

### Publicación anticipada

El comité editorial de la revista *Ingeniería y Competitividad* informa que este artículo fue aprobado para publicación en el volumen 25 número 1 teniendo en cuenta los requisitos editoriales y los conceptos emitidos por los pares evaluadores. Por lo tanto, se publica anticipadamente para su consulta, descarga y citación provisional, aclarando que esta puede diferir de la versión final, ya que no ha completado las etapas finales del proceso editorial (corrección de estilo, traducción y diagramación) y solo los títulos, datos de autores, palabras clave y resúmenes corresponden a la versión final del artículo.

#### Como citar:

**Martínez-Pantoja DF, Acosta-Castaño M, Álvarez-Barreto CI, Castellanos-Galeano FJ.** Vacuum dip frying of green banana slices with edible coatings. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, **In press 2023**. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i1.11970>

### Article in press

The editorial committee of the Journal *Ingeniería y Competitividad* informs that this article was approved for publication in volume 25 number 1, considering the editorial requirements and the concepts of the peer reviewers. Therefore, the preliminary version of this article is published for consultation, download and provisional citation purposes, clarifying that this version may differ from the final document, since it has not completed the final stages of the editorial process (proof-editing, translation and layout) and only the titles, authorship, keywords and abstracts will remain unchanged the final version of the article.

#### How to cite:

**Martínez-Pantoja DF, Acosta-Castaño M, Álvarez-Barreto CI, Castellanos-Galeano FJ.** Vacuum dip frying of green banana slices with edible coatings. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, **In press 2023**. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i1.11970>

# Vacuum dip frying of green banana slices with edible coatings

INGENIERÍA DE ALIMENTOS

## Fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano verde con recubrimientos comestibles

Darío Fidel Martínez-Pantoja<sup>1</sup>, Mateo Acosta-Castaño<sup>2§</sup>, Cristina Inés Álvarez-Barreto<sup>3</sup>, Francisco Javier Castellanos-Galeano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Universidad de Caldas, Facultad de Ingeniería, Manizales, Colombia*

<sup>2</sup>*Centro de Biotecnología Industrial, SENA Palmira, Palmira, Valle del Cauca*

<sup>3</sup>*Universidad de Caldas, Facultad de Ingeniería, Centro de Desarrollo Tecnológico Planta de BioProcesos y Agroindustria, Manizales, Colombia*

§ *dfmartinez@sena.edu.co, mateo.acosta39576@ucaldas.edu.co, cristina.alvarez@ucaldas.edu.co, francisco.castellanos@ucaldas.edu.co*

**Recibido:** 21 de febrero de 2021 – **Aceptado:** 22 de julio de 2021

### Abstract

Banana is one of the most consumed products in the world, for the year 2019 approximately 107,941,444 tons were harvested, production in which Colombia contributes 2.7%. At the national level, the banana is consumed fresh and industrially processed in the preparation of fried snacks, with fat content of around 40% based on its weight; products cataloged within the group of unhealthy foods. The combined use of novel technologies, such as treatment with biofilms and vacuum immersion frying generates an alternative to produce snacks with less oil content accompanied by acceptable quality parameters and pleasant organoleptic characteristics for consumers. Immersion vacuum frying of green banana slices (with °Brix of  $4.9 \pm 0.7$ ) coated with guar gum (1.4% w / v) in different process conditions under the response surface analysis using the design methodology rotatable composite center, considering pressure (30-62) kPa, time (180-360) s and temperature (43-73) °C. The optimum reached to minimize the oil content was pressure of 73 kPa, time of 341 s and driving force 43 °C. The results obtained as statistically optimal in the sensory analysis of the coated snack, indicated an acceptability of 55% of the product obtained.

**Keywords:** *Agroindustry, Dominico hartón, Guar gum, Response surface, Oil content.*

### Resumen

El plátano es uno de los productos más consumidos en el mundo, para el año 2019 se cosecharon 107.941.444 toneladas aproximadamente, producción en la cual Colombia aporta el 2,7%. A nivel nacional, el plátano es consumido en fresco y procesado industrialmente en la elaboración de snacks fritos, con contenidos de grasa de alrededor del 40% con base en su peso; productos catalogados dentro del grupo de alimentos no saludables. El uso combinado de tecnologías

novedosas, como el tratamiento con biopelículas y fritura por inmersión al vacío genera una alternativa para producción de snacks con menos contenido de aceite acompañado de parámetros de calidad aceptables y características organolépticas agradables para los consumidores. El objetivo del trabajo fue evaluar la fritura al vacío por inmersión de rodajas de plátano verde (con °Brix de  $4,9 \pm 0,7$ ) recubiertas con goma guar (1,4% p/v) en distintas condiciones de proceso bajo el análisis de superficie de respuesta utilizando como metodología el diseño central compuesto rotatable, considerando la presión (30-62) kPa, tiempo (180-360) s y temperatura (43-73) °C. El óptimo alcanzado para minimizar el contenido de aceite fue: presión de 73kPa tiempo de 341 s y fuerza impulsora 43°C. Los resultados obtenidos como óptimo estadístico en el análisis sensorial del snack recubierto señalaron una aceptabilidad del 55% del producto obtenido.

