anticuerpos, éstas tienen un comportamiento distinto en la DPIV una vez que son cocidos en agua. El tratamiento térmico bajo presión o extrusión, contrariamente a la cocción a presión normal, aumenta la digestibilidad proteica del sorgo a valores superiores a las del grano crudo, con un cambio concomitante en las clases de prolaminas L-M en una proporción similar a las que se encuentran en el maíz y en el mijo (24).

En la Figura 3 se demuestra que la presencia de bisulfito de sodio, en el medio de cocción, atenúa la disminución de la DPIV en los granos de "sorgo sin taninos, pelado" y en los de "sorgo detoxificado", con valores de digestibilidad de 65,2% y 50,1%, respectivamente, que se corresponden con disminución del 8,0% y del 37,7%. Resultados similares se obtienen cuando se utiliza el metabisulfito de sodio como medio de cocción de los granos. En este caso, el "sorgo sin taninos, pelado" mostró una DPIV de 63,3% y el "sorgo detoxificado", una de 51,2%, lo que corresponde a reducciones en la digestibilidad de 11,0% y 36,6% respectivamente. No se detectaron diferencias significativas entre las DPIV de los tratamientos con bisulfito y con metabisulfito de sodio cuando se trata de un mismo tipo de sorgo (Tabla 3).

Nuestros resultados, en concordancia con los de Hamaker et al (11) indican que los agentes reductores presentes en el medio de cocción, al parecer, disminuyen la formación de puentes disulfuro entre las moléculas de kafirinas localizadas en la superficie de los cuerpos proteicos. Podemos finalmente indicar que a pesar de que los agentes reductores en el medio de cocción atenuaron la caída en la DPIV en los sorgos detoxificados, estos valores (50,1 y 51,2%) están muy por debajo de la digestibilidad obtenida en el presente estudio para el "sorgo sin tanino, pelado", lo cual sugiere una mayor

formación de puentes disulfuro (-S-S-) en la superficie de los cuerpos proteicos de estos granos.

FIGURA 3
Digestibilidad de proteínas in vitro antes y después de la cocción en los distintos medios

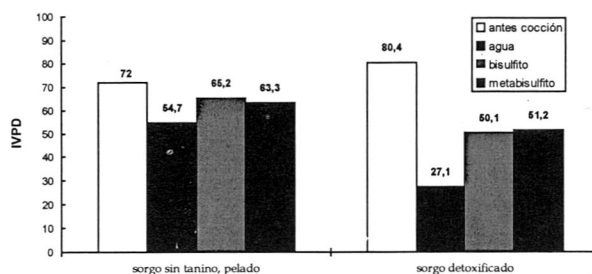
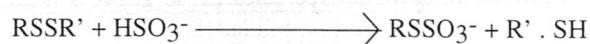


TABLA 3
Digestibilidad de proteínas in vitro antes y después de la cocción con sulfitos¹

	Sorgo sin taninos, pelado	Sorgo detoxificado
DPIV ² antes de la cocción	71,1±0,9a	80,4±01,2 ^a
DPIV ² después cocción en:		
agua	54,7±0,2 ^c	27,1±1,9 ^c
bisulfito de sodio	65,2±0,4 ^b	50,1±1,5 ^b
metabisulfito de sodio	63,3±1,7 ^b	51,2±1,1 ^b

- 1 Promedios seguidos por letras diferentes en una misma columna indican que son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).
- 2 Digestibilidad de proteínas in vitro.

En relación con el mecanismo de acción del bisulfito y del metabisulfito es interesante señalar que estos compuestos químicos con propiedades antioxidantes son ampliamente empleados como conservadores en la industria agroalimentaria y farmacéutica (27). El bisulfito, que no requiere ninguna activación metabólica, reacciona con gran número de componentes celulares. Según Petering y Shih (28), este compuesto reacciona reversiblemente in vitro con diversos aminoácidos, entre ellos la cistina y la cisteína. La reacción con cisteína o con las proteínas involucra la sulfitolisis de los puentes disulfuro:



La destrucción de diversos constituyentes celulares por las reacciones irreversibles de radicales libres asociados con la oxidación del sulfito a sulfato han sido reportados. Ejemplos son las reacciones con la metionina señalada por Inoue y Hayatsu (28). Un complejo proceso de cadena está compro-

metido en la oxidación del bisulfito a sulfato por el oxígeno, el cual genera especies tales como SO_3^- y OOH . El proceso funciona efectivamente a concentraciones de HSO_3^- de aproximadamente 0.01 M. Cualquiera de estos mecanismos pudiera estar involucrado en el efecto de estos compuestos para atenuar la disminución en la DPIV en los sorgos detoxificados, o bien la existencia de otros factores deberá ser estudiada en investigaciones ulteriores.

En conclusión, los hallazgos de la presente investigación demuestran que los sulfitos impiden la disminución brusca de la DPIV de los granos de sorgo sometidos a cocción y sugieren que estos compuestos pueden evitar la formación de los puentes disulfuro entre las moléculas de las γ -kafirinas (prolaminas) localizadas en la superficie de los cuerpos proteicos del sorgo, por diversos mecanismos: sulfitólisis, reacciones de radicales libres, destrucción de componentes de la estructura proteica, etc. Sin embargo, no se descarta la existencia de otros factores que deberán ser estudiados en investigaciones ulteriores. Puesto que los sulfitos previenen la formación de puentes disulfuros durante la cocción y hacen al sorgo más digerible por la pepsina, probablemente la formación de los puentes -S-S- es la responsable de la disminución de la digestibilidad proteica del sorgo cocido.

