

EVALUACION FISICOQUIMICA DE PRODUCTOS EXTRUDIDOS CON MEZCLAS DE SORGO-MAIZ-SOJA

Rubén R. Gutiérrez¹ y Martha H. Gómez²

Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI),
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires, Salta, Argentina

RESUMEN

Se extruyeron mezclas de sémolas de maíz amarillo (M), sorgo marrón (SM), sorgo blanco (SB) y harina de soja sin desgrasar (S), utilizando un extrusor autógeno Brady Crop Cooker, a 195-200°C de temperatura y 11% de humedad. Se extruyeron mezclas binarias (70:30) de M:S, SM:S, y SB:S, y ternarias (30:40:30) de SM:M:S y SB:M:S. En estas condiciones, los extrudidos contenían aproximadamente 19% de proteínas y 6% de grasa, proporciones que están dentro de las especificaciones establecidas para mezclas de cereal/oleaginosa. Las mezclas crudas y extrudidas fueron analizadas por ES (susceptibilidad enzimática), WAI (índice de absorción de agua), WSI (índice de solubilidad en agua), MD (grado de modificación) y amilografía. Todas las mezclas sufrieron modificaciones en la fracción amilácea a nivel granular y molecular. Los extrudidos con sorgo marrón presentaron mayor degradación respecto a las mezclas con sorgo blanco y maíz:soja, teniendo estas últimas respuesta semejante a las técnicas analíticas.

Los extrudidos aumentaron considerablemente los valores de ES, WSI y MD, lo que hace suponer que se encontraban presentes productos de degradación tales como dextrinas. Las bajas viscosidades de la pasta cocida (50°C) y las fotomicrografías, confirman estos resultados. Por sus características funcionales, los extrudidos podrían usarse en alimentos base de preparaciones bebibles.

INTRODUCCION

La extrusión - cocción a alta temperatura por corto tiempo (HTST),

Manuscrito modificado recibido: 20-4-88.

- ¹ Ingeniero en Industrias de la Alimentación y becario de iniciación, CONICET, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- ² Ingeniera en Industrias de la Alimentación y Profesora Adjunta en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires 177, 4400 - Salta, Argentina.

es uno de los procesos tecnológicos de mayor versatilidad para cereales. Estos pueden usarse como materiales de alimentación, granos, sémolas, almidones y harinas. Se han elaborado productos diversos como alimentos para animales domésticos (1), fórmulas base con maíz, harina de soja y leche para niños (2), precocción de sémolas y harinas (3,4), almidones pregelatinizados y alimentos para aperitivos (5).

Durante el proceso de extrusión-cocción, la fracción amilácea de los cereales sufre modificaciones en su estructura granular bajo ciertas condiciones. Estas se manifiestan en pérdida de birrefringencia, cambios de viscosidad, solubilidad y absorción de agua, cohesividad, susceptibilidad enzimática, afinidad a colorantes y otros, variando las propiedades del producto final (6-8).

Se dispone de limitada información acerca de la extrusión de sorgo solo, o de mezclas con oleaginosas. Conway, Lancaster y Bookwalter (9), observaron que realizando la extrusión de sémolas de maíz o sorgo en condiciones de baja temperatura, alta humedad y bajo esfuerzo de corte, se obtienen productos aptos para ser usados en atoles o avenates espesos. En cambio, en condiciones de alta temperatura, baja humedad y alto esfuerzo de corte, los productos son adecuados para bebibles. Varios autores (3, 10-12) estudiaron el efecto de la extrusión sobre la gelatinización del almidón de maíz y sorgo. Señalaron la gran similitud entre los extrudidos de estos cereales siendo las únicas diferencias que el extrudido de sorgo daba un índice de absorción de agua (WAI), un índice de solubilidad en agua (WSI) y una viscosidad de la pasta cocida (50°C) levemente menores que el maíz, en condiciones similares de trabajo. Cheng (12) encontró que durante la extracción de sorgo, a medida que aumenta el contenido de humedad de alimentación, domina la reacción de gelatinización del almidón y que al disminuir el contenido de humedad, prevalece la reacción de dextrinización o de degradación del almidón.

Dada la amplia producción de sorgo granífero en nuestro país, se incorporó este cereal en las mezclas modelo, junto con soja con toda su grasa. El problema nutricional y de aceptabilidad que involucra la presencia de taninos en el sorgo granífero condujo a su descascarado.

