

# EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE YUCA (*Manihot esculenta* Cranz) EN EL PROCESO DE FRITURA A VACIO DE CHIPS

Angela Marcela Urbano Ramos<sup>1</sup>, Purificación García Segovia<sup>2</sup>, Javier Martínez Monzó<sup>2</sup>

**Resumen:** El consumo de productos fritos como aperitivos aumenta a medida que se incrementa la oferta comercial. Al igual que aumenta el consumo, crece la preocupación por la calidad nutricional de los chips lo que motiva la investigación y desarrollo de nuevos productos de aperitivo que aporten menos calorías y grasas a la dieta al igual que buen sabor y facilidad de consumo. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de chips de yuca en procesos de fritura atmosférica y a vacío, determinando la influencia de estos tratamientos sobre las propiedades mecánicas, ópticas y la absorción de aceite. Para ello se realizaron frituras a vacío a 100, 120, 130 y 140°C, y se compararon con las realizadas a presión atmosférica (165°C). A las muestras se les determinó color, textura y sonido, pérdida de peso, humedad y contenido graso. Adicionalmente se determinó la influencia de la aplicación de blanqueo como pre-tratamiento en los procesos de fritura. Los resultados mostraron que el pre-tratamiento de blanqueo supuso una mejora considerable en el color de las muestras tratadas a vacío. La fritura a vacío de chips de yuca con blanqueo previo resultó ser un tratamiento alternativo a la fritura a presión atmosférica ya que mejora el color de las muestras, reduce la ganancia de aceite de las mismas y mantiene su carácter crujiente, siendo el tratamiento a 130 °C a vacío con blanqueo el que mejores resultados aportó.

Palabras Clave: Yuca, Fritura a vacío, Fritura Atmosférica, Blanqueo, absorción de grasa.

**Resum:** El consum de productes fregits augmenta a mesura que s'incrementa l'oferta comercial. A l'igual que augmenta el consum, creix la preocupació per la qualitat nutricional dels xips la qual cosa motiva la investigació i desenvolupament de nous productes d'aperitiu que aporten menys calories i greixos a la dieta al igual que un bon sabor i facilitat de consum. El objectiu d'aquest treball va ser estudiar el comportament de xips de iuca en processos de fritura atmosfèrica i a buit, determinant la influència d'aquests tractaments sobre les propietats mecàniques, òptiques i l'absorció d'oli. Es van

---

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo

<sup>2</sup> Grupo de Investigación CUINA. Departamento de Tecnología de Alimentos  
Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n 46022. Valencia. España

realitzar fritures a buit a 100, 120, 130 i 140°C, i es van comparar amb les realitzades a pressió atmosfèrica (165°C). A les mostres se les va mesurar color, textura i so, pèrdua de pes, humitat i contingut greix. Addicionalment es va determinar la influència de l'aplicació de blanqueig com pretractament als processos de fritura. Els resultats varen mostrar que el pretractament de blanqueig suposà una millora considerable en el color de les mostres tractades a buit. La fritura a buit de xips de iuca amb blanqueig previ resultà ser un tractament alternatiu a la fritura a pressió atmosfèrica ja que millora el color de les mostres, redueix el guany d'oli i manté la seua cruïença, sent el tractament a 130°C a buit amb blanqueig el que millors resultats va donar.

Paraules clau: iuca, fritura a buit, fritura atmosfèrica, blanqueig, absorció de greix.

**Abstract:** The fried product consumption as appetizer increases as the commercial supply is increased. The preoccupation by the nutritional quality of the chips grows due to the consumption increase, which motivates the research and development of new appetizer products that contribute to less calories and fats intake in the diet with good flavor and facility of consumption. The objective of this work was to study the behavior of chips of cassava processed under atmospheric and vacuum frying conditions to determine the influence of these treatments on the mechanical, optical properties and the oil absorption. For it, vacuum frying trials to 100, 120, 130 and 140°C were realized, and they were compared with the realized ones under atmospheric pressure (165°C). Samples were characterized in color, texture and sound, loss of weight, moisture and fat content. Additionally, the influence of the application of blanching as pre-treatment in the frying processes was evaluated. The obtained results shown that the blanching pretreatment implies a considerable improvement in the color of the samples vacuum treated. The vacuum frying of chips of cassava with previous blanching may be an alternative to the atmospheric frying since it improves the color of the samples, reduces the oil gain and maintains his crispness, being the treatment at 130 °C under vacuum conditions with blanching the one that better results contributed.

Key words: cassava, vacuum frying, atmospheric frying, blanching, oil absorption

## INTRODUCCION

El consumo de productos fritos como aperitivos aumenta a medida que se incrementa la oferta comercial, 9 de cada 10 españoles afirma consumirlos por su sabor, variedad y buena calidad (Financial Food, 2009). Los aperitivos son elaborados a partir de patata, maíz y harina de cereales, a los cuales se les aplican diferentes procesos como secado, tostado, horneado, fritura y extrusión.

En España se consumían 120.000 toneladas de chips fritos en 2004 ubicándose en el tercer puesto de consumo después de Reino Unido y Holanda (El mundo, 2006). Al igual que aumenta el consumo, crece la preocupación por la calidad nutricional de los chips y el consumo de calorías vacías. Este interés llevo a desarrollar una estrategia entre el Ministerio de Sanidad Español y la industria para ejercer un control sobre la producción, conocida como “Estrategia NAOS”. Firmada en 2005, en la cual los productores se comprometían a disminuir la cantidad de sal, mejorar la calidad de los aceites, disminuir los componentes de grasas saturadas y no facilitar el acceso a sus productos a menores de 12 años para el año 2009.

La calidad nutricional de los alimentos es interés de los consumidores, lo que motiva a la investigación y desarrollo de nuevos productos aperitivos que aporten menos calorías y grasas a la dieta al igual que buen sabor y facilidad de consumo. Por lo tanto se puede pensar en la aplicación de técnicas de fritura que disminuyan la absorción de grasa por parte del chip.

La fritura a vacío se aplica actualmente a la elaboración de chips de patata principalmente, como tecnología de proceso a presión subatmosférica que permite la elaboración de aperitivos fritos con las mismas características de sabor, textura y color que la fritura convencional con el beneficio de la reducción de la cantidad de grasa en el producto final.

La fritura de los alimentos puede definirse como el proceso de cocción de alimentos por inmersión en aceite o grasa a una temperatura superior al punto de ebullición del agua, normalmente entre 150 y 200°C (Kochhar y Gertz, 2004; Varela et al., 1998). Además de los cambios organolépticos que provoca la fritura, un efecto adicional es la preservación del alimento, como resultado de la destrucción de los microorganismos e inactivación de enzimas por efecto del calor y de la reducción de la actividad de agua, sea en la superficie o dentro del alimento, cuando éste se procesa en finas láminas (Fellows, 1998).

Durante el proceso de fritura tienen lugar multitud de cambios físicos, químicos y nutricionales en el alimento. Estos cambios dependen, entre otros factores, de la humedad y del tipo de alimento, de la calidad de aceite utilizado y de la temperatura del proceso, así como del tiempo de residencia del producto en el aceite caliente (Dobarganes et al., 2000; Moreira, 2001).

La fritura al vacío es una operación donde el alimento se procesa a presión subatmosférica en un sistema cerrado, lo que permite disminuir la temperatura de ebullición del agua y, por tanto, la temperatura de fritura. De esta forma, el agua contenida en el alimento se elimina rápidamente cuando el aceite alcanza la temperatura de ebullición del agua (Shyu et al., 2005). Otra ventaja de la

fritura al vacío es que conserva mejor el color y sabor naturales de los alimentos por la baja temperatura y el bajo contenido de oxígeno, lo cual permite también prolongar la vida útil del aceite (Liu-Ping et al., 2005).

