

## Efecto de la fritura por inmersión al vacío en rodajas de mango “Tommy Atkins” deshidratadas osmóticamente

## Effect of vacuum immersion frying in “Tommy Atkins” hand drives osmotically dehydrated

## Efeito da imersão de vácuo fritada em “Tommy Atkins” movimentao mão osmóticamente desidratada

MATEO ACOSTA-CASTAÑO<sup>1</sup>, ANDRES CHAVEZ-SALAZAR<sup>2</sup>,  
FRANCISCO JAVIER CASTELLANOS-GALEANO<sup>3</sup>

### RESUMEN

*El mango es un fruto exótico del cual, en los últimos 10 años, se cosecharon 40.258.695 ton a nivel mundial. Este es consumido en productos de bajo grado de transformación. La fritura por inmersión al vacío de matrices alimentarias combinada con deshidratación osmótica como pretratamiento, es una técnica alternativa y nove-*

- 1 Universidad de Caldas, Departamento de Ingeniería, Innovación Tecnológica de Alimentos. Especialista en gerencia de la calidad. Manizales, Colombia
- 2 Universidad de Caldas, Departamento de Ingeniería, Innovación Tecnológica de Alimentos. Doctor en Ciencias Agrarias. Manizales, Colombia
- 3 Universidad de Caldas, Departamento de Ingeniería, Innovación Tecnológica de Alimentos. Doctor en Ingeniería. Manizales, Colombia

**Correspondencia:** [andreschavez@ucaldas.edu.co](mailto:andreschavez@ucaldas.edu.co)

**Como citar este artículo:** MATEO ACOSTA CASTAÑO, ANDRES CHAVEZ-SALAZAR, FRANCISCO JAVIER CASTELLANOS-GALEANO.(2019). Efecto de la fritura por inmersión al vacío en rodajas de mango “tommy atkins” deshidratadas osmóticamente. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,18(1).14-24, DOI:<http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1427>

dosa en el procesamiento de frutas, debido a las bajas temperaturas utilizadas en el proceso de obtención de snacks con características organolépticas preferidas por los consumidores. El objetivo del trabajo fue evaluar las condiciones de operación en la obtención de rodajas de mango deshidratadas osmóticamente en solución de sacarosa (28,9%), cloruro de sodio (3,2%) y ácido cítrico (0,3%) y sometidas a un proceso de fritura por inmersión al vacío, por medio de un análisis de superficie de respuesta con un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR), el valor óptimo arrojado por el sistema estadístico fue de: fuerza impulsora de 42,4°C, presión del sistema de 10 kPa y tiempo de inmersión de 473,5 s, minimizando los siguientes factores: cambio de color, contenido de humedad y grasa. Los resultados obtenidos en el análisis sensorial sobre el producto obtenido por el óptimo estadístico, señaló un producto de crocancia y sabores agradables al paladar del consumidor.

## SUMMARY

Mango is an exotic fruit of which, in the last 10 years 40.258.695 ton were harvested worldwide. This is consumed in products of low transformation. Vacuum dipping fried food matrices, combined with osmotic dehydration as pretreatment, is an alternative and novel technique in fruit processing, due to the low temperatures used in the process of obtaining snacks and generating highly acceptable organoleptic characteristics to customers. The objective of the work was to evaluate the operating conditions in obtaining osmotically dehydrated mango slices in sucrose solution (28,9%), sodium chloride (3,2%) and citric acid (0,3%) and subjected to a vacuum immersion frying process, by means of a response surface analysis with a Central Compound Design Rotable (DCCR); The optimal value thrown by the statistical system was: 42,4°C driving force, 10 kPa system pressure and 473,5 s immersion time, minimizing the following factors: Color change, Moisture and fat content. The results obtained in the sensory analysis on the product obtained by the statistical optimum, indicated a product of crispness and pleasant flavors to the consumer's palate.

## RESUMO

A manga é uma fruta exótica da qual, nos últimos 10 anos, foram colhidas 40.258.695 ton em todo o mundo. Isso é consumido em produtos de baixo grau de transformação. A fritura com imersão a vácuo de matrizes de alimentos, combinada com a desidratação osmótica como pré-tratamento, é uma técnica alternativa e nova no processamento de frutas, devido às baixas temperaturas usadas no processo de obtenção de snacks e gerando características organolépticas altamente aceitáveis pelo consumidores. O objetivo deste trabalho é avaliar as condições de operação na obtenção de fatias de manga desidratadas osmóticamente em solução de sacarose (28,9%), cloreto de sódio (3,2%) e ácido cítrico (0,3%) e submetidas num processo de fritura por imersão a vácuo, por meio de uma análise de superfície de resposta com um Central Compound Design Rotable (DCCR); obtendo valores de força impulsora de 42,4°C, pressão do sistema de 10 kPa e tempo de imersão de 473,5 s, para um modelo que visa minimizar os seguintes fatores: mudança

## PALABRAS CLAVE:

Alimentos, Snacks, Frutas, Superficie de respuesta.

## KEYWORDS:

Food, Snacks, Fruits, Response Surface.

## PALAVRAS - CHAVE:

Comida, Lanches, Frutas, Superfície de resposta.

de cor, conteúdo de umidade e gordura. Os resultados obtidos na análise sensorial sobre o produto obtido pelo ótimo estatístico, indicaram um produto de crocância e sabores agradáveis ao paladar do consumidor.

## INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera Indica*) es uno de los frutos más consumidos dentro de una alimentación sana, es uno de los frutos de mayor importancia para el hombre, sus cultivos empezaron a ser practicados desde hace 4.000 años. La producción de este fruto exótico durante los últimos 10 años fue de 40.258.695 ton resaltando a India como el país de mayor producción durante esta temporada, con una producción actual de 18.779.000 ton/año; mientras que a nivel Suramericano, Colombia ocupa el tercer lugar en producción por debajo de Brasil y Perú, con una producción anual de 314.034 ton [1]. Dentro de los usos que se le asignan al mango destacan la elaboración de néctares, mermeladas, compotas, refrescos, extracción de almidones (semilla), consumo de la pulpa en fresco, uso de extracto de sabores y olores en la elaboración de perfumes, esencias y cremas (Industria de cosméticos), entre otros [2]. Dentro de las variedades más destacadas de mango se encuentran: *Keitt*, *Tommy Atkins*, *Kensington*, *Osteen*, entre otros. En Colombia, las variedades más cosechadas son: *Tommy Atkins*, *Brechoso*, *Común*, *Hilacha* y *Criollo lorito* [3]. El mango en Colombia tiene un bajo grado de transformación agroindustrial, solamente el 5,97% de la producción anual se destina a la producción de pulpa, y el restante 94,03% es consumido a nivel nacional como producto fresco y en preparaciones hogareñas [4].

La fritura por inmersión, como tratamiento consecuente a la deshidratación osmótica, es un proceso que consiste en sumergir un alimento en un fluido de características comestibles y a temperatura mayor a la del punto de ebullición del agua [5]. Durante el proceso se generan procesos de transferencia de calor y masa en modo simultáneo, en donde el aceite transfiere calor por convección a la superficie de las rodajas sometidas al tratamiento, esta energía es transferida al centro térmico de la rodaja por mecanismos de conducción; consecuente a ello, el agua contenida en el producto se evapora debido al intercambio de energía con el medio, mientras este fenómeno ocurre el producto gana aceite generando un intercambio de masa por mecanismos de difusión [6]. La deshidratación osmótica como pretratamiento al

proceso de fritura por inmersión favorece la liberación de humedad en la matriz alimentaria, este proceso se apoya en los mecanismos de transferencia de masa, más precisamente en el de difusión [7], lo que forma una capa externa sobre la matriz, que resulta de gran importancia durante el proceso de fritura por inmersión, pues genera características importantes sobre la textura del snack; además de potencializar características organolépticas como sabores en el producto final [8].

Dentro de algunas investigaciones realizadas sobre la fritura al vacío en matrices alimentarias deshidratadas osmóticamente, se destacan estudios que van desde tratamientos de fritura por inmersión en matrices alimentarias del tipo fructífero y tubérculos como el caso del tratamiento de pre-fritura de papas saborizadas por inmersión en solución de albahacas como lo presenta Mancero Peña *et al.* [9], hasta trabajos más sofisticados obteniendo productos tipo snack como el llevado a cabo por Pillajo *et al.* [10] donde se evaluaron procesos previos a la fritura por inmersión de mashua, como lo son la cocción en una solución salina de los chips del producto de interés posterior a ello se realiza un proceso de fritura al vacío cuantificándose los parámetros de calidad percibibles por los consumidores en un snack procesado. El autor señala la importancia de la deshidratación osmótica como pretratamiento a la fritura por inmersión al vacío en el producto terminado, debido a que este pretratamiento genera sobre el producto una superficie adicional permitiéndole aplicar la técnica de procesamiento final sobre matrices sensibles a los cambios elevados de temperatura, como es el caso de las frutas y tubérculos. En el caso específico de fritura por inmersión en frutas se encuentra el estudio llevado a cabo por Pandey and Chauhan [11] en donde se evaluó el comportamiento de la fritura al vacío en la producción de snack de papaya, resaltando de sus resultados que los snacks obtenidos variaban en su coloración y textura de acuerdo a variables como tiempo de inmersión, temperatura y presión del sistema, geometría del fruto, estado de madurez y acidez, por otro lado, estudios desarrollados por Zhang *et al.* [12] evalúan la formación de sabores desarrollados dentro de los procesos de fritura por inmersión de anillos de cebolla verde y Devi *et al.* [13] que evalúan el efecto de la fritura al vacío en el desarrollo de snack de setas; ambos trabajos plantean la fritura al vacío como una técnica comprometedoras en la búsqueda de texturas, sabores y colores adecuados y catalogados de gran calidad dentro de los procesos de formulación de

este tipo de productos, además de resaltar las características nutricionales y fisicoquímicas de este tipo de productos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la deshidratación osmótica y la presión del sistema en rodajas de mango "Tommy Atkins" sometidas a fritura por inmersión por medio de una metodología de superficie de respuesta en donde los factores fueron: Fuerza impulsora ( $\Delta T$ ), Presión del sistema ( $P$ ) y Tiempo de inmersión ( $t$ ), y las variables de respuesta: contenido de humedad, contenido de grasa, cambio de color y textura.

## MÉTODO

### Materia prima

Para llevar a cabo la investigación se tomaron como materia prima Mangos de variedad "Tommy Atkins", en estado de maduración "verde", proveniente del mercado local ubicado en Manizales - Colombia. Los frutos fueron examinados verificando que estuvieran libres de daños físicos y de cualquier tipo de contaminación. Además, se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos:

**Sólidos solubles.** Para la determinación de sólidos solubles se siguió el método oficial 932.12 de la AOAC. Se utilizó un refractómetro digital marca Atago PAL-1 (0-53%).

**Acidez titulable.** La acidez se determinó como el porcentaje de ácido málico, según el método oficial 942.15 de la AOAC; fue calculado con la ecuación 1.

$$\text{Acidez: } \frac{A \times B \times C}{D} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: A es el volumen gastado de hidróxido de sodio (NaOH) en mL, B es la normalidad de la base utilizada en la titulación (NaOH), C son los mili-equivalentes de ácido málico y D es la masa de la muestra en gramos.

**Análisis de color.** Para el análisis de color se utilizó un colorímetro marca Konica Minolta modelo CM-5 midiendo espacio de color CIE-L\*a\*b\*; con ello se determinó el cambio de color ( $\Delta E$ ) con la ecuación 2 [14].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde los  $\Delta$  de cada una de las coordenadas consisten en la comparación entre las muestras sometidas a determinado tratamiento con el blanco o muestra de rodaja de mango de mayor aceptación sobre el panel sensorial.