El propósito del presente trabajo fue el de evaluar el nivel de modificación de la fracción amilácea de los extrudidos con sorgo de alto contenido en taninos. Los resultados se compararon con extrudidos de sorgo blanco con bajo contenido de taninos y con el extrudido de maíz:soja.

MATERIALES Y METODOS

Preparación de Mezclas

En el presente estudio se utilizaron dos tipos de sorgo: granos de sorgo marrón, con alto contenido de taninos, variedad Norkin 308 (INTA - Cerrillos, Salta), y granos de sorgo blanco con bajo contenido de taninos (INTA - Manfredi - Córdoba). Los granos de ambos fueron descascarados en forma continua en un molino abrasivo con piedras de carburo de silicio, y luego se molieron hasta una granulometría que pasaba la malla 14 (serie ASTM). Para la preparación de mezclas se utilizó, además, sémola de maíz amarillo comercial y granos de soja provenientes de

INTA-Cerrillos, Salta, que se descascararon y molieron hasta pasar la malla 14 (serie ASTM).

La extrusión-cocción se hizo con mezclas binarias: sorgo:soja (70:30) y maíz:soja (70:30); y ternarias: sorgo:maíz:soja (30:40:30). Estas proporciones fueron adoptadas en base a los puntajes químicos obtenidos de las mezclas, siendo el de maíz:soja (70:30) = 82.33; sorgo:maíz:soja (30:40:30) = 79.91 y el de sorgo:soja (70:30) = 76.77.

El contenido de humedad de la mezcla antes de la extrusión era de 10-11^o/o. Se utilizó un extrusor Brady 2160 Crop Cooker bajo las siguientes condiciones de trabajo: velocidad de tornillo, 1,000 rpm; caudal de alimentación, entre 450 y 500 kg/hr, temperatura alcanzada entre 195^o y 200^oC; en la descarga: relación L/D = 7.5/1. La máquina fue estandarizada con harina de soja.

Las mezclas crudas y extrudidas se molieron en molino de laboratorio y fueron tamizadas a través de malla 40 (serie ASTM).

Métodos Analíticos

El análisis proximal fue determinado de acuerdo al método de la AOAC (13).

Para caracterizar el nivel de modificación de la fracción hidrocarbonada se aplicaron las siguientes técnicas analíticas:

- * *Amilografía* — Se realizaron curvas amilográficas utilizando un viscoamilógrafo Brabender sobre suspensiones acuosas al 13^o/o de sólidos en base seca y 530 g de peso total. El calentamiento y enfriamiento se efectuó a un valor estándar de 11/2^oC por minuto. El ciclo fue estandarizado en un calentamiento de 29^o a 95^oC (44 minutos), permaneciendo a 95^oC (16 minutos) y luego un enfriamiento a 50^oC (30 minutos).
- * *Índice de solubilidad en agua (WSI) e índice de absorción de agua (WAI)* — Se siguió el método descrito por Anderson *et al.* (3). El WSI se define como los gramos de sólidos secos en 100 g de muestra (^o/o) y el WAI como los gramos de gel por gramo de muestra seca (g/g).
- * *Susceptibilidad enzimática (ES)* — Esta se determinó siguiendo el método de Gómez y Aguilera (7). Los resultados se expresan como g de maltosa por 100 g de muestra seca.
- * *Grado de modificación (M.D.)* — Se define como la relación de almidón modificado a almidón, total. Se calculó por medidas espectrofotométricas del complejo almidón-yodo formado en suspensiones acuosas de muestras antes y después de la solubilización completa del almidón por álcali (14).
- * *Pérdida de birrefringencia* — Se utilizó un microscopio de transmisión Wild Heerbrugg, observando con luz blanca y polarizada suspensiones acuosas 0.5 P/P, con un aumento de 400 veces.
- * *Diferencias de color* — Las muestras de harinas tamizadas en la malla 40 (serie ASTM) fueron evaluadas mediante un Hunter Lab Model D 25-2 Color Difference Meter, utilizando la escala L (calibrado L = 93.1).

Análisis Estadístico

- * *Análisis de varianza* — Se analizaron los datos para establecer comparación de medias, mediante la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

La composición proximal de las mezclas crudas y extrudidas se detalla en la Tabla 1. Según se observa, el contenido de grasa se redujo considerablemente en los extrudidos. Sin embargo, durante el proceso no se produjo pérdida de este componente, lo que podría deberse a que durante la extrusión se han producido interacciones de la grasa con otros componentes que no permiten su extracción con éter de petróleo.