Entre los alimentos comúnmente utilizados en los procesos de fritura a presión reducida se describen: manzana (Kitson et al., 1997; Shyu y Hwang, 2001), zanahoria (Liu-Ping et al., 2005a; Liu-ping et al., 2006; Shyu et al., 2005), patata (Garayo y Moreira, 2002; Sijbring, 1969), cebolla y calabaza (Kawamura, 1987). Además, se tiene constancia de estudios realizados con productos de la pesca en países asiáticos y productos comerciales como piña, coco, platano, papaya, mango, taro y okra en Tailandia (Fruit-Tech, -Tailandia).

La yuca es un cultivo muy importante en regiones tropicales del mundo (latitudes menores a los 30°), que van desde el nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m. Es el cuarto producto básico más importante después del arroz, trigo y maíz, y es un componente básico en la dieta de más de 1000 millones de personas. En África se planta aproximadamente un 60% del área mundial total pero solo se cosecha 50% de la producción mundial. Por su parte, Asia produce 30% de la yuca del mundo. En América Latina y el Caribe se planta 16% de la superficie dedicada a la yuca, con una producción que representa un poco menos que el 19% del total (FAO/FIDA, 2000).

Tanto las raíces como las hojas de la yuca son adecuadas para el consumo humano, las primeras son una fuente importante de hidratos de carbono y las segundas de proteínas, minerales y vitaminas. La presencia de glucósidos cianógenos, tanto en raíces como en hojas, es un factor determinante en el uso que se le dará a la producción de yuca. La cianogenesis es un mecanismo de defensa frente a la agresión de los animales, puesto que el ácido cianhídrico es un potente veneno que inhibe la citocromo oxidasa, enzima esencial en el último paso de la cadena respiratoria (Gilherme, 2004). Muchas variedades llamadas “dulces” tienen niveles muy bajos de estos glucósidos y pueden ser consumidas de manera segura, luego de los procesos normales de cocción. El tiempo de ebullición requerido depende de la variedad y este es uno de los factores para tener en cuenta en el proceso de la selección. Solo deben utilizarse variedades dulces, ya que las amargas conservan su sabor después de la cocción y además pueden ser peligrosas por su toxicidad. (Ospina y Ceballos, 2002).

La yuca también se consume frita. En años recientes se ha venido desarrollando una interesante industria de croquetas pre cocidas y congeladas, esta alternativa soluciona, por un lado, la rápida perecibilidad de las raíces y permite agregarle valor mediante el procesamiento (Ceballos, 2002).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento de la Yuca en procesos de fritura atmosférica y a vacío, determinando la influencia sobre las propiedades mecánicas, ópticas y la absorción de aceite. Adicionalmente se determinó la influencia de la aplicación del blanqueo como pre-tratamiento en los procesos de fritura.

## MATERIALES Y METODOS

### Proceso de fritura de chips de yuca

Los chips fritos se elaboraron con Yuca fresca variedad Valencia comprada a granel en un supermercado de la ciudad de Valencia y proveniente de Costa Rica. Se verificó que las unidades estuvieran enteras, sanas (libres de moho, podredumbre o deterioro), de consistencia dura y exentas de cualquier olor extraño.

Se retiró la corteza parafinada, se cortaron laminas de 1.5-1.8 mm de espesor con una cortafiambres (Siemens MS70001, Siemens - España) y se separaron las muestras en dos grupos dependiendo el pre-tratamiento a aplicar (Con Blanqueo o Sin Blanqueo).

A las muestras con pre-tratamiento, se les realizó un blanqueo en agua caliente 70 °C durante 10 minutos (Taiwo y Baik, 2007) en baño con equipo termostato (Precistern S-386, Selecta, Barcelona) y se eliminó el agua sobrante con papel.

Se identificaron las muestras para la caracterización, marcando tres rodajas para la cinética de humedad, 10 para medición de textura y señal acústica, 10 para medición de color y 50 gramos para determinación del contenido de grasa.

Se realizaron dos tratamientos de fritura, fritura atmosférica (FA) a 165°C y presión atmosférica y fritura a vacío (FV) entre 40 y 80 kPa de presión y 4 temperaturas, 100, 120, 130 y 140 °C.

La fritura atmosférica se llevó a cabo en una freidora convencional (Movilfrit F5, Movilfrit S.A., Barcelona) a la que se le acopló un controlador de temperatura, utilizando aceite de girasol, por medio de una fritura en profundidad a 165°C durante 1 a 10 minutos por cada muestra. Se frieron primero los 3 chips marcados para cinética de humedad, y luego en lotes separados las muestras para el resto de las caracterizaciones.

Pasado el tiempo correspondiente de fritura se sacaron de la freidora, se eliminó el exceso de aceite con papel secante y se dejaron al aire durante 2 a 3 minutos para atemperar y secar.

La fritura a vacío se realizó en la Gastrovac® (International Cooking Concepts, Barcelona), equipo con patente 1057342U (Martinez *et al.*, 2004) desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia.

El equipo tiene una capacidad de 10,5 litros, construido en acero inoxidable y con tapa de metacrilato, con control exacto de temperatura por medio de una sonda que conecta la base de la olla a un microprocesador, sistema de elevación de cestillo de fritura, temporizador, nivel de vacío del 90%, manómetro para control de presión y mando para rotura de vacío (ICC, Barcelona).

La fritura a vacío se realizó a 100, 120, 130 y 140°C durante 1 a 10 minutos, se calentó el aceite de girasol a la temperatura de fritura, se colocaron las muestras en el cestillo, se cerró la tapa, se activó la bomba de vacío, cuando el equipo llega al límite superior de presión de trabajo (80 kPa) se baja el cestillo y

se sumerge en el aceite caliente. Una vez cumplido el tiempo de fritura se levanta el cestillo, se apaga la bomba, se rompe el vacío, se centrifuga para eliminar el exceso de aceite, se sacan las muestras y se secan con papel.

## Caracterización de los chips de yuca fritos

### DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Se determinó el contenido de humedad de la materia prima fresca y de los chips fritos elaborados a cada uno de los tratamientos.

La yuca fresca se trituró en un procesador de vegetales (Clatronic, Alemania), se pesaron 6 muestras de 5 gramos aproximadamente ( $M_i$ ). La determinación del contenido en agua se realizó siguiendo las directrices de la AOAC (método 950.46, AOAC, 2000). Este método se basa en la desecación de las muestras en una estufa a vacío (Selecta, Barcelona) a 60°C hasta peso constante. Se determinó la cantidad de agua en la muestra fresca según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \left[ \frac{M_i - M_f}{M_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

Para la determinación del porcentaje de pérdida de peso en fritura se pesaron las rodajas de yuca fresca ( $M_0$ ) y las rodajas después de los tratamientos de fritura (FA-FV) ( $M_1$ ), la cantidad de peso perdido en el proceso de fritura se determinó con la ecuación 2:

$$\% \text{ PP} = \left[ \frac{M_0 - M_1}{M_0} \right] \times 100 \quad (2)$$

La cinética de humedad de los chips de yuca fritos se realizó determinando la humedad en 3 chips marcados siguiendo las directrices de la AOAC en una estufa de vacío (Selecta, Barcelona) a 60 °C hasta peso constante, se dejaron enfriar en desecador y se pesaron en balanza de precisión (Adventurer™ Pro, Ohaus- New York, USA). La Cantidad de agua en las muestras se determinó aplicando las ecuaciones 3 y 4

$$x_w = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \quad (3)$$

$$X_w = \frac{x_w}{(1 - x_w)} \quad (4)$$

Donde  $x_w$  y  $X_w$  son la humedad en base húmeda (kg agua/kg producto) y seca (kg agua/kg ss) respectivamente. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada tratamiento de fritura.

## DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE GRASA

El contenido de grasa de la materia prima fresca y de los chips fritos se determino en el sistema semiautomático de extracción de grasa con solventes Soxtec™ (2055; Foss- Dinamarca). La extracción se realiza en cuatro pasos: hervido, lavado, recuperación de disolvente y retirada de la muestra. Se utilizo el programa No 1 para materias primas vegetales el cual trabaja a 115°C y en 3 etapas de tiempo de 30, 45 y 15 minutos respectivamente. Se pesaron 3 muestras ( $M_3$ ) de 5 gramos aproximados por cada tratamiento de fritura.

