

Efecto de la adición de harina de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sobre las características sensoriales, reológicas y físicas de tortas y panquecas

Davdmary Cueto^{1*}, Elevina Pérez¹, Rafael Borneo² y Pablo Ribotta³

¹Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA). Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas, Venezuela

²Centro de Excelencia de Productos y Procesos de Córdoba (CEPROCOR). Córdoba, Argentina

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Córdoba, Argentina.

RESUMEN

La yuca es la fuente energética de mayor productividad en el trópico, que puede usarse como sustituto del trigo en la elaboración de alimentos para celíacos. Sin embargo, la disponibilidad de productos para esta población es limitada y onerosa. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución de la harina de trigo por harina de yuca, en niveles de 30 y 100% sobre las características de tortas y panquecas. Los batidos de las panquecas presentaron un pico endotérmico relacionado con el proceso de gelatinización, mostrando los de yuca una estructura granular más estable. No se evidenció retrogradación en los productos. La harina de yuca disminuyó la luminosidad en los productos e incrementó la tonalidad amarilla en las tortas. Asimismo la incorporación de harina de yuca en las tortas disminuyó la firmeza, masticabilidad, gomosidad y cohesividad, tendencia que se mantuvo en el tiempo. Las panquecas 100% trigo o yuca presentaron mayor firmeza (5918 y 5130g), gomosidad (3551 y 2952g) y masticabilidad (3504 y 2894). La sustitución modificó la estructura interna de la porosidad de la miga presentando las tortas de yuca un tamaño de alvéolo más grande (0,85-0,89 mm²) y un menor número alveolar (400-414), sin que ocurriera el colapso de la estructura pudiendo considerarse favorable. El análisis sensorial mostró que los productos con yuca provocaron buen nivel de aceptación (> 5 y 6) entre los evaluadores, lo que aunado con los resultados antes referidos demuestra la factibilidad de sustituir la harina de trigo por yuca.

Palabras clave: torta, panqueca, harina de yuca.

Effect of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour addition on the sensorial, rheological and physical characteristics of cakes and pancakes

ABSTRACT

Cassava is a staple food that provides energy source with increased productivity in the tropics, which can be used as a substitute for wheat in food for individuals genetically influenced by the ingestion of gluten. However, the availability of products suitable for this population is limited and onerous. The objective of this research was to evaluate the effect of substitution of wheat flour by cassava flour at the level of 30 and 100% on some characteristics of cakes and pancakes. Therefore, the thermal properties, color and texture profile, and the crumbs structure and sensorial were evaluated. Gelatinization endotherm was not detected in the batter of cake, while it was observed retrogradation in the batter of pancakes. Also, the pancake shake of the mix 100% of cassava flour showed a granular structure more stable, than those of the wheat flour. In both products retrogradation was not observed. On the other hand, the substitution of the wheat

*Autor de correspondencia: Davdmary Cueto

E-mail: davdmarycueto@yahoo.com.

flour by cassava flour changed the luminosity of the cake, by diminishing the crumb luminosity, while the crust luminosity increased in the clear zone with the partial substitution. In addition, it was observed an increment in the yellow hue at the crumb and crust. In contrast, in the pancakes, as increased the cassava flour, the luminosity was diminished, and the red hue increased in the dark zone. The pancakes 100% wheat and 100% cassava presented higher hardness, gumminess and chewiness than pancakes with 30% cassava. Uniaxial resistance to extension did not change significantly ($P \leq 0.05$) among pancakes. Substitution of wheat flour by cassava flour modified the internal structure of the products. Cakes showed larger average size of alveolus and a smaller number of alveolus, alveolar area and uniformity of size of the gas cells, without the occurrence of the collapse of the structure of the crumb which can be considered favorable. Finally, the products (cakes and pancakes) had an acceptable level of acceptance, which are indicative of the feasibility of replacing wheat flour with cassava, and consider the use of 100% formulation cassava as an alternative in the diet for celiacs.

Keywords: cake, pancake, cassava flour.

INTRODUCCIÓN

Los consumidores celíacos deben excluir de su dieta de por vida el trigo y otros cereales que contienen gluten, ya que su consumo produce una atrofia de las vellosidades intestinales, impidiendo la correcta absorción de los nutrientes (Bisset, 2001; Ali *et al.*, 2006; Da Silva-Kotze, 2006). Las tortas y panquecas convencionalmente se elaboran con harina de trigo, aunado a que la omisión del gluten en la dieta es difícil (Sánchez *et al.*, 2002) y a la deficiencia en el mercado de productos para el consumo de celíacos, resulta interesante considerar el estudio de materias primas que puedan sustituir el trigo en productos para la alimentación de celíacos.

La harina de yuca está siendo utilizada como sustituto del trigo, cebada y centeno en el desarrollo de productos alimenticios para celíacos en países desarrollados. Sin embargo, en países ubicados en el trópico, donde es un cultivo de importancia, no existen suficientes estudios, ni desarrollo de productos con estos fines. Estos nuevos alimentos pueden ser diferentes en palatabilidad a los productos convencionales elaborados con trigo, por lo que deben reformularse para que puedan ofrecer las mismas características sensoriales y la aceptación. Debido a que el gluten es la principal proteína formadora de estructura, responsable de las propiedades reológicas en la masa, su reemplazo total o parcial resulta en un desafío importante, principalmente desde el punto de vista estructural, para lo cual deben desarrollarse tecnologías adecuadas.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución de la harina de trigo por harina de yuca en niveles de 30 y 100% sobre las características reológicas, físicas y sensoriales de tortas y panquecas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ingredientes

La harina de yuca fue elaborada en el laboratorio a partir de la parte comestible de muestras de raíces comerciales, siguiendo el método descrito por Pérez *et al.*

(2007). La harina de trigo, el azúcar, la leche en polvo completa, la sal, el crémor tártaro y el bicarbonato de sodio fueron adquiridos en el mercado local y usados sin tratamiento adicional. El emulsificante y la maltodextrina de maíz fueron donados por una empresa privada. Agua potable, margarina y huevos frescos fueron usados en la preparación de las tortas y panquecas.