Los extrudidos presentan valores de humedad (5.45 a 8.91^o/o), fibra (1.01 a 1.45^o/o), proteínas (18.5 a 20.8^o/o) y grasa (5.50 a 7.74^o/o) que están dentro de las especificaciones establecidas para alimentos obtenidos en el programa L.E.C. (Low-cost extrusion cooker) para países en vías de desarrollo. Para mezclas de maíz/soja y otras mezclas de cereal/leguminosa, recomiendan un contenido máximo de humedad y fibra cruda de 10 a 2^o/o, respectivamente; y requerimientos mínimos de 16.7^o/o y 6^o/o para proteínas y grasa, respectivamente.

Los resultados de varios métodos analíticos aplicados a las mezclas crudas y extrudidas se exponen en la Tabla 2. Todas las muestras extrudidas muestran propiedades físico-químicas significativamente diferentes de las del material crudo ($P < 0.01$).

En la Figura 1 se presentan curvas de viscosidad versus temperatura-tiempo, de suspensiones al 13^o/o P/P de mezclas crudas y extrudidas. En la zona de viscosidad inicial, o fría, todas las mezclas crudas mostraron viscosidad cero, ya que no habían sufrido gelatinización y no pueden producir efecto de espesamiento cuando se mezclan con agua fría. La zona de gelatinización se produjo entre 65^o y 80^oC. Las sémolas crudas que contienen sorgo blanco acusaron los valores más altos de viscosidad, y las mezclas con agregado de sorgo marrón comenzaron antes la gelatinización, pero presentando viscosidades menores, lo que supone el menor poder de gelatinización que presentan los almidones de sorgo marrón respecto al sorgo blanco. El agregado de maíz amarillo redujo la viscosidad de la pasta.

Todas las muestras extrudidas sufrieron modificaciones en la estructura del grano según lo revelaron las moderadas viscosidades en frío (Tabla 2). El espesamiento de las suspensiones en agua fría se debe a la disponibilidad de cadenas poliméricas que se vuelven solubles. Los extrudidos con sorgo marrón muestran pequeñas inflexiones en la zona de gelatinización, frente a los leves picos de viscosidad de las muestras con sorgo blanco. Esto sugiere que la cantidad de gránulos intactos es probablemente pequeña, y que deben haber presentes productos de degradación (dextrinas), por lo que estas mezclas extrudidas sólo pueden contener una mezcla de almidón gelatinizado y dextrinizado. El extrudido maíz:soja (70:30) muestra un comportamiento similar a las mezclas con sorgo blanco con un pico de gelatinización de 250 U.B. levemente superior (Figura 1).

Los datos de WAI y WSI se informan en la Tabla 2. En nuestras

TABLA 1
COMPOSICION PROXIMAL DE MEZCLAS DE ALIMENTACION, Y EXTRUDIDAS,
DE CEREAL: OLEAGINOSA

Composición ¹	Mezclas de cereal: leguminosa									
	Alimentación					Extrudidas				
	S _B :S (70:30)	S _M :S (70:30)	M:S (70:30)	S _B :M:S (30:40:30)	S _M :M:S (30:40:30)	S _B :S (70:30)	S _M :S (70:30)	M:S (70:30)	S _B :M:S (30:40:30)	S _M :M:S (30:40:30)
Proteína (Nx6.25)	20.53	19.82	19.66	19.48	19.14	20.80	19.24	18.50	19.64	18.91
Grasa	9.73	9.61	7.45	9.09	9.28	7.74	6.69	5.50	6.70	5.89
Fibra	1.67	1.69	1.40	1.48	1.45	1.45	1.33	1.01	1.35	1.29
Cenizas	3.12	2.76	2.22	2.56	2.37	2.78	2.48	2.16	2.34	2.22
Nifex ²	64.96	66.12	69.27	67.40	67.75	67.23	70.27	72.83	69.98	71.69
Humedad	10.10	11.20	11.72	10.32	10.65	5.45	6.95	8.91	6.30	6.45

1 Resultados en base seca.

2 Nifex: Extracto libre de nitrógeno. Según Inst. Brew (15).

S_B = Sorgo Blanco; S_M = Sorgo Marrón; M = Maíz; S = Soja.