El cálculo de la cantidad de grasa se realizo pesando el cartucho metálico limpio y seco antes de la extracción ( $M_4$ ) en balanza analítica (Kern- EG 220; Kern and Sohn GmbH – Balingen, Alemania) y después de la extracción ( $M_5$ ) y se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Grasa} = \left[ \frac{M_5 - M_4}{M_3} \right] \times 100 \quad (5)$$

$$x_g = \frac{M_5 - M_4}{M_3} \quad (6)$$

$$X_g = \frac{x_g}{(1 - x_g)} \quad (7)$$

## MEDICIÓN DE TEXTURA Y SONIDO

La medición de textura se realizo en el laboratorio de Susana Fiszman Dal Santo en el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), debido a que en el análisis de textura se quería determinar el carácter crujiente de los chips por medición simultanea de fractura y señal acústica. Se tomaron muestras de chips fritos a punto final de fritura (5 minutos) para cada uno de los tratamientos aplicados y se realizaron 10 mediciones para cada tipo.

En la medición de textura de los chips fritos se utilizo un textuometro TA-XT2. Plus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido), con el programa de análisis de datos Texture Expert versión 4,0,13,0 (2009) y una sonda esférica P/0,5S de ½ pulgada de diámetro (Stable Micro System). Las muestras se colocaron sobre una plataforma HDP/CFS (“Crisps Fracture Support Rig”) los parámetros de la prueba fueron: velocidad de prueba 1mm/s, fuerza de activación 5g, distancia de sonda 3 mm.

Para la evolución del carácter crujiente desde el punto de vista acústico se utilizo un Detector de Sonido Envolvente (AED) (Chen *et al.*,2005; Varela *et al.*, 2006), con un micrófono Bruel y Kjaer (8-mm diametro) incorporado. El micrófono se puso a 4 cm de distancia y en un ángulo de 45° respecto al centro

de la muestra. La acústica ambiental y el ruido fueron filtrados usando un filtro de paso alto de 1 kHz. La velocidad de adquisición de datos fue 500 puntos por segundo tanto para la fuerza como para las señales acústicas. Se hicieron 10 repeticiones por cada tipo de tratamiento.

Este sistema Texturometro - Micrófono, permite relacionar de una forma directa las medidas instrumentales de textura con las acústicas resultantes de las numerosas fracturas que se producen al cortar la muestra.

Para cada medición se determino el área bajo la curva, la fuerza máxima, los picos positivos de fuerza, la distancia lineal y en la medición acústica se tomaron los resultados de picos positivos y señal máxima.

## MEDICIÓN DE COLOR

En la medición de color se utilizo un Espectrofotometro Konica Minolta (CM-3600-d, Minolta, Osaka- Japón) y el programa de análisis de datos Color Data Software SpectraMagic™ NX (Minolta). Las medidas se realizaron utilizando un diafragma SAV (0,4-0,7 mm) y teniendo en cuenta que las muestras son translucidas se realizaron las mediciones con placa blanca y negra de fondo.

Los resultados se expresaron en el sistema CIELAB (CIE, 1986) referidos al iluminante D65 y un ángulo de visión de 10°.

Tomando en cuenta la translucidez de las muestras se hicieron 10 mediciones por cada tratamiento de fritura con fondo blanco, 10 mediciones con fondo negro y además la medición del porcentaje de reflectancia de la placa blanca utilizada. Para evaluar el grado de translucidez se aplico la teoría de Kubelka-Munk de dispersión múltiple (Judd y Wyszecki, 1975; Hutchings, 1999) a los espectros de reflexión obtenidos.

Esta teoría se basa en que la luz que incide en un producto translúcido puede ser absorbida o dispersada en función del coeficiente de absorción (K) y el coeficiente de dispersión (S) del material. Si las medidas de los espectros de reflexión se realizan sobre un fondo blanco (soporte inerte) y sobre un fondo negro, puede determinarse la relación K/S.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (8)$$

$$R_{\infty} = a - b \quad (9)$$

$$a = \frac{1}{2} \left( R + \frac{R_o - R + R_g}{R_o * R_g} \right) \quad (10)$$

$$b = (a^2 - 1)^{1/2} \quad (11)$$

Donde:  $R_{\infty}$ = reflectancia de una lamina infinita de muestra (grosor suficiente para que no afecte el fondo a la medida); R= reflectancia de la muestra



determinada sobre un fondo blanco;  $R_0$ = reflectancia de un fondo blanco;  $R_0$ = reflectancia de la muestra determinada sobre un fondo negro ideal.

Se obtuvieron las nuevas coordenadas a partir de los valores de las coordenadas triestímulo X, Y, Z,  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  corresponden a las coordenadas triestímulo de la fuente de luz estándar.

$$L^* = 116 * (Y / Y_n)^{1/3} - 16 \quad (12)$$

$$a^* = 500 * \left[ (X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3} \right] \quad (13)$$

$$b^* = 200 * \left[ (Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3} \right] \quad (14)$$

$$X = \sum [S_{(\lambda)} * R_{(\lambda)} * \bar{x}_{(\lambda)}] \quad (15)$$

$$Y = \sum [S_{(\lambda)} * R_{(\lambda)} * \bar{y}_{(\lambda)}] \quad (16)$$

$$Z = \sum [S_{(\lambda)} * R_{(\lambda)} * \bar{z}_{(\lambda)}] \quad (17)$$

$S_{(\lambda)}$ = distribución espectral relativa del iluminante a cada longitud de onda;  $R_{(\lambda)}$ = reflectancia de una muestra de espesor infinito a cada longitud de onda;  $x_{(\lambda)}, y_{(\lambda)}, z_{(\lambda)}$ , = valores triestímulo espectrales del observador estándar 10° a cada longitud de onda.

Realizado el análisis de traslucidez con cada una de las muestras se calculan las nuevas coordenadas de color en el espacio CIELAB  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (CIE, 1986), cuyos valores oscilan entre  $L^*= 0$  (negro) y  $L^*= 100$  (blanco),  $-a^*=$  verde y  $+a^*=$  rojo,  $-b^*=$  azul y  $+b^*=$  amarillo y también los parámetros  $C^*$  (croma) y  $h^*$ (tono).

## ANALISIS ESTADISTICO

El efecto de la temperatura, la presión y la aplicación de blanqueo en la pérdida de humedad, la humedad residual de los chips, la absorción de aceite, la textura, y el color fueron evaluados mediante un diseño experimental con dos niveles para presión, 6 para temperatura y dos para blanqueo. Se realizó un análisis de la varianza utilizando el test de Fischer para un nivel de significancia  $p < 0,05$ , utilizando el programa estadístico Statsgraphics 5,1 (Statpoint Technologies, Virginia, USA).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Caracterización de Materia Prima

Previo a la realización de la fritura se procedió a la caracterización de la materia prima a utilizar. Para ello se determinó la humedad y el contenido de grasa de la yuca fresca de acuerdo a la metodología expuesta en el apartado anterior. La tabla 1 muestra los resultados obtenidos.

**TABLA 1.** Contenido de humedad y grasa de la yuca Fresca

	Contenido de humedad		Contenido de Grasa	
	% Humedad	Xw(bs)	% Grasa	Xg (bs)
Promedio	63,881	1,76	0,249	0,0048
Desviación Estándar	(±1,098)	(±0,0836)	(±0,140)	(±0,0004)

Los valores obtenidos son coherentes con los expuestos en otros estudios (Montaldo, 1985) para valores de referencia en composición química de yuca fresca de variedades dulces. Por lo tanto la experimentación se realizó con una materia prima de humedad aproximada a 64 kg agua/100 kg producto y un contenido de grasa de 0,249 kg grasa/100 gramos de producto.

