

**AUTORES**  
AUTHORS

✉ **Mariana FRITZ**<sup>1</sup>  
**Rolando GONZÁLEZ**<sup>1\*</sup>  
**Carlos CARRARA**<sup>1</sup>  
**Dardo De GREEF**<sup>1</sup>  
**Roberto TORRES**<sup>1</sup>  
**Luis Chel GUERRERO**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Tecnología de Alimentos,  
Facultad de Ingeniería Química,  
Univ. Nacional del Litoral, CC 266 (3000), Santa Fe, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad Ingeniería Química,  
Univ. Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

\*e-mail: rolgonza@fiqus.unl.edu.ar

<sup>2</sup>e-mail: cguerrer@tunku.uady.mx

**RESUMEN**

Los objetivos de este trabajo fueron por un lado, analizar el comportamiento de mezclas maíz-frijol para diferentes condiciones de extrusión, conjuntamente con la influencia de la dureza del endospermo del maíz sobre las características de las mezclas extrudidas y por otro lado verificar la ventaja de inactivar la lipoxigenasa en el frijol, antes de la etapa de molienda de los granos. Se obtuvieron sémolas de dos híbridos comerciales de maíz (de distinta dureza de endospermo) y de tres muestras de frijol *Vigna unguiculata* en estado fresco secado a condiciones ambientales (F), cosechada en estado seco (SN) y cosechada en estado seco pero luego tratada con vapor para inactivar la lipoxigenasa (SNI). Se prepararon mezclas maíz-frijol (85/15), que fueron luego acondicionadas para ser extrudidas en un extrusor Brabender monotornillo, utilizando dos diseños diferentes (10 DN y 20 DN) y para dos niveles de humedad de la mezcla. El caudal másico y el torque fueron determinados en cada experiencia y el grado de expansión y las características sensoriales fueron también evaluadas.

Los resultados indicaron que:

- La acción de la lipoxigenasa en el frijol luego de la molienda y antes de la extrusión (muestras F y SN), confiere al producto características sensoriales indeseables y para todas las condiciones ensayadas.
- La operación es más estable y con mayor caudal si se utiliza el tornillo de mayor longitud (20 DN) y demás se logra mayor expansión y mayor volumen específico (mayor cocción).
- El tratamiento de inactivación de la lipoxigenasa reduce levemente el grado de expansión del producto extrudido.
- La diferencia de dureza de los dos maíces no es suficiente para producir efectos significativos en el extrudido, aunque el más duro tiende a dar mayor expansión.

Se concluye que la inactivación del frijol antes de la molienda es necesaria si se quiere evitar la aparición de sabores no deseables y que la utilización del tornillo más largo es preferible.

**SUMMARY**

The objectives of the present work were on one hand, to analyse the behaviour of the maize-legume mixture at different extrusion conditions together with the influence of maize endosperm hardness on extruded mixture characteristics and on the other hand the advantage of legume lipoxigenase inactivation before the bean grinding step. Grits were obtained from two maize commercial hybrids and from three samples of legume *Vigna unguiculata* (harvested in fresh state and then dried with environmental air (F), harvested in dried state (SN) and a third harvested in dried state but then subjected to steam treatment to inactivate lipoxigenase (SNI). Maize-legume mixtures (85/15) were prepared and conditioned before extrusion. A Brabender single screw extruder was used in the experiments, which were carried out using two different design (10 DN y 20 DN) and two grits moisture levels. Mass output and torque were determined for each experiment and degree of expansion and sensory characteristics were also evaluated.

Results indicated that:

- Lipoxigenase acting after bean grinding and before extrusion (samples F and SN) lends to the extruded mixtures undesirable sensory characteristics.
- More stable extrusion operation and higher mass output are obtained with 20 DN design and besides that, product with higher expansion and higher specific volume (higher cooking degree) are also obtained.
- Lipoxigenase inactivation treatment slightly reduces expansion degree of the extruded product.
- Endosperm hardness difference showed by the two maize used in these experiments was not enough to produce significant effects on extruded mixtures, although harder one tend to give higher expansion.

It is concluded that lipoxigenase inactivation before bean grinding is necessary if undesirable flavor want to be avoided and 20 DN design extruder is preferred.

**PALABRAS CLAVE**  
KEY WORDS

extrusión, maíz, frijol, expansión.  
extrusion, maize, legume, expansion.

## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de maíz está controlada por el mercado de alimentos para animales en el cual los aspectos comerciales tradicionales determinan el precio. Sin embargo, para la industria de la alimentación humana, aparecen algunas características especiales que permiten diferenciar los distintos tipos de maíz y sus respectivas variedades.

Las mezclas de maíz y frijol tratadas por el proceso de extrusión-cocción, han sido propuestas para elaborar alimentos precocidos, desde hace décadas. La propuesta estaba basada en dos aspectos importantes: en las mejoras nutricionales (incremento del % de proteínas y de su calidad) y en la mayor diversidad de texturas y formulaciones posibles de ser obtenidas por este proceso. Una de las alternativas de interés para la región de Yucatán (México) es el frijol *Vigna unguiculata* ("cowpea").

El objetivo de este trabajo fue analizar por un lado la influencia de la dureza del endospermo del maíz en mezclas de maíz y frijol, sobre las características del producto extrudido y el comportamiento de la mezcla para diferentes condiciones de extrusión. Y por otro lado la ventaja de inactivar la lipoxigenasa en el frijol, antes de la preparación de las mezclas para la extrusión.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron mezclas de sémola de maíz (85%) y sémola de frijol (15%) para dos maíces con distinta dureza y tres tratamientos del frijol (frijol fresco y secado en aire a condiciones ambientales (F); frijol secado natural en planta (SN) y secado natural en planta pero inactivada con vapor fluyente durante 10 min (SNI)).

### a) Molienda de los granos de Vigna:

Los granos de Vigna, fueron molidos en etapas. La primera consistió en moler en molino de rolos de manera de evitar una excesiva proporción de partículas finas, pero suficiente para separar la cáscara por aspiración con aire. Debido a que tanto en la Vigna F como en la SNI la cáscara estaba muy adherida al cotiledón, hubo que realizar varias reducciones y consecuentemente el tamaño de partículas final fue menor al de la sémola de maíz. Se obtuvieron dos fracciones con distinta granulometría: Fracción 1, que pasó por una abertura de 250  $\mu$ m y Fracción 2 comprendida entre 420-250  $\mu$ m.

### b) Molienda del maíz:

Se seleccionaron dos muestras de maíz (Dekalb 696 y Pioneer 30R76) con diferente dureza de endospermo y se molieron en molino de rolos (con separación de cáscara y germen en un separador neumático) de acuerdo a un diagrama de molienda desarrollado previamente (Robutti et al 2002), que permite obtener sémolas con granulometría comprendida entre 1190-420  $\mu$ m y contenido de materia grasa inferior al 1% (condiciones adecuadas para extrusión). La dureza del

endospermo fue evaluada con dos métodos: el de flotación y el de la relación gruesos/finos (G/F), según Robutti (1995).

### c) Ensayos de Extrusión:

Se utilizaron dos extrusores Brabender, 10 DN con tornillo de relación de compresión 3:1 y 20 DN con tornillo de relación de compresión 4:1. En ambos casos la temperatura de extrusión fue de 160 °C (tanto en el cañón como en la boquilla, destacando que la segunda sección del cañón adyacente a la alimentación del 20 DN no fue calefaccionada). Una boquilla de 3 mm de diámetro y 20 mm de largo y una velocidad de rotación del tornillo de 150 rpm, fueron seleccionadas como las más adecuadas, de acuerdo con ensayos previos. La zona de alimentación se mantuvo refrigerada con agua a temperatura ambiente. Se extrudieron las muestras de maíz y las mezclas de éstos con las muestras de frijol en una proporción constante de 85% de sémola de maíz y 15% de sémola de frijol. Este nivel de reemplazo se consideró adecuado para mejorar las características nutricionales sin afectar demasiado a las características del producto obtenido con maíz solamente. Para analizar los efectos del tipo de extrusor, del tipo de muestra y del nivel de humedad, se realizaron 2 ensayos: uno con el extrusor 10 DN y las mezclas humectadas a 15% (Ensayo 1) y otro con el extrusor 20 DN y las mezclas humectadas a 15% y a 17 % (Ensayo 2). Mientras se obtenían las muestras se midió el caudal de salida (g/min) y el en Unidades Brabender (U.B.).