TABLA 2

CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE MEZCLAS DE ALIMENTACION Y EXTRUDIDAS

Mezclas de cereal:leguminosa	Amilografia, 13 p/p		WAT ¹ (g/g)	WSI ¹ (o/o)	ES (g maltosa/ 100 g)	M.D. ¹ (o/o)
	P.V. 29°C U.B.	P.V. 50°C U.B.				
S _M :S (70:30)	0	580	1.76 ± 0.01	15.27 ± 0.48	5.88 ± 0.06	5.09 ± 0.08
S _M :M:S (30:40:30)	0	535	1.88 ± 0.05	15.89 ± 0.12	5.49 ± 0.12	5.53 ± 0.29
S _B :S (70:30)	0	1000	1.74 ± 0.09	18.24 ± 0.74	3.76 ± 0.10	7.30 ± 0.40
S _B :M:S (30:40:30)	0	810	1.88 ± 0.04	17.86 ± 0.27	5.57 ± 0.15	8.40 ± 0.59
M:S (70:30)	0	530	1.07 ± 0.10	17.90 ± 0.50	4.60 ± 0.00	10.08 ± 0.21
S _M :S (70:30)	220	60	3.56 ± 0.00	26.73 ± 0.17	9.58 ± 0.06	32.86 ± 1.94
S _M :M:S (30:40:30)	225	40	3.28 ± 0.04	28.15 ± 0.50	9.68 ± 0.12	30.49 ± 0.83
S _B :S (70:30)	220	100	3.20 ± 0.05	19.81 ± 0.80	9.04 ± 0.13	23.98 ± 0.33
S _B :M:S (30:40:30)	320	160	3.55 ± 0.07	20.85 ± 0.35	9.44 ± 0.12	27.10 ± 2.31
M:S (70:30)	240	150	4.40 ± 0.03	19.78 ± 0.20	9.30 ± 0.08	29.42 ± 1.36

¹ Promedio de dos determinaciones expresadas en base seca ± desviación estándar.

PV = Viscosidad de la pasta (29°C sin cocinar y 50°C cocinada); WAI = Índice de absorción de agua; WSI = Índice de solubilidad en agua; ES = Susceptibilidad enzimática; MD = Grado de modificación del almidón.

S_B = Sorgo blanco; S_M = Sorgo marrón; M = Maíz; S = Soja.

