

CARACTERIZACION FISICA DE EXTRUDIDOS PREPARADOS CON MEZCLAS DE HARINAS DE MAIZ QPM (*Zea mays* L.) Y FRIJOL LIMA (*Phaseolus lunatus* L.)

PHYSICAL CHARACTERIZATION OF EXTRUDATES PREPARED WITH BLENDS OF QPM MAIZE (*Zea maiz* L.) AND LIMA BEANS FLOURS (*Phaseolus lunatus* L.)

C. Pérez-Navarrete¹, R. H. Cruz-Estrada², L. Chel-Guerrero^{1*} y D. Betancur-Ancona¹

¹ Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería Química, Av. Juárez No. 421 Cd. Industrial, C. P. 97288, Apdo. Postal 26-A, Suc. Las Fuentes, Mérida, Yucatán, México.

² Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad de Materiales. Calle 43, No. 130 Colonia Chuburná de Hidalgo, C. P. 97200, Mérida, Yucatán, México.

Recibido 15 Julio 2005; Aceptado 2 Junio 2006

Resumen

Se evaluó el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades físicas de mezclas de harina de maíz QPM (*Zea mays* L.) (M) y frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.) (F), fuentes alternativas para la elaboración de productos extrudidos tipo "snack". Se prepararon harinas mixtas de maíz (M), con 11.7, 0.43 y 0.1 % de proteína, Lis y Trp respectivamente y frijol (F) con 24.8, 1.98 y 0.33 % de proteína, Lis y Trp respectivamente, mezcladas en las siguientes proporciones (% peso): 75M/25F, 50M/50F, 25M/75F. Estas fueron procesadas, además de la harinas de M y F, en un extrusor mono-husillo a 160 °C, 100 rpm y con una humedad del 12%. Las mezclas seleccionadas como las más adecuadas, a las condiciones establecidas, fueron la 75M/25F y la 50M/50F, ya que resultaron estadísticamente iguales ($p > 0.05$) en índice de expansión (1.61 y 1.46 respectivamente) y fuerza mecánica de ruptura por compresión (16.70 y 20.33 kgf respectivamente) y con valores de densidad de 298 y 494 kg/m³ respectivamente. Además, podrían suministrar una cantidad de proteína adicional, respecto del extrudido de maíz, del 28 al 56 %, 90 a 180 % más de Lis y 58 a 115 % más de Trp las mezclas de 25 y 50 % de frijón respectivamente.

Palabras clave: extrusión, maíz QPM, frijón lima, harinas mixtas.

Abstract

The effect of extrusion on the physical properties of four blends of QPM corn (*Zea mays* L.) (M) and lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) (F) were evaluated in order to use them in the preparation of extruded snack products. The corn flour contained 11.7 % protein, 0.43 Lys and 0.1 % Trp and the bean flour 24.8 % protein, 1.98 % Lys and 0.33 % Trp. The corn/bean blends were prepared in proportions of 75M/25F, 50M/50F and 25M/75F (% weight). These blends and, flours of M and F were processed, in a single-screw extruder at 160 °C, 100 rpm and 12 % moisture content. The 75M/25F and 50M/50F blends were the best under the trial conditions. These blends did not differ significantly ($p > 0.05$) in terms of expansion index (1.61 for 75M/25F; 1.46 for 50M/50F) and maximum force at break under compression (16.70 and 20.33 kgf respectively). They also had density levels of 298 kg/m³ for 75M/25F and 494 kg/m³ for 50M/50F. The 75M/25F blend provided 28 % more protein, 90 % more Lys and 58 % more Trp than the 100M, while the 50M/50F blend provided 56 % more protein, 180 % more Lys and 115 % more Trp than the 100M.

Keywords: extrusion, QPM maize, lima beans, flour blends.

1. Introducción

La palabra "snack" comúnmente se traduce del idioma inglés como "botana". Esta puede definirse como comida pequeña y ligera que debe cumplir con varias condiciones, tales como ser fáciles de manipular, estar listas para comerse, ser

accesibles, ser de tamaño pequeño, ya sea sólido o líquido, consistir en raciones individuales y lo más importante, deben satisfacer la sensación de hambre por un momento. Por lo general, las botanas no se consideraban como verdaderos alimentos, ya que son cuestionadas por su bajo valor

*Autor para la correspondencia: E-mail: cguerrer@uady.mx
Fax: +52 (999) 9460994

nutritivo. Sin embargo, han evolucionado de acuerdo a las exigencias de los consumidores. Uno de los procesos industriales más comunes para obtener dichos alimentos es la extrusión a altas temperaturas y presión por corto tiempo, debido a que este es uno de los procesos tecnológicos de mayor versatilidad para la elaboración de productos alimenticios a partir de granos de cereales y leguminosas (Delahaye y col., 1997; Hurtado y col., 2001). En la extrusión, los parámetros importantes que influyen en la calidad del producto terminado incluyen el contenido de humedad del material y el tiempo de residencia, el cual es influenciado por la velocidad de alimentación, velocidad y configuración del tornillo, geometría del dado, temperatura y presión. Particularmente, los atributos sensoriales de los extrudidos dependen en gran medida de las variables relacionadas con el equipo y con la composición química de la materia prima (Chen y col., 1991).