### Cinética de pérdida de peso en fritura

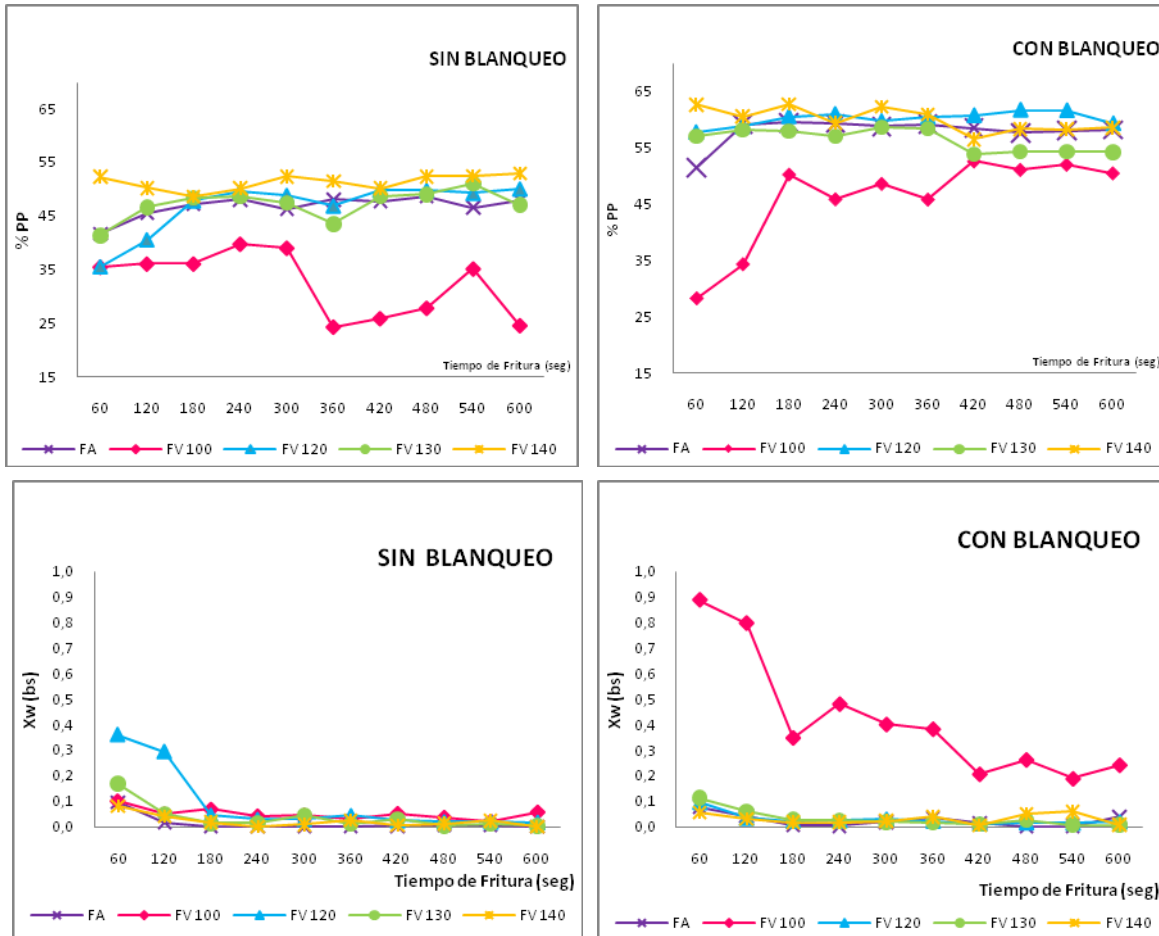
Para el cálculo de la cinética de pérdida de peso de los chips de yuca se determinó la humedad en la materia prima y en el chip después del tratamiento de fritura, de acuerdo a lo expuesto en el apartado de metodología, obteniéndose la evolución de la humedad de los chips durante el tiempo de fritura. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos. En la figura 1 se observa el comportamiento y la influencia de la aplicación del blanqueo en la pérdida de peso durante el proceso de fritura en cada uno de los tratamientos.

El porcentaje de pérdida de peso no fue afectado significativamente por la presión ( $p > 0,05$ ).

**TABLA 2.** Medias marginales estimadas para porcentaje de pérdida de peso (%PP), cantidad de agua (Xw -bs) y contenido de grasa (Xg -bs) para chips de yuca fritos a diferentes temperaturas y tratamientos durante 300 segundos.

TRATAMIENTO	TEMPERATURA (°C)	PRE-TRATAMIENTO	% PP (g agua/100 g producto)	Xw (bs) (g agua/g materia seca)	Xg (bs) (g grasa/g materia seca)
FRITURA ATMOSFERICA <sup>a,A, 1</sup>	165	SB*	46,454(±1,865) <sup>a</sup>	0,002(±0,000) <sup>a</sup>	0,042(±0,030) <sup>a</sup>
		CB**	58,931(±1,62) <sup>b</sup>	0,021(±0,03) <sup>a</sup>	0,118(±0,02) <sup>b</sup>
FRITURA A VACIO <sup>a, B, 2</sup>	100	SB	39,150(±2,097) <sup>a</sup>	0,047(±0,004) <sup>a</sup>	0,042(±0,001) <sup>a</sup>
		CB	48,806(±1,258) <sup>1</sup>	0,403(±0,066) <sup>1</sup>	0,030(±0,002) <sup>1</sup>
	120	SB	48,945(±0,832) <sup>b</sup>	0,032(±0,004) <sup>b</sup>	0,032(±0,003) <sup>b</sup>
		CB	59,883(±0,047) <sup>2</sup>	0,033(±0,006) <sup>2</sup>	0,035(±0,002) <sup>2</sup>
	130	SB	47,598(±5,642) <sup>b</sup>	0,048(±0,073) <sup>a</sup>	0,029(±0,001) <sup>c</sup>
		CB	58,852(±2,221) <sup>3</sup>	0,021(±0,003) <sup>2</sup>	0,055(±0,005) <sup>3</sup>
	140	SB	52,469(±0,925) <sup>c</sup>	0,011(±0,006) <sup>a</sup>	0,040(±0,001) <sup>d</sup>
		CB	62,456(±1,970) <sup>2</sup>	0,025(±0,014) <sup>2</sup>	0,026(±0,002) <sup>2</sup>

\* SB= sin blanqueo, \*\* CB=con blanqueo; letras y números diferentes en la misma columna denota diferencias estadísticamente significativas.



**FIGURA 1.** Cinéticas de pérdida de peso en fritura y de cantidad de agua en base seca de los chips fritos según los distintos tratamientos y pre-tratamientos.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la fritura atmosférica realizada a 165°C entre las muestras con y sin blanqueo. Confirmando que el blanqueo como pre-tratamiento tiene influencia en las propiedades físicas de densidad y porosidad las cuales condicionan las propiedades difusionales de las células de los alimentos durante la fritura (Taiwo y Baik, 2007).

La aplicación del blanqueo causa un aparente incremento del porcentaje de pérdida de peso durante la fritura, este efecto se puede observar pronunciadamente en las muestras tratadas en fritura a vacío a 100°C.

Complementario a la pérdida de peso está la presencia del fenómeno de encogimiento o contracción el cual es el descenso del volumen del alimento durante el procesamiento. Cuando se elimina la humedad de un alimento durante el secado por ejemplo, existe un desequilibrio de presión entre el interior y el exterior del alimento, lo que genera un esfuerzo de contracción

produciendo un encogimiento o colapso del material (Mayor y Sereno, 2004). Este fenómeno es importante debido a que afecta el coeficiente de difusión del material y por consiguiente tiene efecto sobre la velocidad de secado (Sahin y Gülüm, 2006) y la transferencia de materia.

Para las muestras tratadas a vacío, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los tratamientos con y sin aplicación de blanqueo.

### **Contenido de humedad final en chip**

Cuando el alimento ingresa en el aceite caliente, el calor de éste es transferido al alimento, el cual rápidamente se calienta y cuando el agua alcanza su punto de ebullición empieza a evaporarse y pasa al aceite. Por este motivo la fritura puede considerarse como un proceso de deshidratación (Stier, 2004) y el comportamiento de la cinética de transferencia de agua es similar al producido en cualquier proceso de deshidratación, como puede ser el llevado a cabo utilizando aire caliente (Baumann y Escher, 1995).