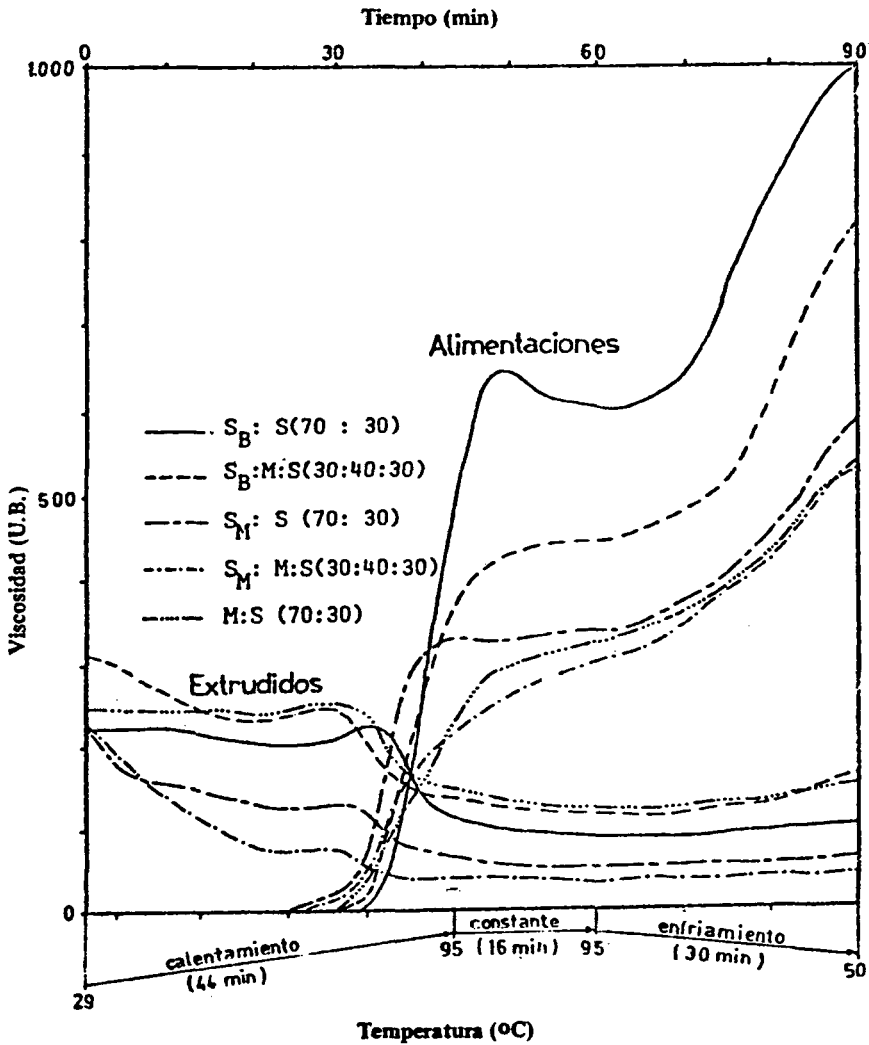


FIGURA 1

Curvas amilográficas de alimentaciones y productos extrudidos de mezclas con sorgo (suspensión al 13°/o P/P)

condiciones de trabajo (aproximadamente 11°/o de humedad), durante la extrusión se produjo una elevada temperatura en el extrusor y un gran esfuerzo de corte. Ello da una mayor degradación y rotura de los gránulos de almidón, si bien se observa que los valores de WAI en los extrudidos se han duplicado. Respecto a la alimentación que implicaría un mayor grado de gelatinización, también se ha producido degradación. Los datos obtenidos para todas las mezclas son muy semejantes. El valor de WSI aumentó

considerablemente en las mezclas extrudidas con sorgo marrón (de 15.30/o y 15.90/o a 26.70/o y 28.10/o) siendo un buen índice de degradación del almidón. Las mezclas crudas con sorgo blanco y maíz:soja (70:30) dieron los valores más altos de WSI, pero en los extrudidos incrementaron muy poco su valor. Estos valores están en estrecha concordancia con los obtenidos mediante las curvas amilográficas.

Con respecto a la ES, de la Tabla 2 surge que los extrudidos presentan aproximadamente duplicado su valor respecto a las mezclas crudas. En estas últimas, existe una pequeña variación en los valores supuestamente debida a las distintas operaciones físicas (descascarado, degerminado, reducción de tamaño) que se sometieron las mezclas. Los bajos valores de ES (4 a 6 g de maltosa/100 g) muestran un ataque a nivel granular facilitado por el daño mecánico producido durante la molienda. La fracción amilácea de los extrudidos ha sido dañada a nivel granular, lo suficiente como para liberar 9 a 9.7 g de maltosa/100 g de producto luego de un ataque con α -amilasa. Las mezclas extrudidas SM:S y SM:M:S dan valores mayores de ES (9.58 y 9.680/o) respecto a las mismas con sorgo blanco (9.04 y 9.440/o). En la Tabla 2 se aprecia que los extrudidos con sorgo marrón (32.86 y 30.490/o) presentan el mayor MD respecto a las mezclas con sorgo blanco (27.10 y 23.980/o). La menor degradación del almidón de sorgo blanco —indicada por los valores de ES y MD— corroboran los datos de viscosidad y WSI. Los datos para la mezcla M:S (70:30) extrudida de ES (9.36 g maltosa/100 g) y M.D. (29.420/o) son similares a los obtenidos con sorgo blanco (Tabla 2).

Con base en los datos analizados se podría suponer que los gránulos de almidón intactos en los extrudidos serían muy escasos. Las fotomicrografías de extrudidos con sorgo marrón muestran algunos gránulos birrefringentes rodeados por una masa amorfa de material modificado (Figura 2A, 2B y 2C). En las Figuras 2D y 2E se pueden ver gránulos de almidón crudo de sorgo marrón que presentan toda su estructura intacta y muestran la cruz de malta característica, bajo luz polarizada.