En el proceso de extrusión de alimentos el almidón es el componente que juega el papel más importante, ya que los cambios que sufre afectan la expansión y la textura final del producto extrudido (Lai y Kokini, 1991). Durante la extrusión la gelatinización del almidón puede ocurrir uniformemente a niveles del 20 % de humedad. Sin embargo, también se ha indicado que a bajos contenidos de agua se acentúa la gelatinización por los altos esfuerzos de corte del tornillo debido a la generación de calor como por la ruptura mecánica de los gránulos (Vasanthan y col., 2001).

La proteína es el segundo componente principal, durante la extrusión, ya que no todas las proteínas se comportan de manera similar. Por ejemplo, el gluten de trigo, se comporta muy diferente a la zeína del maíz, cuando se mezclan con agua para formar una masa. Esta masa de harina de trigo es cohesiva y elástica, mientras que la obtenida con la harina de maíz no es elástica y no tiene capacidad de estiramiento. Durante el proceso de extrusión las proteínas comienzan

a desnaturalizarse y cambiar de forma soluble a insoluble entre 60 °C a 70 °C (Huber, 2001).

Las condiciones de temperatura, presión y fuerzas cortantes a que se somete un producto alimenticio durante el proceso de extrusión pueden producir los siguientes fenómenos en su composición química: a) modificación de la estructura nativa de las macromoléculas por gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas (Mitchell y Areas, 1992), b) formación de moléculas complejas como amilosa-lípidos, lípidos-proteínas y proteínas-proteínas (Ho e Izzo, 1992), c) formación de enlaces cruzados intermoleculares, que da como resultado una estructura expandible y con cierta estabilidad (Ho e Izzo, 1992) y d) formación de almidón resistente (Unlu y Faller, 1998).

Los cereales (particularmente el maíz) son los más apropiados para la extrusión ya que debido a su elevado contenido de almidón, tienen excelentes propiedades de expansión, característica que es indispensable en este tipo de productos. La proteína de los cereales, tiene alto contenido de aminoácidos azufrados, pero bajo en lisina (Lis), respecto de los requerimientos establecidos por la FAO (1991). En contraste, las leguminosas (ej., *Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus lunatus* L.) tienen altos contenidos de proteínas, ricas en Lis pero deficientes en aminoácidos azufrados. Sin embargo los niveles de almidón son menores en comparación con los cereales. Es por esto, que por sí solas, las leguminosas no resultan ser los materiales adecuados para la extrusión.

Es generalmente conocido que el maíz normal tiene un elevado contenido de carbohidratos (73 %), mientras que el contenido de proteínas es significativamente menor (7 al 9 %), con un bajo nivel de aminoácidos esenciales principalmente Lis con 1.6 % y triptofano (Trp) con 0.47 % necesarios para el desarrollo humano;

mientras que los maíces de alta calidad proteínica (QPM) contienen en promedio 3.1 % de Lis y 1 % de Trp. Por otra parte, los granos de *Phaseolus lunatus* tienen un alto contenido de proteína (26 %) y de carbohidratos (56-60 %), con bajos niveles de grasa (1.3 %) y de fibra (3.2 %); alto contenido de minerales como Zn, K, Ca y Fe; y bajos niveles de Na y P. Se ha demostrado también que la metionina es el aminoácido limitante de sus proteínas (Oshodi y Adelanum, 1993).

Dado lo anterior, una mezcla de frijol y cereal sería una opción conveniente para proveer una composición balanceada de aminoácidos en diversos productos alimenticios que se elaboren a partir de ellos teniendo como objetivo el presente trabajo evaluar las propiedades físicas de productos extrudidos elaborados con mezclas de harina de maíz de alta calidad proteínica (QPM) y frijol lima, seleccionando la mezcla más adecuada para las condiciones de extrusión establecidas.

2. Materiales y métodos

2.1. Obtención y características de la materia prima

Los granos de *Phaseolus lunatus* L. provinieron del municipio de Escárcega, Campeche de la cosecha de 2002. El procedimiento de muestreo se realizó con el método de cuarteo, utilizando granos al azar. Después se eliminaron las impurezas, tales como basuras de cualquier tipo y granos rotos y los restantes se emplearon en la molienda. A una muestra de estos granos se les determinó la composición proximal, según los métodos de la AOAC (1997): nitrógeno (método 954.01), cenizas (método 923.03), fibra cruda (método 962.09), humedad (método 925.09) y el extracto libre de nitrógeno (ELN) fue calculado por diferencia. El nitrógeno fue determinado con un sistema Kjeltex (Tecator, Sweden) y la proteína se

calculó como nitrógeno x 6.25. El maíz con alta proteína (QPM), con un contenido de humedad de 10.2 %, fue proporcionado por el Instituto Nacional Indigenista (INI) y la variedad utilizada fue VS-537EC, Poza Rica 8763.