**Contenido de humedad.** El contenido de humedad se determinó por medio del método oficial 930.15 de la AOAC; en un horno convencional natural marca Binder, modelo ED053-UL.

### Deshidratación osmótica

Los mangos fueron procesados en una tajadora industrial marca Omega, tomando un espesor de las tajadas de  $2 \pm 0,2$  mm; de cada tajada se extrajeron fragmentos de pulpa con un sacabocados de 29,4 mm de diámetro. Las muestras cilíndricas obtenidas fueron sumergidas en una solución con sacarosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) (28,9%), cloruro de sodio (NaCl) (3,2%) y ácido cítrico ( $C_6H_8O_7$ ) (0,3%). El proceso de deshidratación se llevó a cabo a temperatura ambiente (aproximadamente 20°C) y evaluado durante los tiempos (min): 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240. Para cada tiempo se realizó el análisis de humedad y sólidos solubles, según metodología descrita en la caracterización de la materia prima.

### Fritura por inmersión

El proceso de fritura por inmersión de las muestras deshidratadas de mango se realizó en un equipo de 7 L de capacidad de aceite que consta de: (1) Motor TRANCOL, (2) Reductor SITI, (3) Acople rápido, (4) Salida de agua, (5) Drenaje tanque, (6) Entrada de agua, (7) Salida de agua, (8) Colector, (9) Rompe vacío, (10) Válvula solenoide, (11) A bomba de vacío y (12) Válvula de bola, tal como se describe en la figura 1, además está provisto de tres termocuplas tipo k, un tablero de control automatizado, una bomba de vacío y un software de registro y control de variables. La relación producto/aceite fue de 6,67 g/L. El aceite utilizado fue una mezcla de aceites vegetales refinados de soya y oleína de palma con antioxidante Terbutil Hidroquinona (TBHQ).

### Variables de respuesta

Las variables de respuesta que se tuvieron en cuenta para el análisis de la fritura por inmersión de las rodajas de mango fueron:

**Contenido de humedad y color.** Tanto el contenido de humedad como el color se llevaron a cabo según la metodología planteada para el acondicionamiento de la materia prima.

**Contenido de grasa.** El contenido de grasa se determinó según el método oficial 920.39 de la AOAC, en un montaje Soxhlet, marca Centricol con capacidad para 6 balones y un horno convencional natural marca Binder, modelo ED053-UL.

**Textura.** La dureza del snack fue determinado por medio de un analizador de textura marca SHIDMASU EZ-S, utilizando el software TRAPEZIUM2 y una celda de carga de 500 N; la prueba realizada fue un test de punto triple con una sonda en forma de diente de 30 mm de ancho, un ángulo de 60° y una base con 2 puntos de apoyo con una separación de 20 mm entre ellos, la velocidad de la sonda fue de 20 mm/min [15].

### Análisis sensorial

El análisis consistió en evaluar las rodajas de mango frito con mejores resultados sensoriales dentro del diseño experimental (tratamientos corridos). Las muestras con mayor grado de aceptación se seleccionaron por medio de una prueba hedónica, con una escala de 5 puntos (donde 1=Me disgusta mucho y 5=Me gusta mucho). Para esta prueba se contó con la valoración de 100 jueces consumidores.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

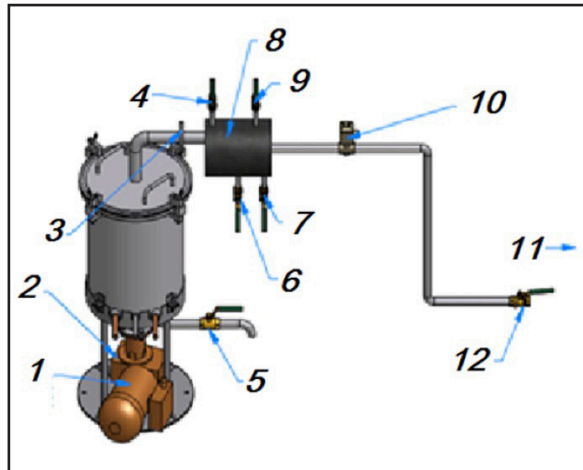
### Deshidratación osmótica

Para la determinación del tiempo de deshidratación osmótica sobre las rodajas de mango, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, al momento de encontrar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se compararon mediante una prueba de múltiples rangos.

### Fritura por inmersión

Para la determinación del óptimo estadístico en el proceso de fritura por inmersión de las rodajas de mango, se planteó una metodología de superficie de respuesta con un diseño central compuesto rotatable, donde se planteó un diseño de 20 tratamientos y los límites de cada factor fueron: (-1, 1): fuerza im-

Figura 1. Equipo de fritura por inmersión.



pulsora ( $\Delta T$ ) (33 - 93°C), y presión (P) (24-65 kPa) y tiempo de inmersión (t) (180-540 s) [15]. Cada variable de respuesta (y) es estimada de forma general con la ecuación 3.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \Delta T + \beta_2 P + \beta_3 t + \beta_4 \Delta T^2 + \beta_5 P^2 + \beta_6 t^2 + \beta_7 P \Delta T + \beta_8 \Delta T t + \beta_9 P t \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde  $\beta_i$ , desde  $i: 0-9$ , corresponde a los coeficientes estimados por cada variable de respuesta analizada, de acuerdo con el comportamiento sobre la temperatura, presión y tiempo de inmersión en el proceso de fritura. Dentro de la optimización estadística se tuvo en cuenta el comportamiento y el cambio presentado en cada uno de los tratamientos las variables de respuesta planteadas.