La evaluación de color realizada mediante la escala L del colorímetro Hunter Lab se observa en la Tabla 3. Las mezclas extrudidas de SM:S (70:30) y de SM:M:S (30:40:30) dan valores L de 67.75 y 70.70, frente a 78.75 y 81.40 correspondientes a mezclas con sorgo blanco. Existe una diferencia de reflexión cercana a 11 unidades, lo que se debe fundamentalmente a la presencia de pigmentos coloreados presentes en el tegumento del sorgo marrón. La mezcla M:S (70:30) da el valor L más alto (85.45). Como puede verse, la reflexión de las mezclas crudas resulta de la combinación de los materiales crudos. El proceso de extrusión no disminuye apreciablemente la reflexión, lo que indica que el desarrollo de pardeamiento no enzimático no afectaría la calidad del producto.

Se puede concluir que todas las mezclas extrudidas han sufrido una modificación significativa de la fracción amilácea ($P < 0.01$) a nivel granular y molecular, respecto a los materiales de alimentación al extrusor.

Los extrudidos con sorgo marrón acusan mayor degradación del almidón en contraste a los mismos con sorgo blanco, mientras que el extrudido M:S (70:30) muestra un comportamiento similar al de las mezclas con sorgo blanco.

En general, los extrudidos dan una baja viscosidad de la pasta cocida (500C) y una alta solubilidad en agua, debido a rotura de los gránulos de

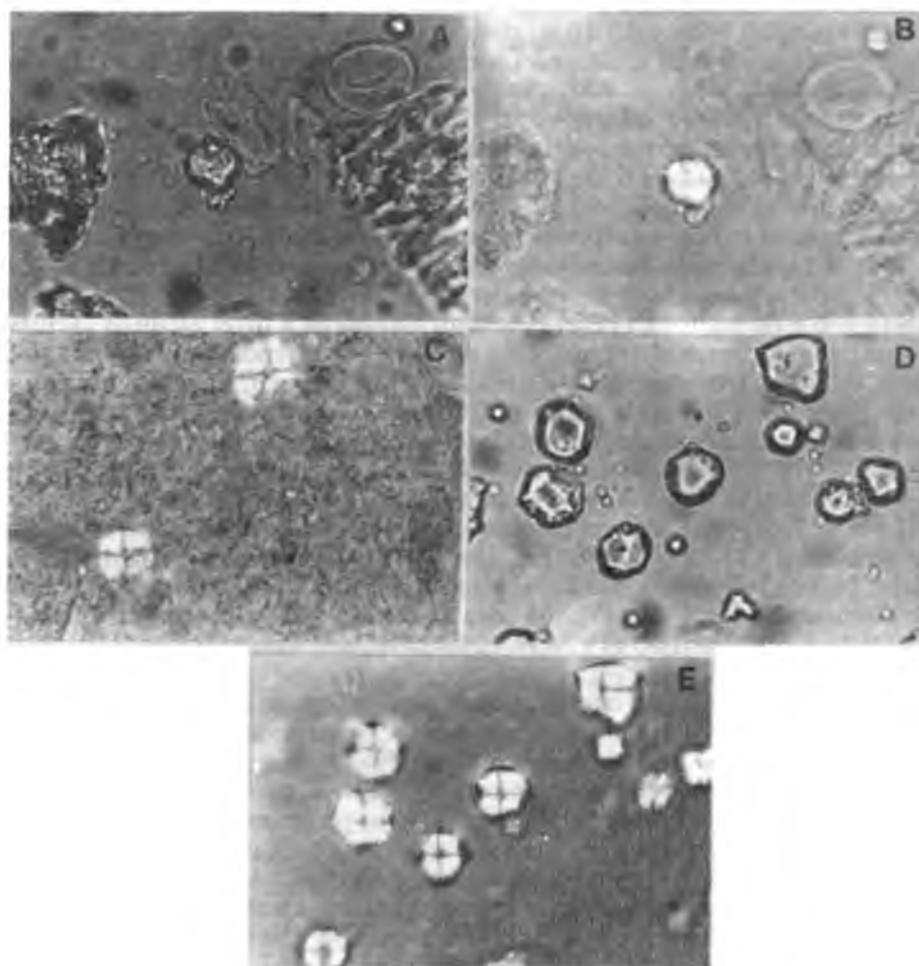


FIGURA 2

Fotomicrografías con aumento de 400 veces: (A) Extrudido SM:S (70:30) sin luz polarizada, y (B) con luz polarizada. (C) Extrudido SM:M:S (30:40:30) con luz polarizada. (D) Sorgo marrón crudo sin luz polarizada, y (E) con luz polarizada

almidón, dando productos gelatinizados-dextrinizados. Estos, por sus características funcionales, resultarían aptos para utilizar como ingredientes en la formulación de bebidas, aportando considerable cantidad de proteínas y grasas.