2.2. Obtención de las harinas

Los granos de maíz, así como los de *P. lunatus* L. seleccionados, fueron molidos sucesivamente en un molino de rodillos Cemotec 1090 y en uno de impacto Cyclotec (Tecator) y la harina se tamizó por una malla 200 para obtener un tamaño de partícula menor de 500 micras. Finalmente se envasaron en recipientes de plástico hasta su uso posterior.

2.3. Preparación de las mezclas

Se prepararon las mezclas de harina de maíz (M)/frijol lima (F) con las siguientes proporciones: 75M/25F, 50M/50F, 25M/75F utilizando un equipo mezclador Kitchen Aid, a los cuales se les denominó como tratamientos T₂₅, T₅₀, T₇₅. Además se evaluaron como tratamientos control las harinas de maíz (T) y frijol lima (T₁₀₀).

2.4. Proceso de extrusión

Para elaborar los productos se utilizó un extrusor mono-husillo Brabender (Modelo 2503) de laboratorio con las siguientes características: dos zonas de calentamiento, razón de compresión del tornillo 1:1, relación longitud/diámetro (L/D) = 25/1, diámetro aproximado del tornillo = 3.2 cm (1.25 pulgadas), diámetro interno de la boquilla de salida = 9 mm Las condiciones empleadas, determinadas según ensayos previos, fueron 12 % de humedad y temperatura y velocidad de extrusión de 160° C y 100 rpm, respectivamente.

Después de que los productos salieron del extrusor se colocaron en bandejas donde se dejaron enfriar y luego se almacenaron en

bolsas de polietileno, a condiciones ambientales, donde permanecieron un tiempo máximo de un mes hasta su análisis. Previo a éstos se equilibró el contenido de humedad hasta 6 %, por calentamiento en estufa a 40 °C durante 24 h.

2.5. Parámetros de evaluación

La selección del tratamiento más adecuado se realizó utilizando como criterio las propiedades físicas de los extrudidos. La selección de las mejores condiciones de extrusión se realizó empleando como variables de respuesta el índice de expansión, la densidad y la resistencia a la compresión.

El *índice de expansión* se midió como lo describe Gujska y Khan (1990). Esto es, dividiendo el diámetro del extrudido entre el diámetro del orificio de la boquilla del extrusor.

La *densidad* de acuerdo a la técnica reportada por Wang y col. (1993). A diez muestras de extrudidos de aproximadamente 50 mm seleccionados al azar, se les midió el diámetro (d) y luego su longitud (l). A cada muestra se le tomaron tres mediciones del diámetro y se calculó el valor promedio. Posteriormente se pesó cada extrudido (Pm), para finalmente determinar la densidad utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{Pm}{\pi(d/2)^2 l} \quad (1)$$

La *fuerza máxima de ruptura por compresión* del producto se determinó de acuerdo a Park y col. (1993), realizando los ensayos en una máquina universal para pruebas mecánicas Instron modelo 4411. Cada extrudido de aproximadamente 5 cm de longitud fue colocado horizontalmente en el plato de metal y fue comprimido a una velocidad de 10 mm/min con una probeta de compresión de 8 mm de diámetro y usando una celda de carga de aproximadamente 4900 N (500 kgf).

2.6. Diseño y análisis estadístico

Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño totalmente al azar, efectuando cada tratamiento por duplicado y cada determinación se realizó con 10 repeticiones. A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis multivariado según el método de Johnson y Wichern (1992) para determinar el efecto empleando un nivel de significancia del 5 %. Posteriormente, se realizó una comparación múltiple de medias por la prueba de Duncan para establecer las diferencias y de acuerdo a los métodos de Montgomery (1991). Los análisis se realizaron con la ayuda del paquete estadístico Statgraphics Plus versión 4.1.

3. Resultados y discusión

3.1. Composición proximal de la harina de *Phaseolus lunatus* L.

La harina de *Phaseolus lunatus* L., presentó la siguiente composición proximal (en base seca): 24.8 % de proteína cruda, 5.5 % de fibra cruda, 2.3 % de grasa cruda, 4.2 % de cenizas y 63.3 % de almidón, expresado como extracto libre de nitrógeno. La humedad fue de 12.6 %. La cantidad de proteína resultó similar a las reportadas para harinas provenientes de diferentes leguminosas, como son las de *Canavalia ensiformis* (23.39 %), diversas especies de *Mucuna* (24.5 a 29.8 %) y el frijol común (25.6 %) (Delgado, 1999; Ezeagu y col. 2003; Zamora, 2003).