Elaboración de las tortas

La formulación base utilizada para la preparación de la mezcla lista para torta se muestra en el Cuadro 1. Esta se obtuvo usando la fórmula propuesta por Charley (2005), a la cual se le ajustaron los valores en base seca y se le adicionaron los siguientes aditivos: emulsificante comestible esterificado con propilenglicol monodiester de grasa y maltodextrina de maíz. Estos aditivos GRAS, que variaron en concentración y combinación, permitieron reemplazar las propiedades proporcionadas por las grasas y huevos en una torta convencional. Todos los aditivos fueron usados considerando los máximos permitidos por las normas Covenin (2000) para aditivos alimentarios. Los ingredientes se mezclaron y homogeneizaron en una mezcladora Kitchen Aid (Modelo K5SS, Michigan, USA).

Cuadro 1. Fórmula base para la preparación de las mezclas listas para tortas y panquecas.

Ingredientes	Cantidad (%)	
	Torta	Panqueca
Harina	33	65
Azúcar	37	26
Leche en polvo entera	23	6
Emulsificante	2	--
Bicarbonato de sodio	--	0,2
Cremer tártaro	--	0,5
Polvo de hornear	2	--
Maltodextrina	2	--
Sal	1	1,3

Se prepararon mezclas para elaborar tortas de harina de trigo sustituida por harina de yuca, sobre la base de un diseño experimental de tres formulaciones: control (harina de trigo) sustitución con harina de yuca en proporción 30:70 (yuca: trigo) y 100% sustitución de harina de yuca. Se seleccionó esta proporción ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) al compararla con la torta control de trigo (Cueto y Pérez, 2008) y 100% harina de yuca. La mezcla cernida de 446 g, se le incorporó 180 mL de agua y 50 g de margarina y se batió a velocidad baja por 2 min, luego se agregaron tres huevos y de continuo el batido por 4 min a velocidad media. El batido se vertió en un molde previamente engrasado y se llevó a un horno Zonda Rosario Convector (Córdoba, Argentina) por 26 min a 175°C.

Elaboración de las panquecas

La formulación base utilizada para la preparación de la mezcla lista para panqueca se muestra en el Cuadro 1, la cual se obtuvo a partir de fórmula propuesta por Ozawa y Seguchi (2006), ajustando los valores y modo de preparación a fin de optimizar la fórmula a nuestros patrones sensoriales. Todos los ingredientes se mezclaron y homogeneizaron en una mezcladora Kitchen Aid (Modelo K5SS, Michigan, USA).

Se prepararon panquecas a partir de mezclas listas de 30 y 100% de harina de yuca y una mezcla control 100% de harina de trigo, azúcar, leche en polvo, bicarbonato de sodio, cremor tártaro y sal. Se cernió 153 g de mezcla y se le incorporó 100 mL de agua, 8 g de margarina y un huevo y se batió por 2 min en una batidora planetaria (Arno, Brasil). Luego, el batido se vertió en un sartén caliente y se cocinó a fuego bajo por 2 min cada lado.

Propiedades térmicas

Para medir las propiedades térmicas de las mezclas, se utilizó un calorímetro DSC823e (Mettler Toledo, Schwerzenbach, Suiza), el cual se calibró con indio y zinc. Se pesaron alícuotas (~35 mg) en tres lotes de los batidos de tortas por cada formulación y en tres lotes de los batidos de las panquecas por cada formulación en cápsulas de aluminio de 100 μ L de capacidad. Las cápsulas fueron herméticamente selladas para evitar la deshidratación de los batidos y se analizaron en el calorímetro mediante una tasa de calentamiento de 10°C/min desde 30 hasta 120°C.

Las propiedades térmicas de los productos cocidos se analizaron a diferentes períodos de almacenamiento (1, 4 y 9 días para tortas y 1 día para panquecas), almacenadas en bolsas plásticas selladas herméticamente y conservadas en un lugar fresco, a una temperatura ambiente promedio de 26°C y una humedad relativa de

65%. Se pesó por triplicado material de la parte central de las tortas y panquecas en cápsulas de aluminio y se examinaron siguiendo la metodología antes descrita.

Además se estudió el perfil térmico de la harina de yuca con 28, 35, 45, 60 y 75% de humedad. El análisis térmico de la harina de yuca se realizó a una tasa de calentamiento de 10°C/min desde 30 hasta 120°C. A partir de los termogramas se determinó temperatura de inicio (T_0), temperatura pico (T_p), rango de temperatura (ΔT), así como el calor (ΔH en joule por g de materia seca) involucrado en la gelatinización del almidón en los batidos y la retrogradación de la amilopectina en los productos.

Color

Se determinó con un espectrofotómetro de superficie (Minolta 508d, Japón), utilizando el iluminante D65, y un ángulo de observador 10°, a partir de los valores obtenidos de la escala CIEL*a*b*. Se midió por triplicado el color en la corteza y la miga de las tortas. En la corteza se analizaron zonas oscuras y claras, mientras que en la miga se obtuvieron los parámetros en el centro de la torta. En las panquecas se midió el color de la superficie en las zonas oscuras y claras.

En todos los casos, se tomaron tres lecturas por muestra (torta o panqueca), por zona y por formulación y se informó el valor promedio. Se obtuvieron los parámetros L^* , a^* y b^* . En las tortas además se calculó el índice de marrón (IM) en la corteza, como $(100-L^*)$ según Akisoe *et al.* (2003).