### Análisis sensorial

Para el análisis sensorial se utilizó un análisis de varianza, con un nivel de confianza del 95%, con prueba de Tukey. Para los tratamientos estadísticos de los procesos de deshidratación osmótica y fritura por inmersión se utilizó el software Statgraphics Centurión XVI.

## RESULTADOS

Previo a la realización de las experiencias de deshidratación osmótica y fritura por inmersión, se procedió a la determinación fisicoquímica de la materia prima a utilizar. Para ello se determinó el porcentaje de acidez ( $0,79 \pm 0,02$ ), concentración de sólidos solubles

( $7,2 \pm 0,6$ ), contenido de humedad ( $90,9 \pm 0,3$ ), coordenadas de color  $L^*$  ( $69 \pm 1$ ),  $a^*$  ( $2,8 \pm 0,6$ ) y  $b^*$  ( $43 \pm 2$ ).

### Deshidratación osmótica

En la Figura 2, se puede observar que para lograr un equilibrio entre la matriz y la solución hipertónica se requiere un tiempo mínimo de 180 min. Este tiempo de deshidratación se debe a la baja porosidad que presenta el mango Tommy Atkins en estado de maduración “verde” [16]. Durante el proceso de deshidratación osmótica, se encontraron diferencias significativas tanto para la variación de la concentración de sólidos solubles como para la pérdida en masa y/o pérdida de humedad, presentando ( $p$ -valor $<0,05$ ). Estas variaciones generan cambios fisicoquímicos en la estructura de la matriz analizada. En la Figura 2, se puede observar el comportamiento de estas dos variables en el tiempo, concluyendo una deshidratación osmótica adecuada sobre las rodajas de mango a un tiempo de 240 min, alcanzando el equilibrio sobre la concentración de sólidos en la solución, logrados a través de mecanismos de transferencia de masa desde la superficie hacia el centro geométrico de cada rodaja de mango. Los resultados obtenidos logran ser comparados por los planteados por García Parternina *et al.* [17] en donde concluyen que el proceso de deshidratación osmótica en mango (Tommy Atkins) en estado de maduración verde debe de ser llevado a cabo, como mínimo, por un tiempo de 240 minutos. Además de lo representado en la figura 2, se

puede denotar que a medida que disminuyó el contenido de humedad en el tiempo, la concentración de sólidos solubles aumentó en el producto, resultados similares se reportan por Cieurzynska, *et al.* [18] en donde se planteó la deshidratación osmótica de papaya, y que la concentración de sólidos solubles en el producto final aumentaron considerablemente, en comparación, de la materia prima de la cual se partió, reportando que se retiró el 28% de la humedad de la matriz, siendo una cantidad considerablemente alta.

### Fritura por inmersión

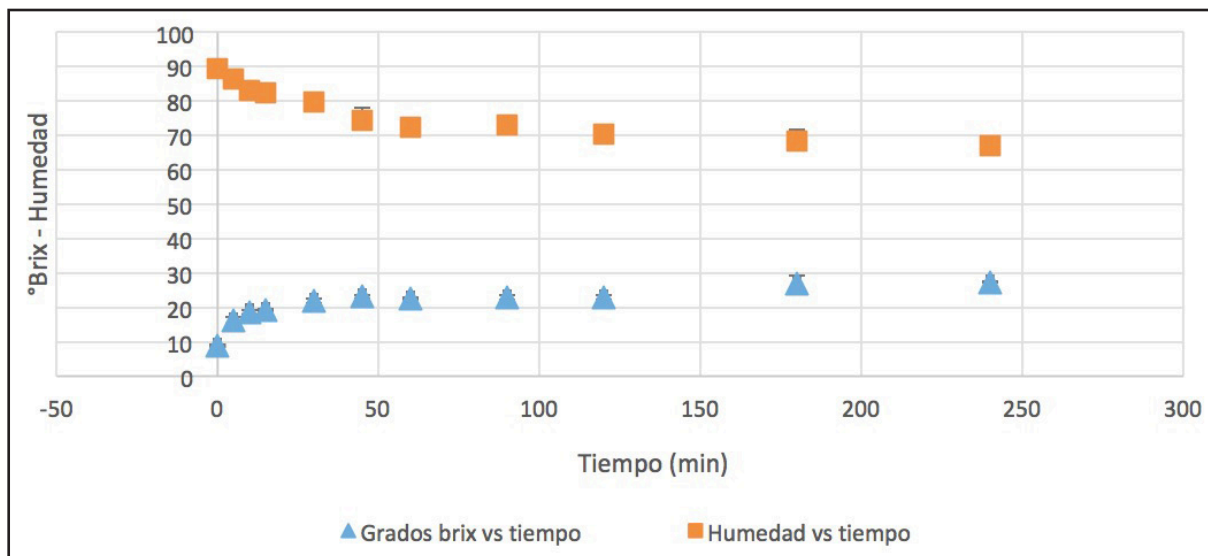
El cuadro 1, es una representación de cada uno de los tratamientos planteados por el DCCR y el resultado cuantificable de las variables de respuesta utilizadas en el análisis de los diferentes snacks obtenidos.

En el cuadro 2, se muestran los coeficientes de regresión estimados según el comportamiento de cada variable de respuesta al ser sometida al proceso de fritura, en función de los factores de proceso.

El comportamiento del cambio de color ( $\Delta E$ ), mostrado en la Figura 3 y en el cuadro 1, evidencia que los tres factores ( $\Delta T$ ,  $P$  y  $t$ ) en su forma lineal influyen sobre esta variable.

El propósito de este estudio fue minimizar el  $\Delta E$ , ya que los consumidores prefieren un producto de coloración similar al natural donde se resalten ca-

Figura 2. Cinética de deshidratación de chips de mango en solución osmótica.