En la Tabla 1, se puede observar como el contenido de proteína se incrementó (hasta un 87 % mas en T₇₅ respecto de T) y de los aminoácidos esenciales Lis y Trp conforme se elevó el contenido de frijol en la mezcla, debido particularmente al aporte de estos nutrimentos por la harina de la leguminosa. A partir del tratamiento T₅₀ los aportes de ambos aminoácidos cubren en más del 100 % el requerimiento, 5.8 y 1.1 g/100 g de proteína para Lis y Trp respectivamente,

establecido por la FAO (1991), para niños preescolares (Tabla 1).

3.1.1. Proceso de extrusión

En la Fig. 1, se muestran fotografías de los productos extrudidos que se obtuvieron a partir de los diferentes tratamientos, en las cuales se pueden observar diferencias visuales. La extrusión del maíz sólo (T) y las mezclas 75M/25F (T₂₅) y 50M/50F (T₅₀) extrudidas se procesaron fácilmente bajo las condiciones establecidas previamente. Los productos presentaron expansión y el transporte de la harina a través del barril fue constante y fluido. Los tratamientos que más problemas presentaron durante el procesamiento fueron el T₇₅ y el T₁₀₀, ya que la masa formada en el transporte de la harina por el tornillo se comprimía demasiado y resultaba difícil su salida, por lo que el producto no salía a velocidad constante. Como se observa, estos productos resultaron delgados ya que los diámetros no alcanzaron el valor del diámetro interno de la boquilla de salida (9 mm). Esto pudo deberse a la composición química del frijol empleado ya que su contenido de almidón, el cual es el principal responsable de la expansión (Lai y Kokini, 1991), está en menor cantidad en comparación con el maíz. Por otra parte, se ha demostrado que no todas las proteínas se comportan de manera similar. Por ejemplo el citado el gluten, se comporta muy diferente a la zeína, cuando se mezclan con agua para formar una masa. Estas diferencias tienen un fuerte impacto sobre las propiedades de textura y sabor de los productos extrudidos (Huber, 2001). Debido a esto se espera que siendo la organización y composición de la proteína del frijol lima muy diferente a la del maíz, su impacto en el proceso de extrusión será mas pronunciado.

3.2 Propiedades físicas de evaluación

3.2.1. Índice de expansión

Debido a que los cereales tienen excelentes propiedades de expansión, y son los más adecuados para procesos de extrusión, las mezclas extrudidas con mayor proporción de maíz presentaron mayor expansión, siendo el T₂₅ el que presentó el mayor índice de expansión (IE) con 1.61, que resultó estadísticamente igual ($p > 0.05$) al extrudido de maíz sólo y al de la mezcla T₅₀ (Fig. 2). Los extrudidos con menor IE resultaron ser los que contenían menor proporción de maíz, es decir la mezcla T₇₅ y el tratamiento con frijol sólo (T₁₀₀) con 0.98 y 0.97, respectivamente. Martínez-Flores y col. (2005) hallaron en harina de maíz extrudido en un equipo similar, aunque bajo condiciones variables de temperatura en las diferentes zonas de calentamiento pero todas menores que la empleada en este caso, valores de IE de 1.7, el cual resultó igual al encontrado en mezclas de maíz (80 %) con harinas de soya (17 %) y cártamo (3 %). Asimismo, Gujska y Khan (1990) reportan valores de 1.9 para el frijol navy y de 1.8 para el frijol pinto. De esto se puede deducir que los valores obtenidos con el tratamiento testigo y hasta la mezcla 50:50 resultan con IE en el rango que pudiera obtenerse con harinas de maíz propias para la extrusión.

Es posible de incrementar el IE como Leal-Díaz y col. (2005) demuestran, a través del método de acondicionamiento de la harina, ya que en experimentos con maíz QPM, con composición química similar al usado en el presente trabajo, reportan IE desde 3.1 a 4.19, según que la harina decorticada, fuera fina o gruesa respectivamente.