El contenido de humedad final en los chips está determinado por los parámetros de temperatura del aceite, tiempo y presión de fritura. En la tabla 2 se muestran los resultados para la cantidad final de agua en base seca contenida en los chips y las diferencias estadísticamente significativas obtenidas entre los diferentes grupos de tratamiento.

En la figura 1 se muestra el comportamiento del contenido de agua a través del tiempo de fritura para cada uno de los tratamientos. El cual sigue en la mayoría de los casos un perfil típico de deshidratación, los tres periodos identificados por Farkas et al. (1996) que ocurren durante la fritura se pueden observar en periodos muy cortos de tiempo y para algunos tratamientos a vacío un comportamiento casi constante ( $FV-100^{\circ}C$ ). Las curvas de humedad atípicas podrían quedar explicadas debido a que la composición del tejido de yuca y la interacción entre los componentes lo configuran como un sistema multifásico y multicomponente que experimentará cambios en la composición si se encuentra inmerso en un medio con potencial químico diferente (Gilherme, 2004).

El estudio de Gilherme identificó que una variación entre los valores de densidad real y aparente causa un valor bajo de porosidad ( $\epsilon=0,1 \pm 0,6$ ) y que el valor de  $a_w$  de  $0,94 (\pm 0,05)$  causa una alta inestabilidad del producto.

La aplicación de blanqueo influye disminuyendo la cantidad final de agua contenida en los chips. Siendo el tratamiento de fritura atmosférica a  $165^{\circ}C$  el que presenta menor contenido para los dos niveles de blanqueo y la fritura a vacío a  $100^{\circ}C$  el de mayor.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en fritura atmosférica para cada uno de los pre-tratamientos y en fritura a vacío la mitad de las muestras tratadas presentaron diferencias.

Los principales parámetros que influyen en la pérdida de agua son la temperatura y el tiempo de fritura (Dobarganes et al., 2000; Moreira, 2001).

Otros parámetros a considerar son la forma del alimento y la relación entre el tamaño del producto y la superficie expuesta al medio circundante. Así, Baumann y Escher (1995) exponen que al incrementar la temperatura la velocidad de deshidratación aumenta, reduciéndose el tiempo de fritura.

La influencia de la temperatura en el contenido de humedad de los chips se ve reflejado en que para los dos niveles de blanqueo las muestras con menor contenido de agua son las tratadas a 165°C a presión atmosférica. Y al disminuir la temperatura del aceite se requiere de más tiempo para alcanzar el mismo valor de humedad final en los chips.

La humedad final está relacionada con el carácter crujiente del alimento frito y con la cantidad de aceite que puede ser absorbido en el proceso, esto se evidenciará en los resultados de la cinética de absorción de aceite y en la caracterización de la textura de los chips fritos.

### **Absorción de aceite**

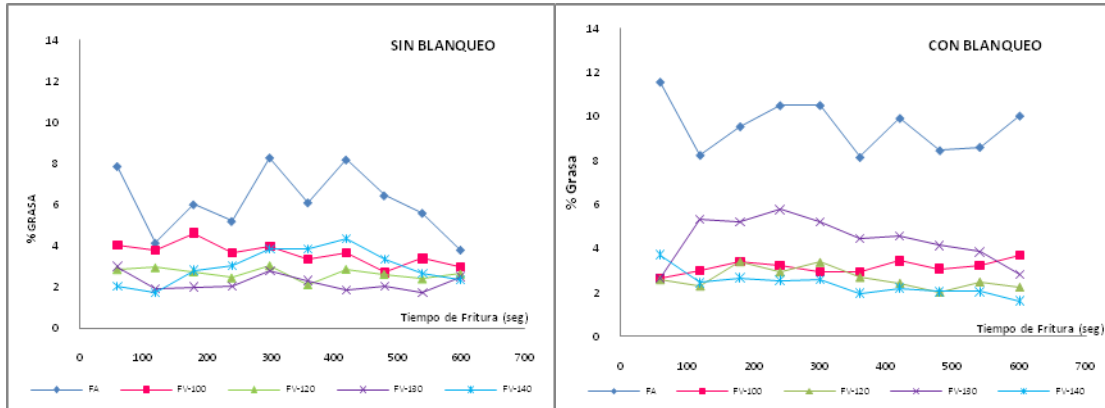
La cinética de absorción de aceite por parte del producto es un proceso complejo que está influenciado por la temperatura del aceite, el tiempo de fritura, la presión, las propiedades de permeabilidad de la costra formada en la superficie del alimento y los mecanismos de transferencia de materia.

Moreira y Garayo (2002) sugieren en su estudio de fritura a vacío de chips de patata que el contenido final de aceite no es función de la temperatura pero sí depende del tiempo de fritura, además exponen que la velocidad de absorción del aceite es mayor cuando se incrementa el nivel de vacío en fritura a vacío, debido a que la presión afecta la velocidad de pérdida de humedad por la disminución de la temperatura de saturación del agua.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos para la cantidad de aceite absorbido por los chips de yuca ( $X_g$  bs) y las diferencias estadísticamente significativas que se encontraron entre los tratamientos. Se evidencia una influencia del blanqueo en el contenido de grasa ( $p < 0,05$ ) para FA y FV que causa un aparente aumento de la cantidad absorbida. Krokida *et al.*, 2001 expone que el blanqueo como pre tratamiento en fritura a vacío de patata tiene influencia en la reducción de la absorción de aceite debido a la gelatinización del almidón en la superficie del chip formando una barrera al escape del vapor saturado (Kawas y Moreira, 2001) que para el caso del estudio actual el efecto que tendría el blanqueo sobre la reducción se vería contrarrestado por los fenómenos de transporte de materia posteriores a la fritura que incrementan la cantidad final absorbida.

En la figura 2 se puede observar el comportamiento de la cinética de absorción de grasa a través de los tratamientos de fritura, gráficamente se identifica que los mayores valores se obtienen en los tratamientos de FA para los dos niveles de blanqueo. Esta absorción se ve influenciada por el contenido final de agua en el chip, ya que los tratados a 165°C en FA son los que tienen

menor humedad final. Moreira y Garayo (2002) determinan que la cantidad de agua libre parece estar relacionada con la absorción de aceite siendo esta mayor en cuanto menor sea el agua libre ya que habría más espacios disponibles para ser ocupados por el aceite.



**FIGURA 2.** Cinética de absorción de grasa (g grasa/100 g producto) a través de los tratamientos y temperaturas de fritura.

Los fenómenos de transferencia de materia en fritura atmosférica ocurren en dos periodos (Moreira y Garayo, 2002), el primer periodo llamado de fritura esta caracterizado por el calentamiento desde la temperatura atmosférica hasta el punto de ebullición del agua (100°C), el cual ocurre muy rápido, al alcanzar la temperatura de ebullición el agua se evapora y los poros se encuentran llenos de vapor de agua y aire. En este momento la presión de capilaridad es insignificante (Moreira, *et al.*, 1999) por lo tanto no hay fuerza motora para que el aceite penetre por los poros del chip.

En el segundo periodo conocido como enfriamiento, el aceite superficial que esta adherido a la superficie penetra por los poros, al enfriar el chip la presión dentro de los poros cambia como consecuencia del aumento de la presión capilar (Moreira y Barrufet, 1995), este diferencial de presión entre la superficie y el poro crea la fuerza motora para que el aceite y el aire penetren por los poros.