**Cuadro 1.** Tratamientos en proceso de optimización con variables respuesta.

Tratamientos	Condiciones de operación			Variables respuesta		
	$\Delta T$ (°C)	P(kPa)	t (s)	Humedad (%)	Grasa (%)	Cambio de color ( $\Delta E$ )
1	63,0000	44,5000	360,0000	7,4715 ± 2,1482	16,9820 ± 10,5324	34,7928 ± 1,6514
2	93,0000	24,0000	540,0000	6,0111 ± 0,6795	16,8134 ± 6,1760	53,7744 ± 1,4634
3	93,0000	24,0000	180,0000	8,5958 ± 0,2438	20,0632 ± 1,9274	40,1046 ± 3,7775
4	113,4540	44,5000	360,0000	0,9717 ± 1,0202	32,4372 ± 1,6009	60,8346 ± 0,8027
5	33,0000	24,0000	540,0000	14,0862 ± 0,7609	12,5222 ± 3,2342	6,3312 ± 1,3510
6	63,0000	44,5000	360,0000	6,1122 ± 0,4380	28,9904 ± 5,5975	35,8483 ± 2,9866
7	63,0000	44,5000	57,2773	32,3417 ± 6,3512	10,0660 ± 2,9978	12,6013 ± 2,3383
8	12,5462	44,5000	360,0000	23,3922 ± 2,5481	17,3705 ± 8,9691	9,5653 ± 6,0656
9	33,0000	65,0000	180,0000	25,2738 ± 7,3772	12,8038 ± 5,8573	15,4161 ± 1,2121
10	63,0000	44,5000	360,0000	5,8427 ± 0,9989	12,2266 ± 3,6243	32,2427 ± 6,0856
11	63,0000	44,5000	360,0000	6,8962 ± 0,7170	18,5802 ± 11,7585	36,0229 ± 3,1171
12	33,0000	24,0000	180,0000	34,3887 ± 1,7230	4,5293 ± 0,7136	4,3712 ± 1,7872
13	63,0000	44,5000	662,7230	4,4070 ± 0,7758	24,8516 ± 1,1078	45,5300 ± 7,2234
14	63,0000	10,0232	360,0000	5,0690 ± 0,7999	10,6994 ± 0,1471	20,2133 ± 5,1937
15	33,0000	65,0000	540,0000	12,5822 ± 3,1311	31,5700 ± 9,2576	15,9086 ± 1,7862
16	63,0000	44,5000	360,0000	6,9720 ± 0,2861	21,3584 ± 0,9377	29,2654 ± 4,1340
17	63,0000	78,9768	360,0000	8,1899 ± 0,3918	26,7776 ± 4,7431	45,5907 ± 3,6901
18	93,0000	65,0000	180,0000	7,2887 ± 2,4828	29,2373 ± 2,6619	55,0925 ± 4,3896
19	93,0000	65,0000	540,0000	2,8646 ± 1,0623	24,5639 ± 1,5875	63,9799 ± 3,7121
20	63,0000	44,5000	360,0000	7,6036 ± 0,2980	18,4540 ± 6,0683	34,9881 ± 2,0145

racterísticas de naturalidad en el producto, en este sentido, se realizó una comparación entre el color de las muestras de mango en fresco y las muestras fritas. En esta investigación se puede afirmar que dicho objetivo es alcanzado cuando el proceso de fritura por inmersión se realiza en los siguientes rangos de operación:  $\Delta T$  (40-50°C), P (0-20) kPa y t (200-400) s. Algunos autores han reportado estudios sobre este fenómeno, por ejemplo, Ortega Quintana *et al.* [19] reportaron que los cambios en la coloración de rodajas de yuca posterior a diversos tratamientos de fritura variando el tiempo, la presión y la temperatura del sistema, haciendo especial énfasis en que la temperatura es el factor preponderante en el cambio de este parámetro (haciendo énfasis en el uso de esta misma metodología experimental) resaltando que a menor temperatura de aceite los cambios en la coloración con respecto al color natural de la yuca no resultan tan altos. Adicionalmente, se logra evidenciar el fundamento de la hipótesis según lo reportado por Belkova *et al.* [20], que evaluaron el propósito de la fritura a presión de vacío sobre la evolución de las características sensoriales, fisicoquímicas y en la formación de acrilamida en el producto final como en el medio de fritura, demostrando que con el óptimo obtenido en el procesos de fritura al vacío de papa,

**Cuadro 2.** Coeficientes en la estimación estadística de regresión polinómica de segundo orden.

Parámetro	Cambio color	Contenido humedad	Contenido grasa
Constante	-31,8630	84,2241	-25,0278
$\Delta T$	0,3892	-0,8143	0,2872
P	0,4619	*	0,3887
t	0,0569	-0,1782	0,0764
$\Delta T^2$	*	0,0024	*
$p^2$	*	*	*
$t^2$	*	0,0001	*
$\Delta T * P$	*	*	*
$\Delta T * t$	*	0,0006	-0,0008
$P * t$	*	*	*
$R^2$	0,9503	0,9528	0,8306

\*Valores no significativos (p-valor > 0,05)

el panel de expertos evidencia un cambio disminuido sobre el producto obtenido después del procesamiento, principalmente sobre el color del snack.

En cuanto al contenido de humedad, se puede observar en la figura 4 y en el cuadro 2, como los factores más influyentes sobre esta variable fueron:  $\Delta T$  y t, tanto en su forma lineal y cuadrática, como en la

Figura 3. Gráfico de contorno en 3D superficie de respuesta – Cambio de color en el snack de mango.