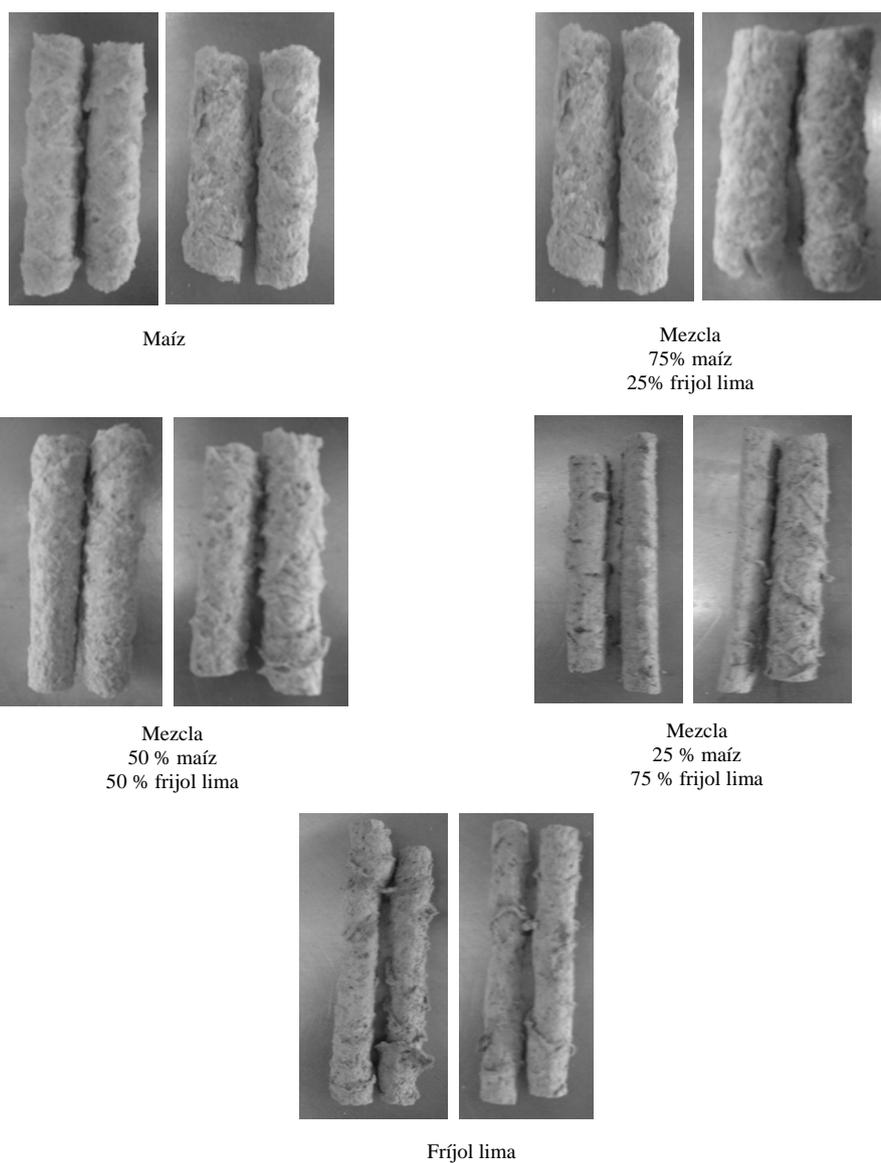


Fig. 1. Productos obtenidos a partir de las mezclas extrudidas.

Tabla 1. Contenido de proteína lisina y triptofano calculado de las harinas compuestas experimentales (expresadas en % base seca).

Componente	T (Harina de Maíz) ¹	T ₁₀₀ (Harina de fríjol)	T ₂₅	T ₅₀	T ₇₅
Proteína cruda	11.7	24.8	14.98	18.25	21.53
Lisina	0.43 ¹	1.98 ²	0.818	1.205	1.593
Triptofano	0.1 ¹	0.33 ²	0.158	0.215	0.273

Fuente: ¹Instituto Nacional Indigenista

²Betancur-Ancona y col. (2004)

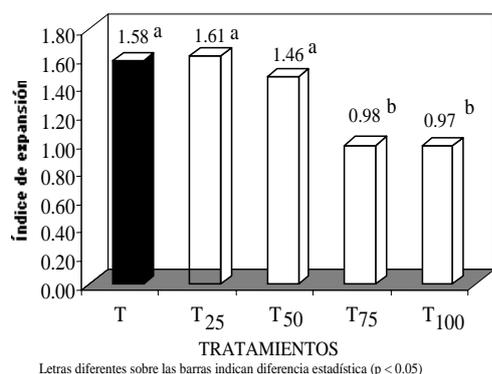


Fig. 2. Índice de expansión de las mezclas extrudidas.

Por otro lado, el IE de las mezclas extrudidas que contenían mayor proporción de *Phaseolus lunatus* (T₇₅ y T₁₀₀) resultan las menores, probablemente debido a un mayor contenido de fibra, ya que la harina se empleó de forma integral, que provoca la ruptura de las paredes celulares y evita que las burbujas de aire se expandan a su máxima potencia (Chang y col., 1998). Para lograr una mayor expansión se necesitaría una cantidad mayor de burbujas en el extrudido, por lo que en productos con harina de leguminosas se necesitaría emplear mayores temperaturas de proceso como demuestran los hallazgos de Martín-Cabrejas y col. (1999) en extrudidos de frijol común, normal o endurecido, ya que a 180 °C el diámetro de las burbujas fue mayor en comparación con los productos obtenidos a 140 °C o 160 °C. Por otro lado, Faubion y Hosney (1982) indican que el aumento de proteína y grasa en la mezcla provoca la caída de la expansión debido a interacciones que se producen entre estos componentes y el almidón. Así, se puede deducir que la disminución de la expansión al aumentar el contenido de frijol en las mezclas fue por el contenido y composición de las harinas y además por el menor grado de cocción del almidón, lo cual impidió que se alcanzara la temperatura de gelatinización.