En fritura a vacío se obtiene una reducción del contenido final de grasa en todos los tratamientos aplicados, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los tratamientos a vacío. La menor cantidad de aceite absorbido en FV se debe a que los mecanismos de transferencia de materia diferencian tres periodos para la absorción (Moreira y Garayo, 2002); en el primero conocido como fritura, la temperatura de ebullición disminuye por la presión de vacío, el agua se evapora más rápido y la presión de capilaridad es insignificante, por lo tanto el aceite no es absorbido en este paso. El segundo periodo llamado presurización es muy importante, los chips son removidos del aceite pero mantenidos en la mismas condiciones de presión y temperatura a las que se frieron, al eliminar el vacío la presión en los poros aumenta rápidamente hasta la  $P_{atm}$ , logrando que el aire y el aceite que se encuentran en

la superficie del chip se muevan hacia los poros libres, pero debido a la disminución de la presión el aire difunde más rápido obstruyendo el paso del aceite y logrando que el contenido final sea menor que en FA.

Como se describió en la metodología la secuencia de estos pasos una vez cumplido el tiempo de fritura influye en la absorción de aceite. Si no se retiraran las muestras del aceite caliente al apagar la bomba y romper el vacío el diferencial de presión lograría que el aceite alrededor de los chips se mueva hacia el interior del producto ocupando todos los espacios libres dejados por el agua evaporada. Por lo tanto se debe tener en cuenta que la presurización se debe realizar cuando los chips se encuentren por fuera del aceite.

En el tercer periodo llamado enfriamiento, parte del aceite superficial continúa penetrando por los poros, por lo tanto a menor cantidad de aceite superficial menor absorción durante el enfriamiento.

## Color

El color es considerado como el índice más representativo de calidad de un chip. Este es afectado por la composición química de la materia fresca y determina la aptitud para el procesamiento (Lisińska y Leszczyński, 1989). El color dorado es característico y un atributo muy significativo de la calidad de un producto frito y determinante en la aceptación del mismo por parte de los consumidores (Krokida et al., 2001; Sahin, 2000).

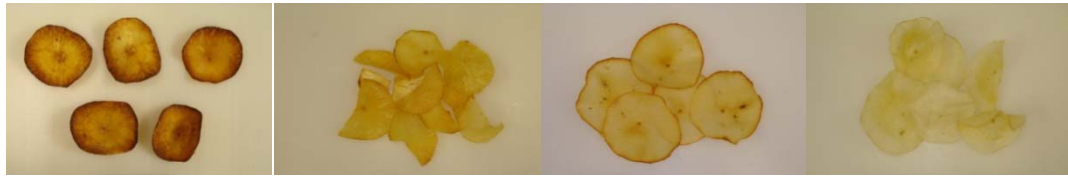
La determinación de los atributos de color L\*(luminosidad), a\* (cromaticidad verde-rojo) y b\* (cromaticidad azul- amarillo) en las muestras fritas a diferentes presiones y temperaturas permitió identificar que si hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos FA y FV y en la aplicación del pre-tratamiento de blanqueo.

Las muestras comerciales utilizadas como patrón de referencia son estadísticamente diferentes a las tratadas en FA y FV, presentan valores más altos de L\* que confirman la mayor claridad de los chips comerciales frente a los elaborados en el estudio. Los valores de a\* y b\* son también estadísticamente diferentes.

**Tabla 3.** Medias marginales estimadas para los parámetros L\*, a\* para chips de yuca freídos a diferentes temperaturas y tratamientos durante 300 segundos.

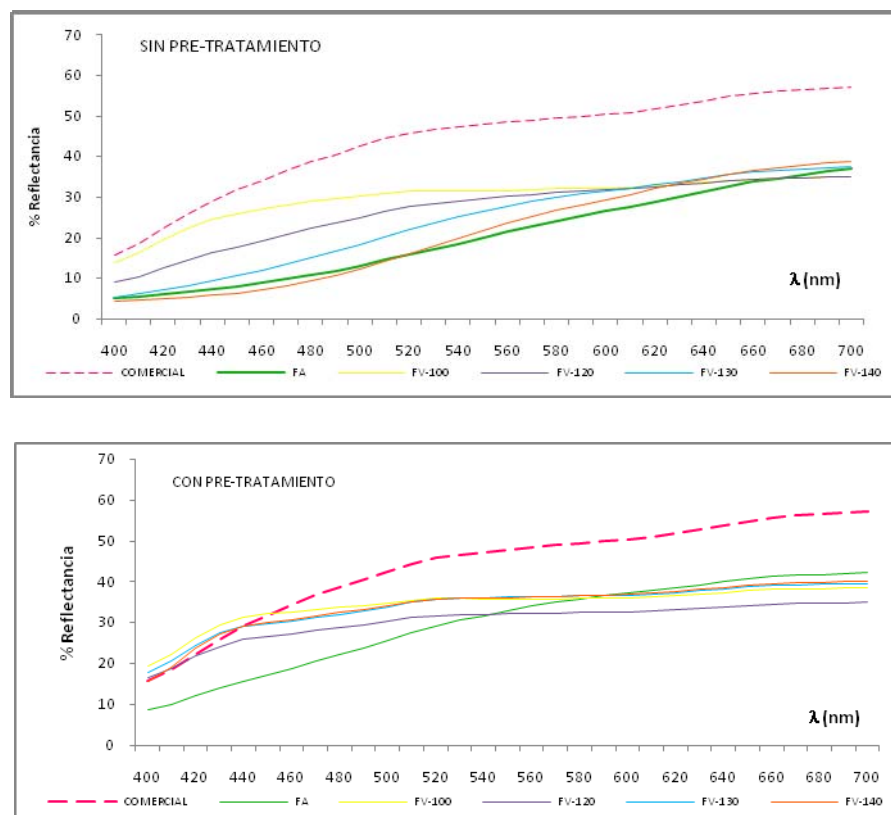
TRATAMIENTO	TEMPERATURA	PRE-TRATAMIENTO	L*	a*	b*
FRITURA ATMOSFERICA a.A.1	180	SB	67,778 (±2,495) <sup>a</sup>	-1,227 (±0,253) <sup>a</sup>	17,326 (±1,861) <sup>a</sup>
	165	SB	51,256 (±8,013) <sup>b.1</sup>	7,622 (±5,549) <sup>b.1</sup>	27,926 (±2,256) <sup>b.1</sup>
		CB	57,649 (±6,701) <sup>i</sup>	2,070 (±3,171) <sup>ii</sup>	23,318 (±5,570) <sup>ii</sup>
FRITURA A VACIO b.B.2	100	SB	55,540 (±4,796) <sup>A</sup>	-1,914 (±0,266) <sup>A</sup>	8,933 (±1,274) <sup>A</sup>
		CB	57,055 (±4,091) <sup>1.3</sup>	-1,479 (±0,207) <sup>i</sup>	6,625 (±1,352) <sup>i</sup>
	120	SB	52,589 (±2,096) <sup>B</sup>	-0,924 (±0,858) <sup>B</sup>	17,137 (±3,003) <sup>B</sup>
		CB	56,719 (±2,053) <sup>1.2</sup>	-1,386 (±0,166) <sup>i</sup>	7,975 (±1,769) <sup>1.2</sup>
	130	SB	50,085 (±2,291) <sup>B.C</sup>	2,956 (±1,142) <sup>C</sup>	25,420 (±1,700) <sup>C</sup>
		CB	59,618 (±2,302) <sup>4</sup>	-1,425 (±0,092) <sup>i</sup>	9,345 (±1,337) <sup>2.3</sup>
	140	SB	47,354 (±1,993) <sup>C</sup>	8,683 (±1,292) <sup>P</sup>	30,932 (±1,457) <sup>P</sup>
		CB	57,277 (±3,219) <sup>2.3.4</sup>	-1,443 (±0,205) <sup>i</sup>	9,766 (±2,145) <sup>3</sup>

\* SB= sin blanqueo, \*\* CB=con blanqueo; letras y números diferentes en la misma columna denota diferencias estadísticamente significativas.



**FIGURA 3.** Chip fritos en FA 165°C sin blanqueo (a), con blanqueo (b) y FV 130 °C sin blanqueo (c) y con blanqueo (d).