REFERENCIAS

- Bullard RW, York JO y Dilburn SR. Polyphenolic changes in ripening bird-resistant sorghums. *J Agric Food Chem*, 1981; 29:973-981.
- Woodhead S, Padgham DE y Bernays EA. Insect feeding on different sorghum cultivars in relation to cyanide and phenolic acid content. *Ann Appl Biol*, 1980; 95:151.
- Harris HB y Burns RE. Relationship between tannin content of sorghums grain and preharvest seed moulding. *Agron J*, 1983; 65:957-959.
- Hahn DH, Faubion JM y Rooney LW. Sorghum phenolic acid, their high performance liquid chromatography separation and their relation to fungal resistance. *Cereal Chem*. 1983; 60:255-259.
- Maxon ED, Rooney LW, Lewis RD, Clark LE y Johnson JW. The relationship between tannin content, enzyme inhibition, rat performance, and characteristics of sorghum grain. *Nutr Rep Int*, 1973; 8:145-152.
- Mehansho H, Betler L y Carlson D. Dietary tannins and salivary proline rich proteins: interactions, induction and defence mechanisms. *Ann Rev Nutr*, 1987; 7:443-440.
- Strumeyer DH y Malin MJ. Identification of the amylase inhibition form seeds of Leoti sorghum. *Biochim Biophys Acta*. 1969; 184:643-645.
- Bedolla S, De Palacios MG, Rooney LW, Diehl KC y Khan MN. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *Cereal Chem*, 1983; 60:263-268.
- Choto CE, Morad MM y Rooney LW. The quality of "tortillas" containing whole sorghum and pearled sorghum alone and blended with yellow maize. *Cereal Chem*, 1985; 62:51-55.
- Serna-Saldivar SO, Knabe DA, Rooney LW y Tanksley TD Jr. Effects of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chem*. 1987; 64:247-252.
- Hamaker BR, Kirleis AW, Butler LG, Axtell JD y Mertz ET. Improving the in vitro protein digestibility of sorghum with reducing agents. *Proc Natl Acad Sci. USA*. 1987; 84:626-628.
- Seckinger HL y Wolf MJ. Sorghum protein ultra-structure as it relates to composition. *Cereal Chem*. 1973; 50:455.
- Hamaker BR, Kirleis AW, Mertz ET y Axtell JD. Effect of cooking on the protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize. *J Agric Food Chem*. 1986; 34:647-649.
- Shull JM, Watterson JJ y Kirleis AW. Proposed nomenclature for the alcohol-soluble proteins (kafirins) of *Sorghum bicolor* (L. Moench) based on molecular weight, solubility, and structure. *J Agric. Food Chem*. 1991; 39:83-87.
- Watterson JJ, Shull JM y Kirleis AW. Quantification of α , β - and γ -kafirins in vitreous and opaque endosperm of *Sorghum bicolor*. *Cereal Chem*. 1993; 70:452-457.
- Shull JM, Watterson JJ y Kirleis AW. Purification and immunocytochemical localization of kafirins in *Sorghum bicolor* (L. Moench) endosperm. *Protoplasma*, 1992; 171:64-74.
- Price ML, van Scoyoc S, Butler LG. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J Agric Food Chem*, 1978; 2:1214-1218.
- Mertz ET, Hassem MM, Cairns-Whittem C, Kirleis AW, Tu L y Axtell JD. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. *Proc Natl Acad Sci. USA*. 1984; 81:1-2.
- Rom DL, Shull JM, Chandrashekar A y Kirleis AW. Effects of cooking and treatment with sodium bisulfite on in vitro protein digestibility and microstructure of sorghum flour. *Cereal Chem*. 1992; 69:178-181.
- Snedecor GW y Cochran WG. Statistical methods. 7th ed. The Iowa State University Press, Ames, Iowa. 1973; pp. 221-222.
- Ducan BD. Multiple range and multiple F-test. *Biometrics*. 1955; 11:1-42.
- Rooney LW y Sullins RD. The structure and its relation to processing and nutritional value. In: Proceedings of the Symposium on Sorghum and Millet as Human Food. London: Tropical Products Institute. 1976; pp. 91-109.
- Mitaru BN, Reichert RD y Blair R. Kinetics of tannin deactivation during anaerobic storage and boiling treatments of high tannin sorghum. *J Food Sci*. 1984; 49:1566-1568.
- Hamaker BR, Mertz ET y Axtell JD. Effect of extrusion on sorghum kafirin solubility. *Cereal Chem*. 1994; 71:515-517.
- Bookwalter GN, Kirleis AW y Mertz ET. In vitro digestibility of protein in milled sorghum and other processed cereals with and without soy-fortification. *J Food Sci*. 1987; 52:1577-1578.
- Serna-Saldivar SO, Knabe DA, Rooney LW, Tanksley TD Jr y Sproule AM. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *J Cereal Sci*. 1988; 7:83-94.
- Perrin-Ansart MC, Hanh T. Sur les sulfites employés comme conservateurs. *Cah Nutr Diet*. 1989; 24(4):291-297.
- Petering DH, Shih NT. Biochemistry of bisulfite-sulfur dioxide. *Environm Res*. 1975; 9:55-65.
- Inoue M, Hayatsu H. The interaction between bisulfite and aminoacids. The formation of methionine sulfoxide from methionine in the presence of oxygen. *Chem Pharm Bull*. 1971; 19:1286-1289.

Recibido: 28-02-1997

Aceptado: 17-11-1997