Análisis de perfil de textura

Se usó un analizador de textura TA.XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) para determinar las características de textura de tortas a 1, 4 y 9 días de horneadas y de panquecas a 1 día, utilizando el método estándar de la AACC 74-09 (2003). De la parte central de dos tortas se tomaron cuatro rebanadas de 1,5 cm de espesor; 6,3 cm de ancho y 4,6 cm de alto, por cada formulación, descartando la corteza y se sometieron a doble ciclo de compresión hasta alcanzar 50% de deformación. En las panquecas, se tomaron cinco cilindros de la parte central de tres panquecas por cada formulación, se cortaron con un cilindro de 2,5 cm de diámetro y se sometieron a doble ciclo de compresión hasta alcanzar el 60% de deformación. El análisis de perfil de textura (APT) fue llevado a cabo en ocho rebanadas para las tortas y 15 cilindros de las panquecas por cada formulación. Los parámetros del análisis de textura se determinaron con el programa provisto con el texturómetro (Texture Expert 1.22, Stable Microsystems). Se registró el pico de firmeza definido como la fuerza requerida para

comprimir un producto. La cohesividad relacionada con la fuerza de los enlaces internos del producto y definida como la razón del área positiva lograda durante la segunda compresión y el área positiva de la primera compresión. La elasticidad como la capacidad de recuperar la forma original y definida como la distancia de compresión hasta la máxima altura durante la segunda compresión dividida por la distancia de compresión original (primer ciclo de compresión). La gomosidad y la masticabilidad son definidas como la energía requerida para desintegrar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado, resultando la primera como el producto de la dureza por la cohesividad y la segunda como el producto de la dureza, cohesividad y elasticidad.

Resistencia a la extensión

Se usó un analizador de textura TA.XT2i (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) para determinar la resistencia a la extensión de las panquecas. Este ensayo se realizó estirando la panqueca a velocidad constante hasta ruptura. Se usó una sonda esférica y se ubicó la panqueca en la plataforma por medio de abrazaderas, asegurando que la misma cubriera el agujero de la plataforma. El cabezal esférico descendió a 50 mm/s hasta su ruptura de la panqueca. A partir de la curva de fuerza versus distancia, se obtuvo el pico de fuerza correspondiente a la fuerza máxima alcanzada antes de la ruptura de la panqueca; distancia de ruptura como la distancia de estiramiento de la panqueca desde cero hasta el punto de ruptura o fuerza máxima y el área bajo la curva desde el punto cero hasta el punto máximo o de ruptura (superficie hasta la fuerza máxima). Los valores son promedios de seis panquecas tomadas al azar por cada formulación.

Estructura de la miga

Para el análisis de la estructura de la miga de las tortas, se obtuvieron imágenes digitales de tres rebanadas de torta por cada formulación de 1 cm de espesor en un escáner HP photosmart Premier (formato de imagen tiff), con una resolución de 600 ppp, y se analizaron mediante el programa Imagen J 1.42j (NIH, EUA). Se seleccionó una superficie de 45 x 28 mm en el centro de cada rebanada para su análisis. Las imágenes se transformaron a escala de gris (8 bits) y se segmentaron utilizando el algoritmo Otsu Thresholding (Liao *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, 2008).

A partir de las imágenes binarizadas (blanco: miga y negro: alvéolos) se obtuvieron los siguientes parámetros: Fracción del área promedio de alvéolos, como el número de píxeles que forman al alvéolo multiplicado por el área de un píxel. Número de alvéolos, como la cantidad de alvéolos en la miga de la torta. Área promedio del alvéolo, como una medida del tamaño del alvéolo con respecto al área medida, es decir, es la relación entre el área de

alvéolos y el área total seleccionada (Ribotta *et al.*, 1999). Uniformidad del tamaño del alvéolo, como la relación entre el número de alvéolos con una superficie menor y mayor a 1 o 5 mm². Los valores más altos indican una mayor uniformidad del alvéolo (Zghal *et al.*, 2001).

Evaluación sensorial

Se evaluaron las tortas y panquecas elaboradas mediante una prueba hedónica estructurada (numérica) de siete puntos, para medir el agrado o desagrado de la torta en cuanto a los atributos: color, sabor, olor, textura y aceptabilidad global y así determinar la aceptación por la formulación presentada. El panel evaluador fue de 30 personas no entrenadas, de ambos sexos, 14 mujeres y 16 hombres, en edades comprendidas entre 21 y 56 años, a las cuales se les dio una porción de aproximadamente 10 g de los diferentes productos a temperatura ambiente para la evaluación sensorial, la cual se realizó según la metodología descrita por Pedrero y Pangborn (1997).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se trataron estadísticamente mediante un análisis de varianza (Anova) de una vía (propiedades térmicas, color, APT en las panquecas, resistencia a la extensión, estructura de la miga y evaluación sensorial) y fueron analizados con el factor porcentaje de sustitución de la harina de trigo, estableciendo la formulación 100% trigo como control y dos niveles de sustitución 30 y 100% harina de yuca. Para el APT de las tortas se usó un Anova de dos vías tomando como factores: nivel de sustitución y tiempo (1,4 y 9 días).

Para determinar las medias significativamente diferentes, se usó un procedimiento de comparación de prueba múltiple de rango por el método de mínimas diferencias significativas de Fisher al 5% de significancia. Estos análisis fueron realizados con el paquete estadístico Statgraphics Plus (Statpoint Technologie Inc., 2009). Todas las muestras se analizaron por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades térmicas

Cuando los batidos de las tortas fueron sometidos a análisis térmico en el calorímetro (resultados no mostrados), se observó la presencia de un pequeño pico endotérmico a temperaturas cercanas a 80°C, posiblemente correspondiente a la gelatinización/fusión del almidón. Es importante mencionar que no fue posible calcular el calor involucrado en la transición debido al pequeño tamaño de los picos. Esto se puede deber a los siguientes factores: 1) la cantidad de agua disponible para la gelatinización fue baja

(35%), 2) la cantidad de almidón presente en las mezclas fue muy baja, 3) la interacción entre los ingredientes de la formulación con la amilosa y la amilopectina impidieron estos procesos y 4) una combinación de los anteriores. Este resultado fue corroborado con un perfil amilográfico, donde no se evidenció un aumento significativo de la viscosidad (resultados no mostrados). Cuando se analizó la retrogradación de la amilopectina en las tortas almacenadas, no fue posible identificar cambios en la señal del calorímetro en el rango estudiado.