### d) Evaluación de las muestras sin extrudir:

Se realizó la determinación de la actividad lipoxigenasa a las tres muestras de acuerdo al método de Surrey (1964), utilizando ácido linoleico como sustrato y realizando la lectura en un espectrofotómetro a 234 nm. Para la determinación de lipoxigenasa se pesaron 5,0 g de muestra para SNI y 0,5 g para SN y F.

Las características amilográficas tanto de las muestras de maíz como las de frijol fueron evaluadas a una concentración del 8,6 % de sólidos, con el amilógrafo Brabender, con el cabezal de 250 gcm.

### e) Evaluación de las muestras extrudidas:

Las características que presentaron las muestras extrudidas fueron evaluadas de la siguiente manera:

**Propiedades sensoriales:** se analizaron las diferencias en sabor entre las muestras de maíz y las mezclas maíz-frijol. Para la evaluación sensorial, las muestras fueron secadas hasta un contenido de humedad de 6 % (nivel que se considera adecuado para un producto tipo "snack"), en estufa a baja temperatura (50 °C) y mantenidas en bolsas de polietileno de 200 micrones. Se utilizó un panel de tres evaluadores entrenados y se realizaron comparaciones entre las muestras estableciéndose la siguiente escala de diferencias de intensidad en el gusto respecto al maíz: 0 ninguna; 1 leve; 2 media y 3 alta.

**Propiedades físicas:** se determinaron el grado de expansión (relación entre el diámetro del producto y diámetro de la boquilla  $D_p/D_b$ ) y el volumen específico (volumen/ g de

producto seco) calculado como:  $\frac{r^2 \cdot l}{\text{peso seco}}$ , (siendo  $r$  el radio y  $l$  la longitud promedios de diez trozos de muestra, determinándose también los pesos secos).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la actividad de lipoxigenasa para los distintos tratamientos del frijol fueron los siguientes: para la muestra de Vigna fresca (F) 1333 unidades de lipoxigenasa/g, para la muestra con el secado natural y sin inactivar (SN) 1290 y para la muestra secado natural e inactivada (SNI) 228. De acuerdo a estos valores el tratamiento térmico produce una reducción del 83% de la actividad de esta enzima, mientras que el secado natural solo produce una leve disminución de su actividad.

En la Figura 1, se comparan los amilogramas de los tres tratamientos del frijol. En la misma se observa que la muestra de Vigna fresca secada por condiciones ambientales (F), presenta mayor consistencia amilográfica que las otras dos y que tanto el secado natural (SN) como el tratamiento de inactivación (SNI) producen una reducción significativa en los valores de consistencia, producto de una menor capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón, acentuándose este efecto en la muestra SNI.

La Tabla 1 muestra la evaluación del endospermo para ambos maíces. Estos valores de dureza indican que la muestra Dekalb 696 corresponde a un maíz semidentado, mientras que la muestra Pioneer 30R76 a uno dentado. Se Confirmó también

que el índice de flotación es más sensible que el de la relación gruesos/finos (G/F), mientras las diferencias en peso del hectolitro no son significativas.

En la Figura 2 se observan los amilogramas de los dos maíces utilizados. La menor consistencia inicial, que presenta el Dekalb 696, está en relación con su mayor dureza de endospermo, encontrada para este maíz, indicados por mayores valores de índice de flotación y relación G/F. Esto probablemente debido a que la matriz proteica provocaría una mayor restricción al ingreso del agua, un menor hinchamiento de las partículas y consecuentemente la dispersión tiene menor consistencia en las primeras etapas del ensayo pero luego alcanza los valores encontrados para el otro maíz.

Para optimizar la granulometría en el proceso de extrusión, se realizó un ensayo con dos muestras maíz-frijol preparadas con una sémola de maíz y las respectivas sémolas de frijol (Fracción 1 y Fracción 2). Se observó que la presencia de partículas menores a 250  $\mu$ m (Fracción 1) provocaba inestabilidad en la operación del extrusor, entonces se seleccionó la Fracción 2 (421/250  $\mu$ m) para todos los ensayos posteriores.