3.2.2. Densidad

La densidad de los productos extrudidos provenientes del tratamiento con maíz y la mezcla T₂₅ resultaron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) a las que contenían mayor proporción de harina de *Phaseolus lunatus* (T₇₅ y T₁₀₀). En las primeras se obtuvieron densidades de 211.5 y 298 kg/m³, respectivamente, mientras que las últimas presentaron 670 y 770 kg/m³, respectivamente (Fig. 3). Leal-Díaz y col. (2005), reportan en maíz QPM, densidades que oscilan de 66 a 138 kg/m³ y en maíz comercial de grado alimentario, 3.40 a 5.50 kg/m³ según sea el acondicionamiento de la harina. Las densidades reportadas por Gujska y Khan (1990) son de 480, 580 y 660 kg/m³ para el maíz, *P. vulgaris* y garbanzo, procesados a 132 °C el primero y a 150 °C los dos últimos. Asimismo, para tres diferentes variedades de frijol común Rocha-Guzmán y col. (2006) reportan densidades de frijol común de 1200 a 1400 kg/m³. Estos mismos autores (Rocha-Guzmán y col., 2006) sugieren que la densidad es un buen índice de los cambios estructurales que ocurren en el material que gobierna la expansión, es decir que la relación amilosa/amilopectina del almidón presente en la materia prima, gobernarán el empaque del gránulo a nivel ultramolecular (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997). En general, esto es congruente con las densidades obtenidas ya que las mezclas que contienen mayor proporción de frijol presentan densidades elevadas, debido posiblemente a que la cantidad de amilosa presente es mas alta respecto al maíz QPM, lo cual permitiría un alto grado de empaque granular con la consiguiente dificultad en la expansión. En otro trabajo Gujska y Khan (1991) midieron la densidad a productos extrudidos a partir de maíz obteniendo un valor de 470 kg/m³, que es mucho mayor al obtenido en este estudio, lo cual pudiera ser explicado por la diferencia en temperaturas empleadas, ya que a mayor

temperatura de proceso se espera menor densidad de acuerdo a Rocha-Guzmán y col. (2006). De igual forma, midieron la densidad en mezclas con diferentes proporciones de proteína de frijol navy, obteniendo que una cantidad del 20 % resultó en un aumento significativo de la densidad. Esto se le atribuyó probablemente a la concentración y tipo de proteína empleada. En este sentido, Martín-Cabrejas y col. (1999) afirman que con extrudidos elaborados con harina de frijol, maíz y proteína de soya en la mayoría de los casos esto ocurre.

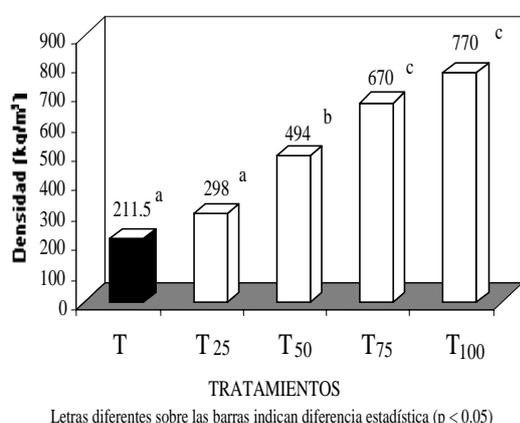


Fig. 3. Densidad de las mezclas extrudidas.

3.3.3 Fuerza máxima de ruptura por compresión

Con respecto a la fuerza máxima de ruptura por compresión (FMRC), los tratamientos T₂₅ y T₅₀ resultaron estadísticamente iguales ($p > 0.05$) con valores aproximados de 164 y 200 N (16.70 y 20.33 kgf), respectivamente (Fig. 4). La mayor FMRC se requirió en los tratamientos T₇₅ y T₁₀₀, con aproximadamente 361 N (36.85 kgf) y 335 N (34.23 kgf) respectivamente, los cuales resultaron iguales estadísticamente entre si ($p > 0.05$), en tanto que el tratamiento testigo (T) presentó la menor FMRC con aproximadamente 114 N (11.64 kgf).