Los termogramas de los batidos con harina de trigo y de yuca en las panquecas (Figura 1) mostraron un pico correspondiente a la gelatinización del almidón. Los batidos con 100% harina de trigo tuvieron una temperatura final de gelatinización más baja y mostraron mayor absorción de energía y menor rango de temperatura durante este proceso que los batidos con 100% harina de yuca (Cuadro 2). Consecuentemente, esta última tuvo estructura granular más estable, mayor grado de estructura cristalina y mayor heterogeneidad de cristales. Por otro lado, el batido con mezcla de trigo y yuca (BP30Y) mostró dos picos solapados correspondientes a la gelatinización del almidón presente en ambas harinas. Esta mezcla presentó menor temperatura de inicio y mayor rango de temperatura de gelatinización comparada con los valores obtenidos para las harinas por separado (BP100T y BP100Y), mientras que la energía involucrada en el proceso de gelatinización tuvo un valor intermedio. Esto permitió concluir que el proceso de gelatinización fue afectado ligeramente en la mezcla (trigo/yuca) como se indica en la Figura 1, el cual disminuyó por la sustitución de harina de trigo por la

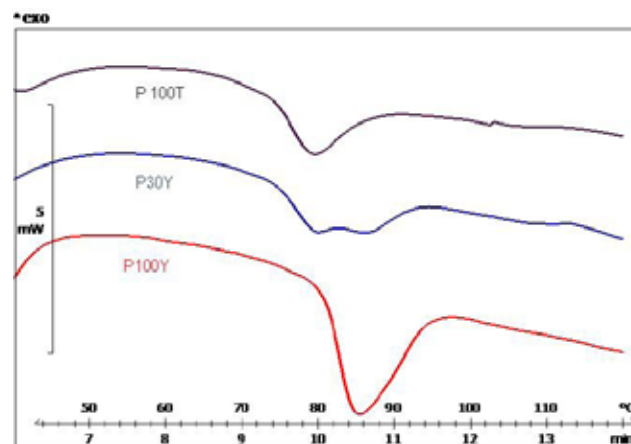


Figura 1. Análisis térmicos en los batidos de las panquecas. Leyenda: P 100T: panqueca 100% harina de trigo, P30Y: panqueca 30% harina de yuca y P100Y: panqueca 100% harina de yuca

harina de yuca.

Asimismo, a las 24 h de elaboradas las panquecas, se realizaron nuevos ensayos en el calorímetro para determinar retrogradación. Ninguna de las muestras mostró cambios en la señal del calorímetro en el rango estudiado, lo que indica que luego de 24 h de almacenamiento no se detectó recristalización de amilopectina en las panquecas.

La Figura 2 muestra los termogramas encontrados cuando la harina de yuca, con diferentes contenidos de

Cuadro 2. Análisis térmico del batido de las panquecas y harina de yuca.

Producto†	Temperatura de inicio (°C)	Temperatura de pico (°C)	Temperatura de finalización (°C)	Rango de temperatura gelatinización (°C)	ΔH_{\ddagger} (J/g BS)
BP 30Y	73,28a	79,46a	92,08b	18,8c	-4,19±0,20b
BP 100Y	80,34c	85,20b	94,94c	14,6b	-6,92±0,10a
BP 100T	75,10b	79,58a	84,94a	9,8a	-1,06±0,05c
HY 28%	83,19c	90,32e	100,88d	17,7b	-0,29±0,00d
HY 35%	81,65bc	85,92d	91,80b	10,2a	-0,69±0,00cd
HY 45%	79,93b	83,61c	88,87a	8,9a	-1,12±0,00c
HY 60%	75,84a	81,27b	94,60c	18,7b	-3,34±0,20b
HY 75%	73,87a	79,23a	100,58d	26,7c	-9,64±0,20a

† BP = batido panqueca; HY = harina de yuca; Y = yuca y T = trigo.

‡ Entalpía expresada en base seca de sólidos en la harina de la muestra.

^{ab} Medias con letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

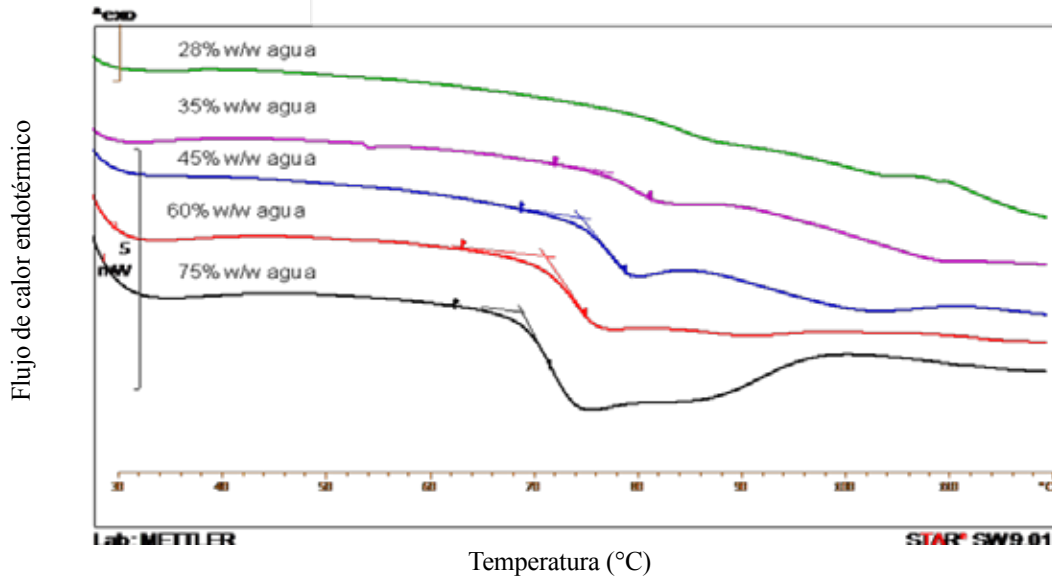


Figura 2. Análisis térmicos en harina de yuca. Leyenda: 28% w/w, 35% w/w, 45% w/w, 60% w/w y 75% w/w corresponden a las suspensiones de harina de yuca preparadas a un 28, 35, 45, 60 y 75% de humedad, respectivamente.