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos con el diseño 10 DN. Se puede observar que en general las mezclas con frijol provocan una disminución en las cuatro características analizadas para el proceso de extrusión. Los efectos son más acentuados cuando se utiliza la muestra con frijol SNI. Además se observó que la diferencia de dureza entre ambos maíces no provocó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ), para ninguna de las cuatro características, esto indicaría también que aunque el índice de flotación es más sensible que el de la relación G/F, este

**Tabla 1** Características calidad de los híbridos comerciales de maíz.

Maíz	Peso hectolitro	Relación G/F	Índice de flotación
Dekalb 696	77,0	3,0	52
Pionner 30R76	76,2	2,7	96

**Tabla 2** Valores de caudal másico, torque, volumen específico, grado de expansión y análisis sensorial, correspondientes al extrusor 10 DN y 15% de humedad.

Muestra	Caudal (g/min)	Torque (U.B.)	Vol. Esp. (cm <sup>3</sup> /g)	Expansión	Diferencia de intensidad en el gusto
Dekalb	67,0 <sup>c</sup>	5550 <sup>de</sup>	6,51 <sup>cd</sup>	3,33 <sup>c</sup>	0
Pionner	65,5 <sup>bc</sup>	5650 <sup>e</sup>	6,68 <sup>d</sup>	3,30 <sup>c</sup>	0
F / Dekalb	60,5 <sup>b</sup>	5200 <sup>abc</sup>	6,47 <sup>cd</sup>	3,23 <sup>c</sup>	3
F / Pionner	62,0 <sup>ab</sup>	5300 <sup>abcd</sup>	6,22 <sup>bcd</sup>	3,12 <sup>b</sup>	3
SN / Dekalb	63,0 <sup>abc</sup>	5400 <sup>bcdde</sup>	5,89 <sup>abc</sup>	3,33 <sup>c</sup>	2
SN / Pionner	65,0 <sup>bc</sup>	5500 <sup>cde</sup>	5,68 <sup>ab</sup>	3,07 <sup>b</sup>	2
SNI / Dekalb	57,5 <sup>a</sup>	5000 <sup>a</sup>	5,38 <sup>a</sup>	3,02 <sup>ab</sup>	1
SNI / Pionner	58,0 <sup>a</sup>	5100 <sup>ab</sup>	5,30 <sup>a</sup>	2,90 <sup>a</sup>	1

<sup>abcd</sup> Las diferentes letras en una misma columna indica diferencia significativa para  $P < 0,05$

último parece ser más adecuado en relación con el proceso de extrusión-cocción. De las tres muestras de frijol las que presentan mayor intensidad de diferencia de sabor respecto al maíz, son las dos con la lipoxigenasa activa que actúa sobre los lípidos, durante el periodo transcurrido entre la molienda y la extrusión. A su vez, la muestra F tiene un sabor más fuerte, en comparación con SN. Correspondiendo la menor diferencia con maíz al SNI. El efecto de la muestra SNI podría atribuirse al tratamiento térmico insuficiente para inactivar por completo la lipoxigenasa, aunque las diferencias encontradas se consideran aceptables teniendo en cuenta las ventajas desde el punto de vista sensorial.

En la Tabla 3 se puede observar que con el diseño 20 DN (respecto al 10 DN y para similares condiciones de extrusión), no solo se obtienen mayores valores de torque (ya que es más largo) sino que también los caudales son mayores lográndose mayor expansión y mayor volumen específico (consecuentemente mayor grado de cocción). Además se pudo observar durante los ensayos que con el diseño 20 DN, la operación resulta más estable. Esto se atribuyó al hecho que al ser más largo, la zona de alimentación se mantiene más fría en una mayor longitud que el 10 DN, evitando así los posibles bloqueos parciales por condensación del vapor de agua en la zona de alimentación que ocurre en el 10 DN.

La diferencia de un 2 % en el nivel de humedad en la mezcla a extrudir, produce diferencias significativas tanto para las respuestas relativas al transporte del material dentro del extrusor (caudal y torque), como también para las características físicas del producto (este efecto es importante conocer cuando se desea optimizar las condiciones de extrusión, mediante un diseño experimental en el que la humedad sea una de las variables independientes). Con respecto al efecto de la humedad sobre el caudal se observó algún grado de confusión entre los efectos de la humedad y el tipo de muestra, correspondiendo los mayores valores a las de

maíz sin frijol. Para el caso del torque, el efecto de la humedad fue significativo para cada una de las mezclas y también en este caso los mayores valores correspondieron a los de ambos maíces. El efecto de la humedad sobre las características físicas fue significativo ( $P < 0,05$ ), particularmente para el volumen específico, cuyos valores disminuyen con el aumento de humedad, siendo el efecto mayor para el caso de las mezclas maíz-frijol. Para el caso de la expansión aparecen efectos de confusión entre la humedad y el tipo de muestra. Estos resultados están de acuerdo a lo observado en otros trabajos, en el sentido que el volumen específico es el indicador que mejor describe los cambios producidos durante la extrusión (González et al 1987) y que la expansión es un indicador menos sensible, debido a que el rango de valores esta muy acotado y la variabilidad observada entre algunas de las muestras resulta ser del mismo orden que el error experimental.