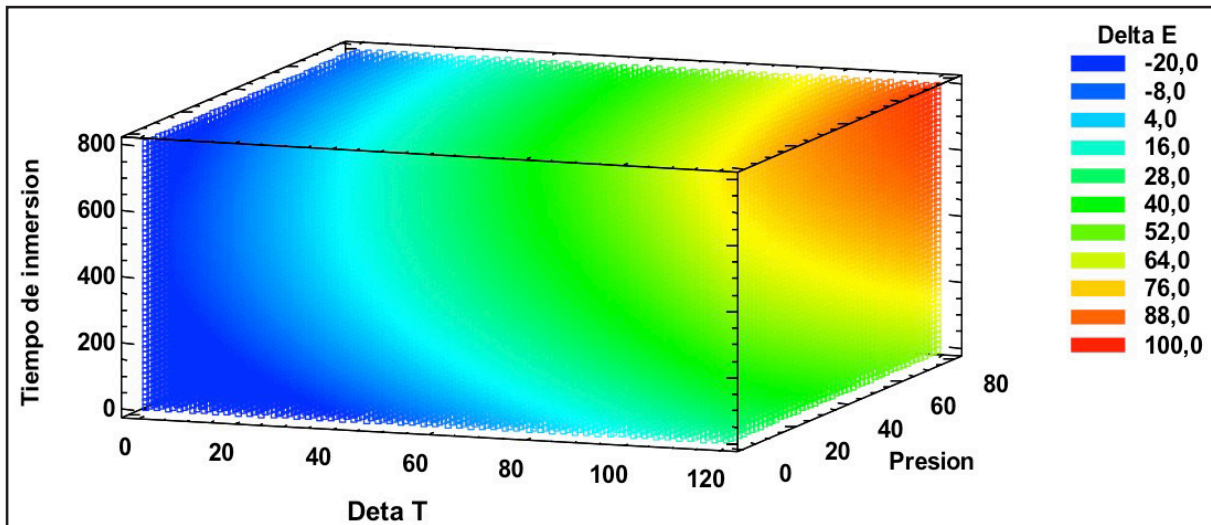
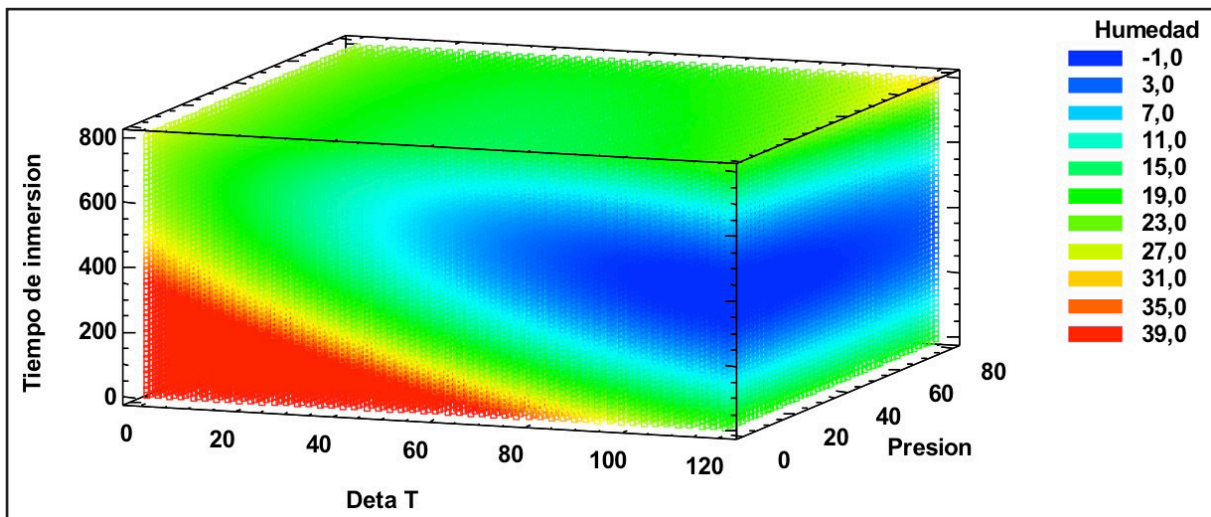


Figura 4. Gráfico de contorno en 3D superficie de respuesta – Contenido de humedad snack de mango.



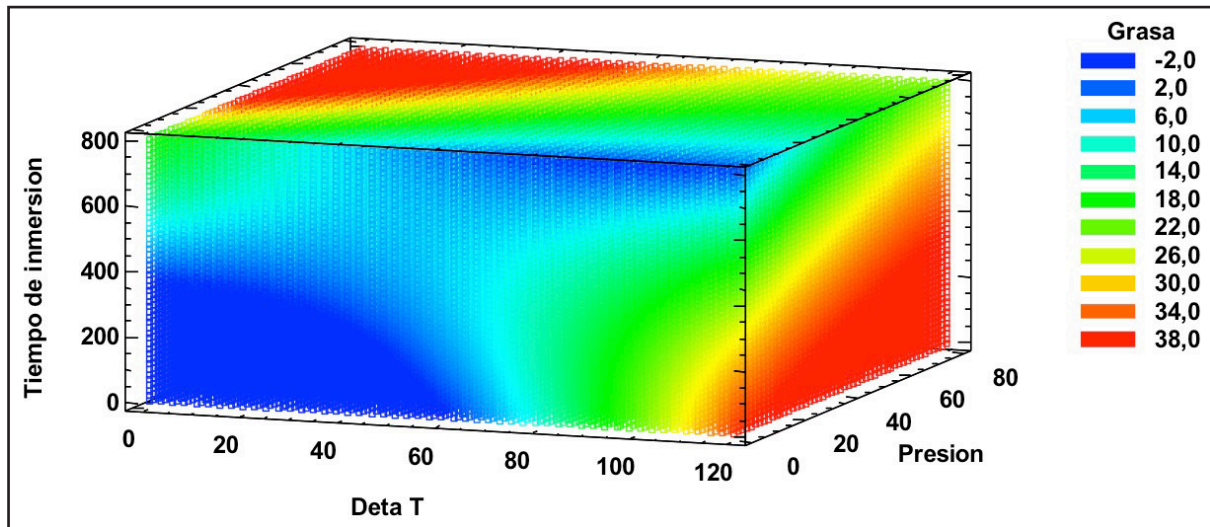
interacción de entre ellos. Teniendo en cuenta que la característica de un producto tipo snack son contenidos de humedad bajos para garantizar la conservación y crocancia sobre el producto final, el objetivo en este estudio fue minimizar dicha variable, concluyendo así rangos de operación en el proceso de:  $\Delta T$  (70-120°C), P (10-80 kPa) y t (200-600 s), para conseguir concentraciones de humedad entre el 1,5 y 3%, que son los valores reportados en la bibliografía como porcentajes de humedad apropiados para productos tipo snack.