agua (desde 28 hasta 75%) fue sometida a análisis térmico en el DSC. A partir de una humedad de 35% se observó un pico endotérmico relacionado con la gelatinización del almidón alrededor de los 80°C y un segundo pico muy pequeño cercano a los 110°C, posiblemente debido a la fusión de cristales de almidón. A medida que aumentó la cantidad de agua se observó un descenso de la energía involucrada en la gelatinización del almidón y una disminución de la temperatura de inicio del pico en esta transición. Esto sugiere que solo parte de los cristales del almidón se funden a bajas cantidades de agua mientras que los restantes dan origen a una segunda endoterma a mayor temperatura, la cual se comporta de acuerdo a la teoría de Flory para las interacciones entre polímeros y diluyentes. Esta analogía de los polímeros sintéticos propone que la gelatinización del almidón es un proceso de fusión facilitado por un solvente (agua) el cual obedece a la ecuación de Flory-Huggins (Biliaderis, 1992; Sandoval *et al.*, 2005). A medida que se incrementa el agua disponible para la gelatinización, ocurre una disminución de la energía involucrada en el proceso de gelatinización y ambos picos se acercan hasta solaparse, como puede observarse en las endotermas obtenidas con una humedad igual o mayor al 60%.

El incremento del agua disponible facilita la hidratación, hinchamiento y fusión de los cristales del almidón presente en la harina de yuca (Cuadro 2). Con estos resultados, se pueden establecer patrones de referencia en cuanto al comportamiento de la harina de yuca en presencia de diferentes niveles de humedad, y permiten comparar los picos obtenidos en las panquecas

con el pico obtenido en la harina de yuca a un 45% de humedad, valor más próximo al porcentaje de humedad obtenido de los batidos en las panquecas.

Color

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la determinación del color en las tortas y panquecas. En las tortas, la luminosidad (L^*) aumentó en la zona clara de la corteza cuando la sustitución fue de 30% de harina de yuca, mientras que con 100% de harina de yuca no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) ni con la formulación control ni con 30% de harina de yuca. En la miga, la L^* disminuyó con la incorporación de harina de yuca en la formulación. Esto se puede asociar con la menor cantidad de alvéolos ya que Scanlon y Zghal (2001), en su estudio sobre las propiedades y estructura de la miga del pan, señalan que en la miga las regiones con más fina estructura alveolar reflejan más la luz, mientras que un tamaño de alvéolo más grande refleja menos luz.

Se observó un aumento en la tonalidad roja (a^*) con la incorporación de harina de yuca en la zona oscura de la corteza, aunque la zona clara no fue afectada. También, se evidenció un aumento de la tonalidad amarilla (b^*) en la corteza y la miga de las tortas, al aumentar la proporción de harina de yuca. Con respecto al índice de marrón, hay una menor tendencia al oscurecimiento a medida que aumenta la proporción de harina de yuca y la zona oscura no se ve afectada. Heenan *et al.* (2009), en su estudio sobre la percepción del consumidor en la frescura de productos horneados, señalan que las tortas son consideradas frescas cuando presentaron una corteza marrón oscura, dorada.

Cuadro 3. Color en las tortas y panquecas.

Torta	Corteza zona oscura				Corteza zona clara				Miga		
	L*	a*	b*	IM	L*	a*	b*	IM	L*	a*	b*
T30Y	35,37 ^a	18,97 ^{ab}	24,50 ^b	64,63 ^a	61,12 ^b	16,50 ^a	47,21 ^b	38,88 ^a	78,91 ^a	-0,30 ^a	30,93 ^b
T100Y	35,03 ^a	20,61 ^b	24,28 ^b	64,97 ^a	55,11 ^{ab}	18,49 ^a	46,25 ^b	44,89 ^{ab}	78,75 ^a	0,64 ^b	32,35 ^b
T100T	33,77 ^a	15,61 ^a	18,78 ^a	66,23 ^a	51,55 ^a	19,24 ^a	41,42 ^a	48,45 ^b	81,25 ^b	0,53 ^b	28,00 ^a
Panqueca	L*	a*	b*	IM	L*	a*	b*	IM			
P30	51,07 ^a	16,69 ^b	33,55 ^b	48,93 ^b	70,85 ^b	2,05 ^a	23,15 ^a	29,15 ^a			
P100Y	48,12 ^a	15,77 ^b	29,07 ^a	51,89 ^b	66,09 ^a	2,05 ^a	22,09 ^a	33,92 ^a			
P100T	60,54 ^b	11,54 ^a	34,03 ^b	39,46 ^a	68,53 ^{ba}	1,97 ^a	22,00 ^a	31,46 ^a			

T30Y= torta 30% HY; T100Y=torta 100% HY; T100T= torta 100% HT; P30Y= panqueca 30% HY; P100Y = panqueca 100% HY y P100T = panqueca 100% HT; L*= índice de luminosidad (100=blanco, 0=negro); a*= croma (+ rojo; - verde); b*= croma (+ amarillo, - azul); ^{ab}Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Se pudo constatar, por los resultados obtenidos del IM, la frescura de las tortas elaboradas, lo cual es corroborado por la aceptación de las diferentes tortas evaluadas sensorialmente.

A medida que se incrementó la proporción de harina de yuca, disminuyó L* en la zona oscura; no obstante, no se encontraron diferencias en este parámetro para los dos niveles de sustitución. En la zona clara, la L* no se vio tan afectada por la proporción de harina de yuca, encontrándose que las panquecas más claras eran la P30Y y que esta no difiere de la P100T, pero si es diferente de la P100Y. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros a* y b* en la zona clara, aunque se observó un incremento en la tonalidad roja en la zona oscura con la adición de harina de yuca. Similar tendencia a la tonalidad roja y amarilla fue encontrada por Shittu *et al.* (2007), en la corteza del pan elaborado con sustitución del trigo en un 10% con harina de yuca, indicando que el color de la corteza puede describirse esencialmente como una mezcla de pigmentos rojos y amarillos.