Las curvas espectrofotométricas (Figura 6) muestran un comportamiento del porcentaje de reflectancia normal para el color amarillo



**FIGURA 4.** Distribución espectral para el porcentaje de reflectancia de los chips de yuca fritos.

Hay una influencia del blanqueo en los atributos de color, encontrándose que las muestras tratadas en FA a 165°C sin blanqueo son diferentes ( $P < 0,05$ ) a las que se les aplico el pre-tratamiento. El blanqueo es uno de los métodos más utilizados para evitar el pardeamiento, tanto en fritura al vacío (Liu-Ping et al., 2005b; Shyu et al., 2005; Shyu y Hwang, 2001) como convencional, con el fin de lixiviar azúcares solubles (Krokida et al., 2001). La aplicación de una



temperatura alta, superior al punto de gelatinización del almidón 61,8 °C (Sanchez *et al.*, 2008) permite que este pierda su cristalinidad y se hinchen los granulos por el rompimiento de los puentes de hidrogeno y que tenga un efecto en el mejoramiento del color debido a la disminución de los azucares reductores que participan en la reacción de de Maillard. El color se ve afectado por las condiciones de proceso, principalmente tiempo, temperatura, pre-tratamientos y tipo de aceite, así como por las características del producto, como son el tamaño, la variedad, o las condiciones de almacenamiento previas (Fellows, 1998; Krokida *et al.*, 2001; Sahin, 2000).

Las diferencias encontradas entre los tratamientos de fritura y la influencia del blanqueo según los valores obtenidos por determinación espectrofotométrica (tabla 3), se pueden confirmar por medio de observación visual (Figura 3) notando que los chips tratados en FA son más oscuros y con coloración más amarillenta. El blanqueo causa un incremento de la luminosidad ( $L^*$ ) mejorando el color del chip volviéndolo más claro lo cual es deseable comercialmente.

### **Textura y Carácter crujiente por señal acústica**

La textura de chips está relacionada con el contenido de materia seca del material fresco como lo exponen Lisińska y Leszczyński (1989) para patata, obteniendose chips que exhiben texturas duras en patatas con alta cantidad de materia seca (alrededor 25%) mientras que aquellos con baja contienen mas aceite y estan caracterizados por tener texturas grasosas y adhesivas.

La textura de los chips es altamente afectada por los parámetros tecnológicos como espesor de las laminas, tipo y técnica de blanqueo, temperatura y presión de fritura.

Para comparar objetivamente el comportamiento de los diferentes chips se extrajeron parámetros específicos de las curvas de fuerza y sonido encontrándose diferencias significativas para el área bajo la curva de fuerza entre las muestras tratadas en FA y la muestra comercial utilizada como patrón, y en FV se logran identificar estas diferencias entre el tratamiento a 100°C y el resto de muestras.

No hay diferencias ( $P>0,05$ ) entre las muestras tratadas con y sin blanqueo para FA, pero en FV si se encuentran diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos como se puede ver en la tabla 4.

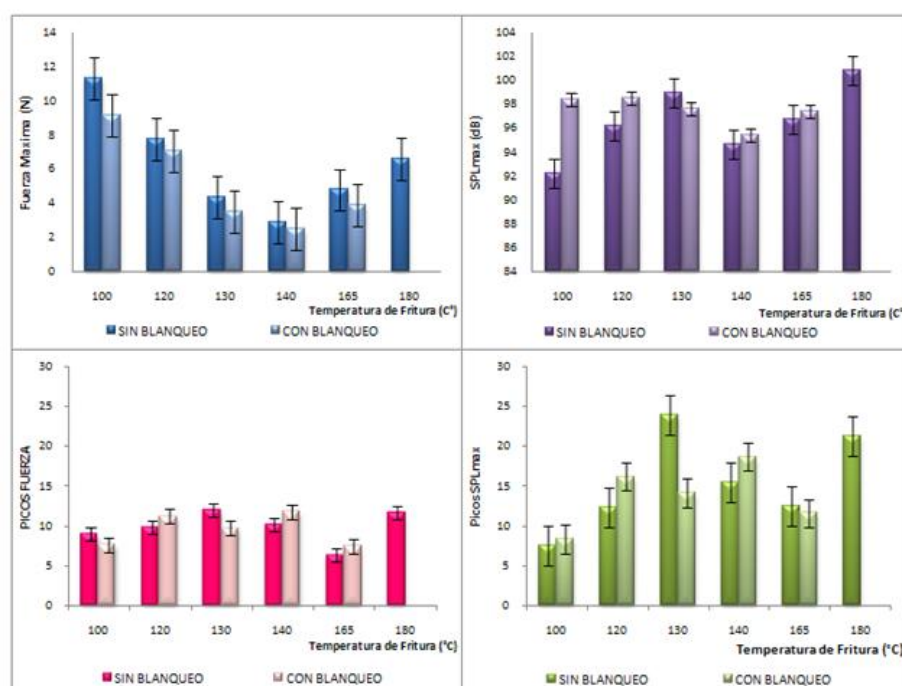
En la determinación de la fuerza máxima, la cual se encuentra relacionada con la dureza del chip, se encontraron diferencias significativas entre las muestras tratadas a FA y la muestra comercial, entre las muestras con y sin blanqueo tratadas a FA y en la mayoría de los tratamientos en FV.

El parámetro de señal acústica máxima ( $SPL_{max10}$ ) permitió relacionar el máximo nivel de presión de sonido con la fuerza, encontrándose diferencias solamente entre los tratamientos a FA con la muestra comercial y en FV entre 100 y 130°C, por lo tanto se identifica que no hay influencia significativa entre FA y FV y en la aplicación o no del pre-tratamiento.

**TABLA 4.** Medias marginales estimadas para área, fuerza máxima y señal acústica máxima para chips de yuca freídos a diferentes temperaturas y tratamientos durante 300 segundos.

TRATAMIENTO	TEMPERATURA (°C)	PRE-TRATAMIENTO	Area (N.seg)	Fuerza Máxima (N)	Señal Acústica Máxima (SPL) (dB)
FRITURA ATMOSFERICA a.A.1	180	SB*	6,750 (±2,127)*	6,627 (±2,341)*	100,818 (±2,673)*
	165	SB	3,082 (±1,359) <sup>b,l</sup>	4,799 (±0,796) <sup>b,l</sup>	96,763 (±2,966) <sup>b,l</sup>
		CB**	3,615 (±1,729) <sup>l</sup>	3,867 (±1,106) <sup>ll</sup>	97,448 (±2,047) <sup>l</sup>
FRITURA A VACIO a.B.1	100	SB	16,942 (±8,561) <sup>A</sup>	11,305 (±3,045) <sup>A</sup>	92,248 (±4,196) <sup>A</sup>
		CB	10,427 (±6,145) <sup>1</sup>	9,132 (±4,574) <sup>1</sup>	98,438 (±8,705) <sup>1</sup>
	120	SB	4,364 (±2,315) <sup>B</sup>	7,783 (±4,000) <sup>B</sup>	96,176 (±5,870) <sup>A,B</sup>
		CB	6,719 (±3,631) <sup>2</sup>	7,048 (±2,538) <sup>1</sup>	98,499 (±3,039) <sup>1</sup>
	130	SB	3,829 (±1,361) <sup>B</sup>	4,382 (±1,165) <sup>C</sup>	98,948 (±3,770) <sup>B</sup>
		CB	5,057 (±0,747) <sup>2</sup>	3,535 (±0,892) <sup>2</sup>	97,629 (±4,100) <sup>1</sup>
	140	SB	2,304 (±1,184) <sup>B</sup>	2,879 (±1,087) <sup>C</sup>	94,668 (±6,289) <sup>A,B</sup>
		CB	3,851 (±1,206) <sup>2</sup>	2,531 (±0,719) <sup>2</sup>	95,386 (±2,862) <sup>1</sup>

\* SB= sin blanqueo, \*\* CB=con blanqueo; letras y números diferentes en la misma columna denota diferencias estadísticamente significativas.