Por otra parte, para el contenido de grasa se puede observar en la figura 5 y cuadro 2, que los tres fac-

tores en su forma lineal y la interacción entre el  $\Delta T$  y el t, afectaron esta variable de respuesta, concluyendo así que a bajas P y  $\Delta T$ , la absorción de grasa sobre el producto será menor, esto en búsqueda de lograr porcentajes por debajo del presente en los productos tipo snack ofertados en el mercado actualmente, que se encuentra alrededor del 33%. Cabe resaltar que el contenido de grasa deseado en un producto tipo snack sobre los intereses actuales de los consumidores se basan en la necesidad de ser bajos debido a intereses nutricionales y de salud [21]. De esta manera, sobre el análisis de esta variable de respuesta se obtuvieron los siguientes rangos de operación, con el obje-



Figura 5. Gráfico de contorno en 3D superficie de respuesta – Contenido de grasa snack de mango.



tivo de minimizar la misma:  $\Delta T$  (0-80°C), P (10-20 kPa) y t (200-400 s), resultados similares se encontraron planteados en el trabajo de [Torres *et al.* [5]] donde el producto fue arepa con huevo, y se plantea una disminución en el contenido de grasa del producto final.

Con respecto a los resultados obtenidos sobre el análisis de textura, es importante resaltar que debido a la naturaleza de la matriz después de ser sometida a cada uno de los tratamientos de fritura, no presentaron la consistencia necesaria para lograr ser analizados por el equipo; gracias a que presentaban consistencia blanda y endeble. Presentadas estas características en el producto, no se lograba determinar la carga requerida para realizar la fractura del chip.

En general, los tres factores en la operación de fritura influyeron en todos y cada uno de los parámetros evaluados como variables de respuesta. También, es importante resaltar que, durante el proceso de fritura, la presión actúa como una variable de control importante en cuanto a la generación de productos con bajo porcentaje de grasa. Esta apreciación se debe a que el mango es una matriz compuesta por tejido vegetal, su estructura es sumamente susceptible a daños por tratamientos a temperaturas altas y a tiempos prolongados de operación. El uso de principios fisicoquímicos en los que se usan diferenciales de presión bajos para disminuir de modo simultáneo la temperatura de ebullición del agua contenida dentro de los poros de las rodajas de mango, actúa como método de transformación y conservación en

el producto final, razón por la cual aparece la deshidratación osmótica como técnica predecesora al tratamiento de fritura por inmersión, puesto que no solo actúa como potencializadora de características organolépticas del producto, sino que además forma una película alrededor de la rodaja para evitar problemas de desintegración molecular y pérdidas en cuanto a rendimientos en la operación de fritura, dicho lo anterior, resalta los rasgos favorables que le confiere al snack de mango. Finalmente, el análisis estadístico del diseño experimental para cada variable determinó la optimización del proceso con una deseabilidad en la localización del óptimo igual a 77,81% los valores óptimos obtenidos por medio de la metodología de superficie de respuesta fueron: 42,4°C en la fuerza impulsora, una presión de 10 kPa y un tiempo de operación de 473,5 s.

### Análisis Sensorial

Dentro de la prueba sensorial se evaluaron tres muestras seleccionadas del total de los 20 tratamientos realizados, teniendo en cuenta un criterio objetivo de características tradicionales en snack. Con los resultados obtenidos por panelistas se logró concluir que existe diferencia significativa entre las muestras (p-valor <0,05), siendo la de mayor grado de aceptación la obtenida bajo las condiciones de  $\Delta T$ : 64°C, P: 24 kPa y t: 540 s. Dentro de los resultados obtenidos por el proceso de optimización y lo obtenido del panel de análisis sensorial, es correcto afirmar que el modelo estadístico analiza de for-

ma acertada las variables de control y lo obtenido a las variables de respuesta; señalando las condiciones adecuadas para obtener un producto frito de buena aceptación sensorial.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los valores óptimos obtenidos del proceso de fritura:  $\Delta T$  (42,4°C), P (10 kPa) y t (473,5 s), se puede considerar la técnica de fritura al vacío como un tratamiento adecuado en los procesos de modificación estructural sobre snacks de fruta, puesto que al modificar la presión del sistema de operación se reduce el uso de altas temperaturas en el aceite, por lo tanto, promueve un menor daño al momento de deshidratar el alimento. La deshidratación osmótica y la evaluación de la presión del sistema sobre el proceso de fritura al vacío de rodajas de mango frito, resulta ser benéfico para pensar en un proceso estandarizado de producción en cuanto a la elaboración de un producto autóctono colombiano como es el mango biche con esencia ácida y salada, puesto que el producto elaborado cumple con una buena aceptación sensorial, y podría convertirse en una alternativa de consumo paralela a la elaboración artesanal de esta fruta en nuestro país, donde se adiciona sal y limón para el consumo final.