Generalmente, la FMRC refleja la resistencia de las paredes de los alvéolos a romperse, dependiendo del número de ellos por unidad de altura y de su resistencia y la formación de estructuras de tipo pared celular que se van adelgazando conforme se vuelven mas expandidos los productos (Martínez-Bustos y col., 1998). Esta relación es como en el presente caso, ya que los más expandidos, necesitaron menor FMRC como puede observarse en las Figs. 2 y 4. Las condiciones de temperatura y humedad del proceso influyen también en la dureza del producto, como citan Martínez-Bustos y col. (1998) que a menores valores de ambas se requiere menor fuerza de ruptura. Asimismo, para productos de soya desgrasada, procesados en un extrusor equivalente al empleado en el presente caso, aunque a mayores contenidos de humedad (22 %) y velocidad del tornillo, se obtuvieron valores de dureza que oscilaron de 16.39 a 34.32 N, según fueran procesados respectivamente a 160 y 175 rpm o 140 °C y 125 rpm (Rueda y col. 2004).

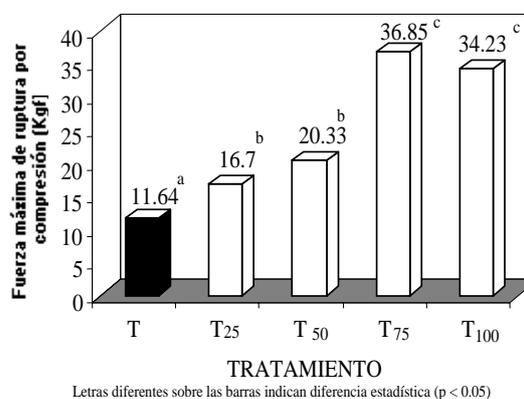


Fig. 4. Fuerza máxima de ruptura por compresión de las mezclas extrudidas.

Los resultados anteriores indicaron que la calidad del producto fue debido a la naturaleza de la materia prima empleada y de las condiciones del proceso y tomando en cuenta las características evaluadas

anteriormente, los tratamientos seleccionados como los más adecuados fueron el T₂₅ y el T₅₀; por un buen balance en el grado de expansión, lo cual es una característica buscada por los productores y consumidores de este tipo de botanas. Este valor resultó próximo al presentado por productos expandidos a base de maíz propio para el proceso. Además tuvieron densidades aceptables y dentro de los valores usuales en este tipo de productos lo cual es de gran importancia para su empaque. Finalmente el nivel de fuerza máxima de ruptura por compresión, se encontró, en estos tratamientos, dentro de los valores que pueden proporcionar una adecuada crujibilidad del producto, ya que ésta se relaciona directamente con la fuerza de ruptura. Además, los tratamientos T₂₅ y T₅₀ tienen adecuado potencial de valor nutritivo en aporte proteínico y de aminoácidos esenciales como Lis y Trp.

Conclusiones

Se elaboraron productos extrudidos, utilizando harina de maíz QPM y harina integral de frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.), bajo las siguientes condiciones de procesamiento: 12 % de humedad de la harina, velocidad de rotación del tornillo de 100 rpm y temperatura de extrusión de 160 °C. El extrudido de harinas mixtas de maíz y frijol lima en proporción 75:25 y 50:50 respectivamente, resultaron estadísticamente iguales ($p > 0.05$) con respecto a sus propiedades de expansión y esta cualidad disminuyó al incrementar la proporción de frijol. La densidad y la fuerza máxima de ruptura por compresión fueron menores en la harina de maíz, aumentando conforme se incrementó la proporción de harina de frijol en las mezclas. Lo anterior permitió obtener productos potencialmente nutritivos, particularmente la mezcla 50:50 que cubre el requerimiento de los aminoácidos esenciales Lis y Trp al 100 %.

Referencias

- Betancur-Ancona, D., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L. (2004). Wet-fractionation of *Phaseolus lunatus* seeds: partial characterization of starch and protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84, 1193-1201.
- Chang, Y.K., Silvia, M.R., Gutkoski, L.C., Sebio, L. y Da Silva, M.A. (1998). Development of extruded snacks using jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) flour and cassava starch blends. *Journal of Science and Food Agriculture* 78, 59-66.
- Chen, J, Serafín, F.L., Pandya, R.N. y Daun, H. (1991). Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *Journal of Food Science* 56, 84-89.
- Delahaye, P.E., Vásquez, H., Herrera, I. y Garrido, R. (1997). Snacks de maíz enriquecidos con fibra dietética y carotenoides de la harina de zanahoria (*Daucus carota*) procesados por extrusión. *Revista de la Facultad de Agronomía* 23, 235-248. Venezuela.
- Delgado, H.M.A., (1999). *Evaluación de la calidad biológica y factores antinutricios de productos procesados de Canavalia ensiformis*. Tesis Maestría en Ciencias. Facultad de Ingeniería Química-UADY, México.
- Ezeagu, I.E., Maziya-Dixon, B., Tarawali, G. (2003). Seed characteristics and nutrient and antinutrient composition of 12 *Mucuna* accessions from Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1, 129 – 139.
- FAO/WHO. Protein quality evaluation. (1991). Report of joint FAO/WHO expert consultation. Food and Nutrition. Paper No.51. *Food Agriculture Organizations and the World Health Organization*. Roma, Italia.
- Dombrink-Kurtzman, M.A., Knutson, C.A. (1997). A study of maize endosperm hardness in relation to amilose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry* 74, 776-780.
- Faubion, J. M. y Hosney, R. C. (1982). High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. II.