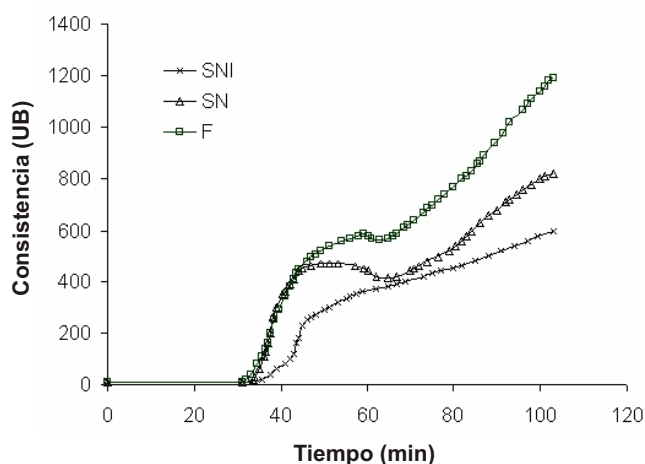
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con ambos diseños, se puede destacar que si bien no existe una tendencia definida entre los efectos producidos por el tipo de material, es evidente que el diseño 20 DN es más adecuado para este tipo de mezclas y que los efectos de la inclusión de frijol son más significativos para SNI.

La diferencia de tratamientos previos a la molienda del frijol produce diferencias significativas en los productos extrudidos; correspondiendo mayores valores expansión y de volumen a la muestra fresca (secada con aire a baja temperatura). Si bien las diferencias entre secado natural y secado natural con inactivación en la mayoría de las variables analizadas no son significativas, se observó que este último tratamiento tiende a dar menores valores de expansión y de volumen específico. El tratamiento previo a la molienda de inactivación de la lipoxigenasa produciría cambios estructurales en el material, tanto en la fracción proteica como en el almidón, tal como ha quedado demostrado en el ensayo del amilógrafo (Figura 1).

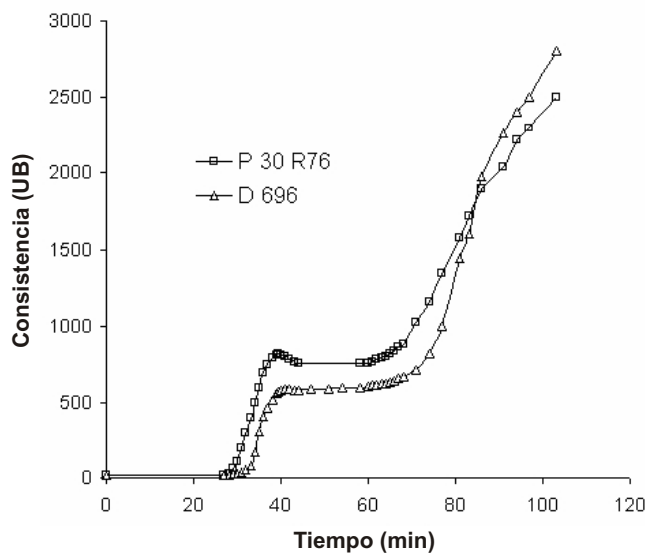
**Tabla 3** Valores de caudal másico, torque, volumen específico y grado de expansión correspondientes al extrusor 20 DN.