Análisis de perfil de textura

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del APT para las tortas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas, entre las tortas elaboradas con los dos niveles de harina de yuca, pero si cambiaron estas últimas con respecto a la torta de trigo. Las tortas con harina de yuca presentaron menores valores de firmeza y masticabilidad, por lo que requieren menos fuerza para comprimirlas entre los molares. Asimismo, presentaron menor cohesividad y gomosis, lo que refleja una menor tendencia de las partículas a mantenerse unidas; es decir, se desmoronan más fácilmente en comparación con las tortas de trigo. Estas tendencias se mantuvieron durante el tiempo de almacenamiento.

Al observar los valores de elasticidad, se encontró que las tortas de trigo presentaron menor capacidad para recuperar su forma original que la torta elaborada con 30% harina de yuca, pero similar tendencia que la torta 100% harina de yuca. Durante el almacenamiento (4 y 9 días) esta diferencia no se percibió. Resultados similares de firmeza y masticabilidad fueron obtenidos en estudios previos (Cueto y Pérez, 2010), en tortas elaboradas con harina compuesta trigo: yuca y torta control de trigo. Gómez *et al.* (2008) encontraron al sustituir la harina de trigo por garbanzo en un 50 y 100%, que las tortas aumentaron la firmeza, masticabilidad y gomosis, pero disminuyeron su cohesividad y elasticidad. El fenómeno de la dureza en las tortas apenas ha sido estudiado, pero se conoce que en este tipo de productos se desarrolla un sistema complejo donde algunos ingredientes interactúan entre ellos afectando la textura (Gelinás *et al.*, 1999). En general este fenómeno es atribuido a la deshidratación de la miga, lo cual puede ser evitado usando adecuados empaques (Gómez *et al.*, 2008).

Los resultados del APT de las panquecas se presentan en el Cuadro 5. Las panquecas elaboradas con 100% harina de trigo y 100% harina de yuca fueron las que presentaron mayor firmeza, gomosis, elasticidad y masticabilidad, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre ellas ($P \leq 0,05$). Por el contrario, la mezcla de harina de trigo y yuca (PY30) fue la que presentó los valores más bajos para esos parámetros. Es importante resaltar el efecto sinérgico de la mezcla de harinas sobre la mejora de los parámetros de textura.

Entre las propiedades en las panquecas preferidas por los japoneses resalta una baja gomosis justo después de elaboradas, y una alta elasticidad (Seguchi y Matsuki, 1977; Seguchi *et al.*, 1998), siendo considerada esta última como una importante propiedad de calidad. Los

Cuadro 4. Análisis del perfil de textura en tortas a los 1, 4 y 9 días.

	T30Y			T100Y			T100T		
	1	4	9	1	4	9	1	4	9
Firmeza	779,1 ^{ad}	956,9 ^{bd}	1006,9 ^{bd}	871,4 ^{ad}	1007,3 ^{bd}	1162,1 ^{bc}	1475,1 ^{ac}	2631,3 ^{bc}	3348,4 ^{cf}
Cohesividad	0,46 ^{bc}	0,42 ^{ade}	0,49 ^{cd}	0,44 ^{bd}	0,41 ^{ad}	0,47 ^{cd}	0,50 ^{bf}	0,45 ^{ae}	0,51 ^{bc}
Elasticidad	0,92 ^{bc}	0,88 ^{ad}	0,89 ^{abd}	0,89 ^{ade}	0,89 ^{ad}	0,89 ^{ad}	0,87 ^{ad}	0,87 ^{ad}	0,89 ^{ad}
Gomosidad	365,6 ^{ad}	405,4 ^{ad}	943,1 ^{bd}	379,9 ^{ad}	410,9 ^{ad}	549,8 ^{bd}	740,8 ^{ae}	1168,6 ^{bc}	1598 ^{cc}
Masticabilidad	336,6 ^{ad}	355,3 ^{ad}	440,2 ^{bd}	338,7 ^{ad}	366,7 ^{ad}	489,6 ^{bc}	706,3 ^{ae}	1017,5 ^{bc}	1297,6 ^{cf}

T30Y= torta 30% HY; T100Y=torta 100% HY; T100T= torta 100% HT

^{abc}Medias con superíndices diferentes en una misma fila indican diferencias significativas en el tiempo ($P \leq 0,05$).

^{def}Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas de acuerdo al tipo de torta ($P \leq 0,05$).

resultados de elasticidad y cohesividad indican una casi completa recuperación de la forma original, así como la capacidad de las partículas en mantenerse unidas y permanecer así, aunque se les aplique compresión, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes panquecas.

Resistencia a la extensión

El Cuadro 6 muestra los resultados de la extensión en las panquecas. No se encontraron diferencias significativas en la fuerza requerida para estirar las panquecas, es decir en su resistencia. No obstante, la panqueca 100% yuca requirió mayor fuerza para estirarse (por lo tanto es más resistente) y además fue más extensible que las otras dos.

Los cambios encontrados en los parámetros de textura y resistencia podrían estar relacionados con las diferencias en los perfiles viscoelásticos de las pastas formadas por la gelificación del almidón. En general, es conocido que la yuca produce geles más viscosos y menos firmes que el almidón de trigo. Por otro lado, la presencia de proteínas formadoras de gluten en la harina de trigo podría explicar la mayor firmeza de las panquecas elaboradas con harina de trigo.

Análisis de imagen

La Figura 3 muestra las imágenes en gris y binarizadas de las diferentes muestras de torta. Una simple evaluación visual indica una clara diferencia en la estructura

de la miga entre las tortas elaboradas con harina de yuca y la torta de trigo, lo que además fue estadísticamente significativo ($P \leq 0,05$). Como se observa en el Cuadro 7 el uso de la harina de yuca aumentó el tamaño promedio del alvéolo, y disminuyó el área y el número de alvéolos en la miga. Esta disminución del porcentaje de retención de gas también fue evidenciada por Salazar y Álvarez (2001) en masas panificables de harina compuesta a base de trigo, yuca y subproductos amiláceos del maíz.

Además se encontró que la uniformidad de la miga disminuyó con la incorporación de yuca en la formulación. Zghal *et al.* (2001) en su estudio sobre el efectos de la fuerza de la harina, cocción y condiciones de procesamiento sobre la estructura y propiedades mecánicas en la miga del pan, hallaron que la uniformidad de la miga estuvo influenciada significativamente por el tipo de harina, especialmente atribuido a la fuerza del gluten.