- Effect of protein and lipid on extrudate properties. *Cereal Chemistry* 74, 533-537.
- Gujska, E. y Khan, K. (1991). Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science* 59, 431-435.
- Gujska, E. y Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science* 55, 466-469.
- Ho, C. e Izzo, M. (1992). Lipid-protein and lipid-carbohydrate interactions during extrusion. En: *Food Extrusion Science Technology*, (J. Kokini, C. Ho y M. Karwe, eds.), Pp 415-417. Marcel Dekker. Nueva York.
- Huber, G. (2001). Snacks foods from cooking extruders. En: *Snacks foods processing*, (E. Lusas y L. Rooney, eds.), Pp 315-368. Technomic Publishing. Lancaster, Pennsylvania.
- Hurtado, M., Escobar, B. y Estévez, A.M. (2001). Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frejol para consumo "snacks". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 5, 303-308.
- Johnson, R.A. y Wichern, D.W. 1992. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. (1992). Prentice Hall. Londres. Pp.219-284.
- Lai, L. y Kokini, J. (1991). Physicochemical and rheological properties of starch during extrusion (a review). *Biotechnology Progress* 7, 251-266.
- Leal-Diaz, A., Rooney, L.W., Waniska, R.D. Barron, M., Riaz, M. (2003). Evaluation of extrusion properties of quality protein maize and food grade maize. AACC Annual meeting: Program book Pub. By *The American Association of Cereal Chemist*. St Paul MN. P.132.
- Martín-Cabrejas, M.A., Jaime, L., Naranja, C., Downie, A.J., Parker, M.L., Lopez-Andreu, F.J., Maina, G., Esteban, R.M., Smith, A.C. y Waldron, K.W. (1999). Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47, 1174-1182.
- Martínez-Bustos, F., Chang, Y. K., Bannwart, A.C, Rodríguez, M. E. Guedes, P. A., Gaiotti, R. (1998). Effects of calcium hydroxide and processing conditions on corn meal extrudates. *Cereal Chemistry* 75, 796-801.
- Martínez-Flores, H.E., Cruz, M.C. , Larios, S. A., Jiménez, G. E., Figueroa J. D. C. , Gómez-Aldapa, C.A. (2005) . Sensorial and biological evaluation of an extruded product made from corn supplemented with soybean and safflower pastes. *International Journal of Food Science and Technology* 40, 517-524.
- Mitchel, J.R. y Areas, J.A. (1992). Structural changes in biopolymers during extrusion. En: *Food Extrusion Science Technology*, (J. Kokini, C. Ho, y M. Karwe, eds.), Pp 345-349. Marcel Dekker. Nueva York.
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D.F.
- Oshodi, A., y Adelanum, M.O. (1993). Proximate composition, some nutritionally valuable minerals and functional of three varieties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) flour. *International Journal of Food Science and Nutrition* 43, 181-185.
- Park, J., Rhee, K.S., Kim, B.K. y Rhee, K.C. (1993). Single-screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends. *Journal of Food Science* 58, 9-19.
- Rocha-Guzmán, N.E., Gallegos-Infante, J.A., González-Laredo, R.F., Castillo-Antonio, P.A., Delgado-Lincoln, E., Ibarra-Pérez, F. (2006). Functional properties of three common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars stored under accelerated conditions followed by extrusion. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 39, 6-10.
- Rueda, J., Kil-Chang, Y., Martínez-Bustos, F. (2004). Functional characteristics of texturized defatted soy flour. *Agrociencia* 38, 63-73.
- Unlu, E., y Faller, J. (1998). Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. *Cereal Chemistry* 75, 346-350.

- Vasanthan, T., Yeung, J. y Hoover, R. (2001). Dextrinization of starch in barley flours with thermostable alpha-amylase by extrusion cooking. *Starch/Stärke* 53, 616-622.
- Wang, W; Klopfenstein, C.F. y Ponte, J. (1993). Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chemistry* 70, 707-711.
- Zamora, N.C. (2003). Efecto de la extrusión sobre la actividad de factores antinutricionales y digestibilidad *in vitro* de proteínas y almidón en harinas de *Canavalia ensiformis*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 53, 293-298.