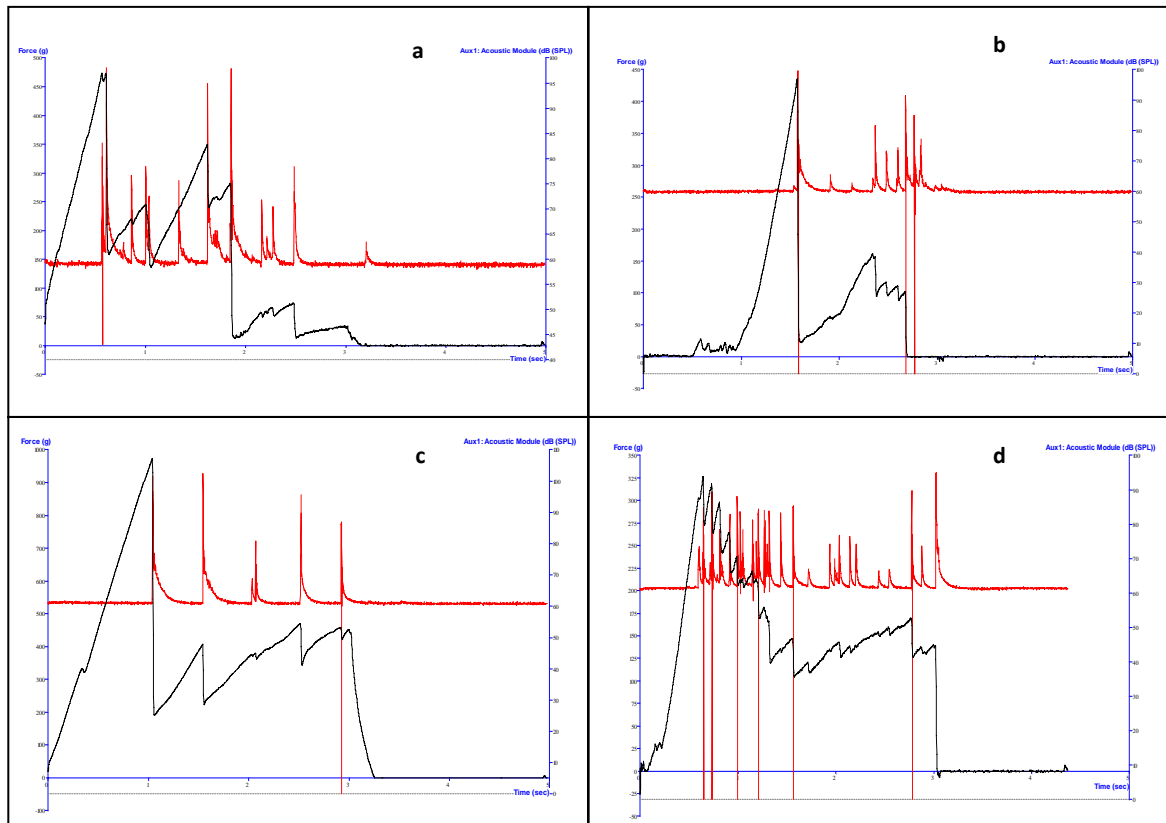


**FIGURA 5.** Medias marginales estimadas para fuerza máxima (N), Señal acústica máxima (SPL<sub>max</sub>-dB), Picos de Fuerza positivos y Picos de Sonido positivos.

Los alimentos típicamente crujientes se relacionan con diferentes eventos de fractura (Chen *et al.*, 2005; Varela *et al.*, 2006; Viencent, 1998), lo cual se puede observar en la figura 5, donde las graficas a) y b) muestran los picos de fuerza y sonido obtenidos para cada uno de los tratamientos. El mayor número de picos se encontró en las muestras tratadas atmosféricamente, lo que relaciona una

mayor temperatura de fritura con el menor contenido de humedad final en el chip y con un mayor número de eventos de fuerza y sonido reflejados en una textura más crujiente.

La figura 6 muestra las curvas típicas de fuerza y señal acústica simultáneamente, donde se pueden ver claramente los diferentes eventos de fuerza y sonido que determinan el carácter crujiente de los chips de yuca durante el test de fractura.



**FIGURA 6.** Medida de Fuerza (N) y nivel de presión de sonido (SPL – dB) para fritura atmosférica 165°C/5 minutos (a), Muestra comercial (b) y fritura a vacío 100 °C/5 minutos con blanqueo (c) y 130°C/5 minutos con blanqueo (d).

## CONCLUSIONES

El propósito de utilizar la fritura a vacío para elaborar chips de yuca con menor contenido de aceite se cumple, siendo los chips fritos a condiciones atmosféricas los que presentan mayor contenido de grasa final. El color se ve significativamente afectado por los tratamientos y el blanqueo, obteniéndose mayor luminosidad y un color más claro y atractivo con blanqueo y fritura a vacío. El carácter crujiente está relacionado con el número de eventos de fractura y acústicos que muestran un índice mayor para las temperaturas más altas a condiciones atmosféricas y de vacío. La fritura a vacío de chips de yuca con blanqueo previo resultó ser un tratamiento alternativo a la fritura a presión

atmosférica ya que mejora el color de las muestras, reduce la ganancia de aceite de las mismas y mantiene su carácter crujiente, siendo el tratamiento a 130 °C a vacío y con blanqueo el que mejores resultados aportó.

## REFERENCIAS

- Chen, J., Karlsson, C. y Povey, M. (2005) Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. *Journal of Textura Studies*, 36. 139-156.
- Dobarganes, C., Márquez-Ruiz, G. y Velasco, J. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102, 521-528.
- Fellows, P. J. (1998). Frying. In: P. J. Fellows, *Food processing technology. Principles and practice* (pp. 355-362). New York: Woodhead.
- Garayo, J. y Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181-191.
- Gilhermne, B.B. (2004). Evaluaciones del comportamiento del tejido de yuca durante diferentes procesos de deshidratación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Kawamura, T. (1987). Method of manufacturing dried food and plant products. *Patent*. EU.
- Kitson, J. A., Lackey, C. L. y Wright, H. T. (1997). New fruit flavor snack. *Food Engineering*, 44(11), 50-51.
- Kochhar, S. P. y Gertz, C. (2004). New theoretical and practical aspects of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 722-727.
- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. y Marinos-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48, 219-225.
- Lisińska, G. y Leszczyński, W. (1989). *Potato Science and Technology*. Elsevier Applied Science Publishers. England, New York.
- Liu-Ping, F., Min-Zhang y Mujumdar, A. S. (2005). Vacuum Frying of Carrot Chips. *Drying Technology*, 23, 645-656.
- Liu-Ping, F., Zhang, M. y Mujumdar, A. S. (2006). Effect of various Pre-treatments on the Quality of Vacuum-fried Carrot chips. *Drying Technology*, 24, 1481-1486.
- Montaldo, A. (1985). La yuca o Mandioca. (pp. 10-23 y 260-299). Costa Rica: IICA
- Moreira, R. G. (2001). Deep-Fat Frying of Foods. In: J. Irudayaraj, *Food Processing Operations Modeling* (pp. 115-146). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Ospina, B. y Ceballos, H. (2002). La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. (pp. 1-13). Colombia: CIAT.
- Shyu, S.-L. y Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food research International*, 34, 133-142.
- Shyu, S.-L., Hau, L.-B. y Hwang, L. S. (2005). Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of the Food and Agriculture*, 85, 1903-1908.
- Sijbring, P. H. (1969). Principles and practical results of vacuum frying chips. *Conserva*, 18(4), 99-101.
- Taiwo, K.A., Baik, O.D. (2007). Effects of Pre-treatments on the shrinkage and textural properties of fried sweet potatoes. *Journal of Food Science and Technology*.40(4). 661-668.
- Varela, P., Chen, J., Fiszman, S. y Povey, M. (2006) Crispness assessment of roasted almond by an integral approach to texture description: Texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics*. 20. 311-320.
- Varela, P., Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S.M.(2008). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *Journal of Food Science and Technology*, Article in press.
- Vasquez, J.E. (2008). Contribución al estudio de la fritura a vacío: Deshidratación de rodajas de manzana. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.