## REFERENCIAS

- [1] SOSA, M.D., RODRÍGUEZ, L.F. y BERMÚDEZ-C. L.T. Competitividad del sistema de producción de mango 'Tommy Atkins' en Cundinamarca (La Mesa, Anapoima, Tocaima). *Revista Colombiana de Ciencias hortícolas*, 5(1), 2011, p. 20-33.
- [2] MAZATIEGOS-SÁNCHEZ, A., MILLA-SÁNCHEZ, A.I., MARTÍNEZ-CHÁVEZ, J., ÁGUILA-GONZÁLEZ, J.M. y VILLANUEVA-VÁZQUEZ, K.E. Identificación del sistema local de comercialización del mango ataulfo en el municipio de Huehuetan, Chiapas. *Revista mexicana de agronegocios*, 40, 2017, p. 571-582.
- [3] CORRALES-BERNAL, A., MALDONADO, M.E., URANGO, L.A., FRANCO, M.C. y ROJANO, B.A. Mango de azúcar (*Mangifera indica*), variedad de Colombia: características antioxidantes, nutricionales y sensoriales. *Revista chilena de nutrición*, 41(3), 2014, p. 312-316.
- [4] MALDONADO-ASTUDILLO, Y.I., NAVARRETE-GARCÍA, H.A., ORTIZ-MORALES, Ó.D., JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J., SALAZAR-LÓPEZ, I., ALIA-TEJACAL, I. y ÁLVAREZ-FITZ, P. Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en la costa de guerrero. *Revista fitotecnología*, 39(3), 2016, p. 207-214.
- [5] TORREZ, J., ALVIS, A., GALLO, L., ACEVEDO, D., MONTERO, P. y CASTELLANO F. Optimización del proceso de fritura por inmersión de la arepa con huevo utilizando metodología de superficie de respuesta. *Revista chilena de nutrición*, 45(1), 2018, p. 50-59.
- [6] ALVIS-BERMÚDEZ, A., ROMERO-BARRAGAN, P. y ARRAZOLA PATERNINA G. Pérdida de humedad y absorción de aceite durante fritura de tajadas de plátano (*Musa paradisiaca* L.). *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 2016 p. 119-124.
- [7] SCHINCARIOL-PAES, M., FERRERA DEL PINTOR, J.P., PESSOA-FIHO, P.A. and TADINI, C.C. Mass transfer modeling during osmotic dehydration of cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg Landrum) slices and quality assessment. *Journal of Molecular Liquids*, 273, 2019, p. 408-413.
- [8] DENG, K., CHEN, J., TIAN, Y., MIAO, S. and ZHENG, B. Optimization of process variables on physical and sensory attributes of shiitake (*Lentinula edodes*) slices during vacuum frying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 54, 2019, p. 162-171.
- [9] MANCERO-PEÑA, T., MOSQUERA-ARAUJO C., CADENA-ITURRALDE, N., EL SALOUS, A. y ARIZAGA-GAMBOA, R. Elaboración de papas (*Solanum tuberosum* L.) pre-fritas, congeladas y saborizadas con albahaca (*Ocimum basilicum*) deshidratada. *INNOVA Research Journal*, 3(1), 2018, p. 71-81.
- [10] PILLAJO, J., BRAVO-VÁSQUEZ, J. y VERNAZA, M.G. Efecto de la cocción y la concentración de sal como pretratamiento de chips de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) obtenidos por fritura al vacío. *Información Tecnológica*, 30(4), 2019, p. 13-22.
- [11] PANDLEY, A.K. and CHAUHAN, O.P. Process optimization for development of vacuum fried papaya (*Carica papaya*) chips using response surface methodology. *Agricultural research*, 8(3), 2019, p. 364-373.
- [12] ZHANG, N., SUN, B., MAO, X., CHEN H. and ZHANG, Y. Flavor formation in frying process of green onion (*Allium fistulosum* L.) deep-fried oil. *Food Research International*, 121, 2019, p. 296-306.

- [13] DEVI, S., ZHANG, M. and LIM-LAW, C. Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus*) chips quality. *Food bioscience*, 25, 2018, p. 111-117.
- [14] MATHIAS-RETTING, K. y AH-HEN, K. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agrosur*, 42(2), 2014, p. 39-48.
- [15] CASTELLANOS-GALEANO, F.J., CHAVEZ-SALAZAR, A. and MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, L.J. Effect of process variables in the production of fried green plaitain in vacuum. *VITAE*, 24(1), 2017, p. 38-46.
- [16] VASCONCELOS-CAMPELO DE MELLO, O., DUARTE, D., CASTRO-SILVA, J., OLVEROS-MESA, N.F., TERUEL-MEDEROS, B.J. and TONETTO DE FREITAS, S. Modeling "Tommy Atkins" mango cooling time based on fruit physicochemical quality. *Scientia Horticulturae*, 244, 2019, p. 413 - 420.
- [17] GARCÍA-PATERNINA, M., ALVIS-BERMUDEZ, A. y GARCÍA-MOGOLLON, C.A. Evaluación de los pretratamientos de deshidratación osmótica y microondas en la obtención de hojuelas de mango (Tommy Atkins). *Información Tecnológica*, 26(5), 2015, p. 63-70.
- [18] CIURZYNSKA, A., KOWALSKA, H., CZAJKOWSKA, K. and LENART, A. Osmotic dehydration in production of sustainable and healthy food. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 2016, p. 186-192.
- [19] ORTEAGA-QUINTANA, F.A., MONTES-MONTES, E.J., PÉREZ-SIERRA, O.A. y VÉLEZ-HERNÁNDEZ, G.I. Efecto de la deshidratación osmótica y la temperatura sobre el color y la fuerza máxima de fractura de rodajas de yuca en freído por inmersión. *Información Tecnológica*, 30(1), 2019, p. 311-320.
- [20] BELKOVA, B., HRADECKY, J., HURKOCA, K., FORSTOVA, V., VACLAVIK, L. and HAJŠLOVA, J. Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. *Food chemistry*, 241, 2018, p. 51-59.
- [21] GREEN, H., SIWAJEK, P. and ROULIN, A. Use of nutrient profiling to identify healthy versus unhealthy snack foods and whether they can be part of a healthy menu plan. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, 9, 2017, p. 1-5.