Muestra y % de humedad	Caudal (g/min)	Torque (U.B.)	Vol. esp. (cm <sup>3</sup> /g)	Expansión
Dekalb 15%H	86,5 <sup>f</sup>	6250 <sup>f</sup>	8,31 <sup>h</sup>	3,58 <sup>f</sup>
Dekalb 17%H	87,0 <sup>f</sup>	5500 <sup>bc</sup>	6,89 <sup>ef</sup>	3,50 <sup>ef</sup>
Pionner 15%H	88,5 <sup>f</sup>	6200 <sup>ef</sup>	8,25 <sup>h</sup>	3,48 <sup>def</sup>
Pionner 17%H	87,0 <sup>f</sup>	5250 <sup>ab</sup>	6,53 <sup>de</sup>	3,33 <sup>cd</sup>
F / Dekalb 15%H	82,5 <sup>de</sup>	6200 <sup>ef</sup>	8,13 <sup>h</sup>	3,47 <sup>def</sup>
F / Dekalb 17%H	76,5 <sup>a</sup>	5500 <sup>bc</sup>	5,69 <sup>bc</sup>	3,07 <sup>ab</sup>
F / Pionner 15%H	86,0 <sup>ef</sup>	6000 <sup>de</sup>	8,20 <sup>h</sup>	3,37 <sup>de</sup>
F / Pionner 17%H	81,0 <sup>cd</sup>	5000 <sup>a</sup>	6,09 <sup>c</sup>	3,21 <sup>bc</sup>
S N / Dekalb 15%H	81,0 <sup>bcd</sup>	6000 <sup>de</sup>	7,41 <sup>fg</sup>	3,45 <sup>def</sup>
S N / Dekalb 17%H	79,5 <sup>abcd</sup>	5400 <sup>b</sup>	4,92 <sup>a</sup>	2,98 <sup>a</sup>
S N / Pionner 15%H	77,5 <sup>ab</sup>	5750 <sup>cd</sup>	7,91 <sup>gh</sup>	3,52 <sup>ef</sup>
S N / Pionner 17%H	76,0 <sup>a</sup>	5000 <sup>a</sup>	4,88 <sup>a</sup>	2,94 <sup>a</sup>

<sup>abcddefgh</sup> diferentes letras en una misma columna indica diferencia significativa para  $P < 0,05$



**Figura 1** Amilogramas de las harinas de *Vigna unguiculata* obtenidas con distintos tratamientos.



**Figura 2** Amilogramas de las muestras de harinas de maíz.

La diferencia de dureza de los dos maíces no fue suficiente para encontrar diferencias marcadas en la expansión y volumen específico, tal como se observó en trabajos anteriores donde el maíz con endospermo más duro presentaba mejores características (Robutti et al 2002), aunque las diferencias en dureza fueron mayores que las correspondientes al presente trabajo.

#### 4. CONCLUSIÓN

La presencia de lipoxigenasa activa en las sémolas de frijol (F y SN), antes de extrudir, confiere al producto características sensoriales que pueden ser consideradas indeseables para aquellos consumidores no habituados a

consumir productos a base leguminosas.

La operación de extrusión es más estable y con mayor caudal si se utiliza el diseño de extrusor con un tornillo de mayor longitud (20 DN). Además se logra mayor expansión y mayor volumen específico (a causa de la mayor cocción)

En las mezclas maíz-frijol, la inactivación del frijol reduce levemente el grado de expansión.

La diferencia de dureza de los dos maíces no produce efectos significativos en el extrudido, pero por el contrario, los ensayos en que el frijol formaba parte de la mezcla aparecen diferencias significativas, para las características evaluadas.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

GONZALEZ, R.J.; TORRES, R.L.; DE GREEF, D.M.. Comportamiento a la cocción de variedades de arroz y maíz utilizando el amilógrafo y dos diseños de extrusores. *Información Tecnológica*. v. 9, n 5, p 35-43, 1998.

GONZALEZ, R.J.; DE GREEF, D.M.; TORRES, R.L.; GORDO, N.A.. Efectos de algunas variables de extrusión sobre la harina de maíz, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. v. 37, n 3, p. 578-592, 1987.

ROBUTTI, J. L. Maize kernel hardness estimation in breeding by near-infrared transmission analysis. *Cereal Chemistry*. v. 72, p. 632-636, 1995.

ROBUTTI, J.L., BORRÁS, F.S., GONZÁLEZ, R.J., TORRES, R.L., & DE GREEF, D.M. Endosperm properties and Extrusion cooking behaviour of maize cultivars. *Food Science and Technology /LwT*. v. 35, p. 663-669, 2002.

SURREY, K. Spectrophotometric method for determination of lipoxigenase activity. *Plant Physiology*. v. 39, p. 65-70, 1964.