Por ende, la torta de trigo presentó una miga con un grano más fino, predominando un tamaño de alvéolo menor a 1 mm² en mayor proporción que en las tortas elaboradas con yuca. Debido a las diferencias encontradas en la estructura de la miga, es necesario profundizar en este tema y evaluar la incorporación de algún aditivo (goma, hidrocoloide, emulsificante) o modificaciones en la técnica de preparación del batido a fin de minimizar las diferencias observadas, en especial la presencia de canales en la miga que pudieran ser considerados como defectos en este tipo de productos.

Cuadro 5. Análisis del perfil de textura en panquecas.

Torta	Dureza (g)	Elasticidad	Cohesividad	Gomosidad (g)	Masticabilidad
P30Y	3526,675 ^a	0,973 ^a	0,597 ^a	2101,868 ^a	2037,057 ^a
P100Y	5130,101 ^b	0,980 ^a	0,575 ^a	2952,145 ^b	2894,469 ^b
P100T	5917,718 ^b	0,986 ^a	0,600 ^a	3551,441 ^b	3503,847 ^b

P30Y= panqueca 30% HY; P100Y = panqueca 100% HY y P100T = panqueca 100% HT

^{ab}Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Cuadro 6. Resultados de la extensión uniaxial en panquecas.

Muestra	Distancia (mm)	Fuerza (g)	Área (gs)
P 30Y	21,05 ^a	509 ^a	6 422 ^a
P 100Y	24,87 ^b	515 ^a	6 750 ^a
P 100T	20,45 ^a	508 ^a	5 933 ^a

P30Y= panqueca 30% HY; P100Y = panqueca 100% HY y P100T = panqueca 100% HT

^{ab} Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Evaluación sensorial

En el Cuadro 8 se aprecian los resultados de la evaluación sensorial de la torta y panquecas de trigo comparada con las tortas y panquecas elaboradas con sustitución del trigo por yuca en un 30 y 100%. Se puede apreciar que no se existen diferencias estadísticamente significativas con un 95% de confiabilidad entre los tres tipos de tortas o los tres tipos de panquecas, para ninguno de los atributos evaluados por el grupo de panelistas.

En las tortas y las panquecas todas las características evaluadas se ubicaron por encima de 6 y 5 puntos (“me gusta mucho” y “me gusta moderadamente”), respectivamente, lo que indica que hubo buena aceptación de los productos presentados y que la sustitución por yuca no afectó el agrado de los mismos.

Aunque se encontró diferencias en el perfil de textura entre las tortas elaboradas con harina de yuca y la torta de trigo, esto no influyó en la aceptación del panel evaluador por las tortas presentadas. Asimismo, a pesar de las diferencias encontradas en algunos de los parámetros de la textura (instrumental) entre las panquecas con 30% de harina de yuca comparadas con las de 100% trigo y 100% yuca, estas no influyeron en la aceptación por el panel afectivo que las degustó.

Cuadro 7. Resultados del análisis de imágenes sobre las rodajas de las diferentes tortas.

Torta†	Alvéolos (N°)	Tamaño alvéolo (mm ²)	Área alvéolo (mm ²)	Uniformidad a 1 (mm ²)	Uniformidad a 5 (mm ²)
T30Y	414a‡	0,89a	29,38a	6,25a	43,0a
T100Y	400a	0,85a	27,00a	6,86a	45,7a
T100T	2502b	0,24b	48,65b	57,29b	667,5b

† T30Y= torta 30% HY, T100Y = torta 100% HY, T100T = torta 100% HT

‡ Medias con letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

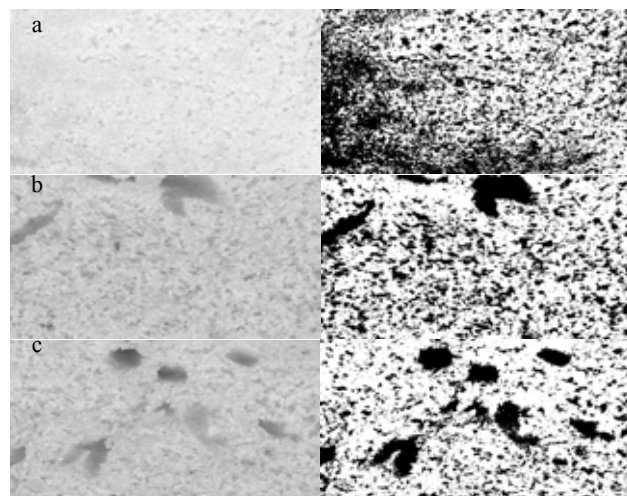


Figura 3. Análisis de imagen en las tortas. Izquierda: imágenes en escala de grises, Derecha: imágenes binarias de las tortas, Con 100% trigo (a), 30% yuca (b) y 100% yuca (c). Se segmentaron utilizando el algoritmo Otsu Thresholding.

CONCLUSIONES

Las panquecas y las tortas no mostraron tendencia a retrogradar, por lo que las formulaciones propuestas permitieron productos más suaves. El uso de harina de yuca en la preparación de las tortas produjo el oscurecimiento de la miga y en las panquecas el oscurecimiento de la corteza. La sustitución de la harina de trigo por harina de yuca permitió conseguir tortas y panquecas más suaves, mejor masticables y menos gomosas. El empleo de harina de yuca en las panquecas no afectó la resistencia a la extensión. Se consiguió formular tortas con sustitución parcial o total de la harina de trigo, sin que ocurriera colapso de la estructura de la miga. La evaluación sensorial evidenció un nivel de aceptación por encima de la media de la escala hedónica utilizada. Los resultados sugieren la factibilidad de sustitución parcial o total de la harina de trigo por harina de yuca en tortas y panquecas, especialmente en países de clima tropical, no productores de trigo.

Cuadro 8. Evaluación sensorial de las tortas y panquecas.