Un trabajo realizado conjuntamente con éste incluye estudios sobre estabilidad y calidad nutricional de las mezclas modelos sometidos a ensayo.

TABLA 3
EVALUACION POR LOS ATRIBUTOS DE COLOR DE LAS
MEZCLAS CRUDAS Y EXTRUDIDAS¹

Mezclas	Crudo	Extrudido
SM:S (70:30)	75.25 ± 0.05	67.75 ± 0.05
SB:S (70:30)	84.35 ± 0.05	78.75 ± 0.05
SM:M:S (30:40:30)	78.65 ± 0.05	70.70 ± 0.20
SB:M:S (30:40:30)	84.85 ± 0.15	81.40 ± 0.00
M:S (70:30)	85.50 ± 0.00	85.45 ± 0.05
Harina de soja ²	86.55 ± 0.05	—
Sémola de maíz	84.50 ± 0.00	—
Sorgo blanco ²	82.50 ± 0.00	—
Sorgo marrón ²	72.55 ± 0.05	—

Colorímetro Hunter Lab. (calibrado L = 93.1)

- 1 Promedio de dos determinaciones ± desviación estándar.
- 2 Material descascarado.

SUMMARY

PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF SORGHUM-EXTRUDED PRODUCTS

Yellow corn grits (M), brown sorghum (SM), white sorghum (SB) and full fat soy flour (S) blends were extruded in an autogenous Brady Crop Cooker extruder at 195-200°C and 11% moisture content. Binary blends (70:30) made up of M:S, SM:S and SB:S; and ternary blends (30:40:30) made up of SM:M:S and SB:M:S were extruded. Under these conditions, extrudates contained about 19% protein and 6% fat, which are within the specifications given for cereal/oil seed blends. Raw and extruded samples were analyzed for ES, WQI, WSI, MD and paste viscosity. All blends underwent modifications in the starch fraction at granular and molecular level. Brown sorghum extrudates presented higher degradation than those of white sorghum and corn:soy blends, although the last ones gave similar responses to analytical techniques.

Extrudates greatly increased their ES, SWI and MD values, suggesting that degradation products, like dextrans, were present. Cooked paste low viscosities (50°C) and micrographs support these findings. Because of their functional characteristics, extrudates could be used in beverages.

BIBLIOGRAFIA

1. Smith, O.B. Extrusion and forming: Creating new foods. *Food Eng.*, 47(7): 48, 1975.
2. Anderson, R.A., V.F. Pfeifer, G.N. Bookwalter & E.L. Griffin. Instant CSM blends for world-wide feeding. *Cereal Sci. Today*, 16:5, 1971.

3. Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfeifer & E.L. Griffin. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*, 14(1): 4, 1969.
4. Anderson, R.A., H.F. Conway, V.F. Pfeifer & E.L. Griffin. Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today*, 14(11):372, 1969.
5. Williams, M.A. Direct extrusion of convenience foods. *Cereal Foods World*, 22: 152, 1977.
6. Mercier, C. & P. Feillet. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.*, 52(3):284, 1975.
7. Gómez, M. & J. Aguilera. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. *J. Food Sci.*, 48:378, 1983.
8. Harper, J.M. *Extrusion of Foods*, Vol. I y II. Boca Ratón, Florida, CRC Press, Inc., 1981.
9. Conway, H.F., E.B. Lancaster & G.N. Bookwalter. How extrusion cooking varies product properties. *Food Eng.*, 40(11):102, 1968.
10. Conway, H.F. Extrusion cooking of cereals and soybean. Part 1. *Food Product Dev.*, 5(2):27, 1971.
11. Conway, H.F. Extrusion cooking of cereals and soybean. Part 2. *Food Product Dev.*, 5(3):27, 1971.
12. Cheng, T. *Characteristics and Storage Stability of Sorghum Extrudates*. Master Thesis, Texas A&M University, 1982.
13. Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 12th ed. Washington, D.C., The Association, 1975.
14. Wootton, M., D. Weeden & N.A. Munk. A rapid method for the estimation of starch gelatinization in processed foods. *Food Technol. in Australia*, 23:612, 1971.
15. Institute of Brewing Analysis Committee. Recommended methods of analysis. *J. Inst. Brew.*, 77:181, 1971.