Torta	Color	Sabor	Olor	Textura	Aceptabilidad global
T30Y	6,24 ^a	6,12 ^a	6,18 ^a	6,06 ^a	6,24 ^a
T100Y	6,18 ^a	6,00 ^a	6,00 ^a	5,94 ^a	6,00 ^a
T100T	6,18 ^a	6,47 ^a	6,35 ^a	6,53 ^a	6,59 ^a
Panqueca	Color	Sabor	Olor	Textura	Aceptabilidad global
P30Y	5,88 ^a	6,06 ^a	5,76 ^a	5,94 ^a	5,82 ^a
P100Y	5,71 ^a	5,59 ^a	5,65 ^a	5,53 ^a	5,65 ^a
P100T	6,24 ^a	6,00 ^a	5,71 ^a	6,12 ^a	6,18 ^a

T30Y= torta 30% HY; T100Y=torta 100% HY; T100T= torta 100% HT

P30Y= panqueca 30% HY; P100Y = panqueca 100% HY y P100T = panqueca 100% HT

^{ab} Medias con superíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas (P≤0,05).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento para la realización de este estudio al Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (FONACIT) y al proyecto “Obtención de productos de panificación para necesidades específicas” Cooperación Internacional Cyted/ 106p10301. 2006-2009. Argentina - Venezuela. Asimismo, se agradece a la empresa Alfonso Rivas & Cía, la cual donó el emulsificante y la maltodextrina utilizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2003. Laboratory Method. 10^{ma} ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, EUA.
- Akissoe, N.; J. Hounhouigana; C. Mestres; M. Nago. 2003. How blanching and drying affect the colour and functional characteristics of yam (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) flour. Food Chem. 82: 257-264.
- Ali, I.; N. Mariasch; S. Maurel ; S. Deschutter. 2006. Enfermedad celíaca: formas de presentación clínica en la población pediátrica. Rev. Postgrado VIa Cátedra Med. 157: 5-6.
- Biliaderis, C. 1992. Structures and phase transitions of starch in food systems. Food Technol. 145: 98-109.
- Bisset, W. 2001. Understanding diarrhea. Curr. Pediat. 11: 291-295.
- Cueto, D.; E. Pérez. 2010. Proximate composition and rheological properties of a cake mix elaborated using composite flour wheat: cassava. Int. J. Food Eng., 6:1-9.
- Cueto, D.; E. Pérez. 2008. Formulación, caracterización y estabilidad de una mezcla lista para torta a base de harina de trigo y yuca. Memorias V Congreso Internacional, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica y VI Jornadas Científicas de Biotecnología Molecular y Biomedicina. Chiapas, México.
- Charley, H. 2005. Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos. Limusa. Ciudad de Mexico, México. 767 p.
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 2000. Norma general para aditivos alimentarios N° 910. 2^{da} rev. Ministerio de Fomento. Caracas. Venezuela. 19 p.
- Da Silva-Kotze, L. 2006. Doença celíaca. J. Bra. Gastroent. 6 : 23-34.
- Gélinas, P.; G.Roy; M. Guillet. 1999. Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test. J. Food Sci. 64: 937-940.
- Gómez, M.; B. Oliete; C. Rosell; V. Pando; E. Fernández. 2008. Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. Food Sci. Technol. 41: 1701-1709.
- Heenan, S.P.; N. Hamid; J.P. Dufour; W. Harvey; C.M. Delahunty. 2009. Consumer freshness perceptions of breads, biscuits and cakes. Food Qual. Pref. 20: 380-390.
- Liao, P.; T. Chen; P. Chung. 2001. A fast algorithm for multilevel thresholding. J. Inf. Sci. Eng. 17: 713-727.
- Ozawa, M.; M. Seguchi. 2006. Relationship between pancake springiness and interaction of wheat flour components caused by dry heating. Food Sci. Technol. Res. 12: 167-172.
- Pedrero, D.; R. Pangborn. 1997. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos. Alhambra Mexicana. Ciudad de México, México. 151p.
- Pérez, E.; M. Lares; Z. González; J. Tovar. 2007. Production and characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flours using different thermal treatment. Interciencia 32: 615-619.
- Ribotta, P.; M. Morcillo; A. León. 1999. Efecto de distintos oxidantes sobre la calidad de panes elaborados por el método tradicional Argentino. Agriscientia 16: 3-10.

- Salazar, E.; L. Álvarez. 2001. Características objetivas y subjetivas en la evaluación de panes elaborados con harinas compuestas de trigo (*Triticum vulgare*), yuca dulce (*Manihot esculenta*) y subproductos amiláceos del maíz (*Zea mays*). *Rev. Saber UDO*, 13: 50-54.
- Sánchez, H.D.; C.A. Osella; M.A. de la Torre. 2002. Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. *J. Food Sci.* 67: 416-419.
- Sánchez, M.E.; A. Ortiz; R. Mora; J. Chanona; H. Necochea. 2008. Comparison of crumb microstructure from pound cakes baked in a microwave or conventional oven. *Food Sci. Tech.* 41: 620-627.
- Sandoval, A.; E. Rodríguez; A. Fernández. 2005. Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Rev. Fac. Minas. Univ. Nac. Colombia*, 72(146): 45-53.
- Scanlon, M.; M. Zghal. 2001. Bread properties and crumb structure. *Food Res. Int.* 34: 841-864.
- Statpoint Technologie. 2009. Statgraphics Plus software. Ver. 5.1. Statpoint Technologie Inc. Warrenton. EUA.
- Seguchi, M.; J. Matsuki. 1977. Studies on pan-cake baking I. Effect of chlorination of flour on pan-cake qualities. *Cereal Chem.* 54(2): 287-299.
- Seguchi, M.; M. Hayashi; K. Kanenaga; Ch. Ishihara; S. Noguchi. 1998. Springiness of pancake and its relation to binding of prime starch to tailings in stored wheat flour. *Cereal Chem.* 75(1): 37-42.
- Shittu, T.; A. Raji; L. Sanni. 2007. Bread from composite cassava-heat flour I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Res. Inter.* 40: 280-290.
- Zghal, M.; M. Scanlon; H. Sapirstein. 2001. Effects of flour strength, baking absorption, and processing conditions on the structure and mechanical properties of bread crumb. *Cereal Chem.* 78(1): 1-7.