**Palabras clave:** Agroindustria, Dominico hartón, Goma guar, Superficie de respuesta, Contenido de aceite.

## 1. Introducción

El plátano es una planta perenne de la familia de las musáceas (género *Musa*, especie *paradisíaca* L.) y representa uno de los cultivos más importantes en países tropicales de Asia, África y América Latina. Para el año 2019, los países con mayor producción fueron: India, China, Indonesia, Filipinas y Colombia, destacándose Colombia como quinto productor mundial, con 2.914.419 toneladas, 2.70% de la producción anual mundial de plátano (1).

En Colombia, el plátano se consume en estado de maduración verde o maduro y un gran segmento del consumo interno se destina a la transformación en productos fritos debido a la alta demanda, rapidez en la preparación, sabores y texturas característicos (2). Dentro de los principales productos del plátano sometido a fritura por inmersión, se encuentran: Tajadas de maduro (Porciones longitudinales de plátano maduro frito en aceite vegetal), patacones (Trozos de plátano verde sometidos a pre-fritura, posteriormente prensado para una fritura final) y snack (rebanadas transversales delgadas de plátano verde frito) (3).

La fritura por inmersión es un proceso de cocción que consiste en sumergir un alimento en un fluido comestible a temperaturas mayores a la ebullición del agua, durante el proceso ocurren fenómenos de transferencia de calor (convección y conducción) y de manera simultánea fenómenos

de transferencia de masa (difusión), debido a una evaporación total o parcial del agua y una absorción progresiva del fluido de inmersión al producto, que en algunos alimentos amiláceos puede ser cercana al 40% de la masa final (4). Para el caso de la fritura por inmersión al vacío, la presión operativa se encuentra por debajo de la atmosférica, hasta 3 kPa, lo que disminuye la temperatura de ebullición del agua y, por tanto, la temperatura del aceite. En consecuencia, se trabajan tiempos y temperaturas operativas más cortos y más bajas, respectivamente. De esta manera, se permite conservar aspectos de calidad en los alimentos como color y sabor, así como la degradación del aceite y la pérdida de fitoquímicos en los productos es menor (5).

El alto contenido de aceite de los productos fritos, la relación del consumo de grasas “trans” y saturadas junto con la incidencia de estos en diversas enfermedades de tipo cardiovascular, ha impulsado a los investigadores a desarrollar nuevos métodos y técnicas para disminuir el contenido de aceite y mejorar los aspectos nutricionales de los productos (6) (7). Con base en lo anterior, se han explorado diferentes estrategias como la modificación de variables operativas en la fritura al vacío por inmersión, implementación de pretratamientos y alteración de la superficie del alimento (8) (9).

Dentro de las características fisicoquímicas y estructurales de las matrices a freír, las propiedades superficiales son determinantes en la

cantidad de aceite absorbido (10), razón por la cual muchas veces se modifica la superficie del alimento con el fin de disminuir el contenido de aceite en la matriz, los recubrimientos alimenticios destacan por su capacidad de reducción en la absorción de aceite relacionado con la creación de una barrera invisible en la superficie de la matriz y disminución de tensión superficial entre el alimento y el aceite (11). Algunos recubrimientos comestibles están basados en hidrocoloides, derivados de celulosa, gomas, almidones modificados y proteínas, destacándose la goma guar (11) (12).

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de las variables del proceso de fritura por inmersión al vacío (presión, tiempo y fuerza impulsora) sobre el contenido de agua, contenido de aceite, cambio de color y textura de snacks de plátano recubiertos con goma guar. Por otra parte, se compararon los parámetros de calidad y aceptación sensorial.

## 2. Metodología

### 2.1 Materia prima

Se usó plátano verde, variedad Dominico Hartón (Musa, genotipo AAB) (13), suministrado por la granja Montelindo de la Universidad de Caldas ubicada a 1050 msnm y 23°C en promedio. La muestra de frutos examinados bajo la determinación fisicoquímica se tomó considerando la desviación estándar característica y el error tipo II, se llevaron a cabo pruebas fisicoquímicas por triplicado y conociendo su desviación estándar. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron:

- **Sólidos solubles:** Se siguió el método oficial 913.12 de la AOAC.
- **Acidez titulable:** Se siguió el método oficial 942.15 de la AOAC. Con base en ácido málico.
- **Contenido de humedad:** De acuerdo con el método oficial 930.15 de la AOAC.

- **Análisis de color:** Se utilizó un colorímetro CM-5 Konica Minolta siguiendo la metodología propuesta por (8), donde  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L$  representan tonos de rojo-verde, tonos de amarillo-azul y luminosidad, respectivamente.

### 2.2 Preparación de las muestras

El plátano fue cortado en rodajas usando una tajadora industrial marca Omega considerando  $3 \pm 0,2$  mm de espesor, posteriormente con la ayuda de un sacabocado se obtienen chips de 29,4 mm de diámetro, luego se realizó una inmersión en una solución antipardeante de metabisulfito de sodio de 30 ppm por 3 minutos (14).

### 2.3. Soluciones de recubrimiento

Se prepararon soluciones acuosas de goma guar al 1,4% p/v y se usó glicerol a una concentración de 0,03 %p/v de solución. Las soluciones se calentaron a 60°C y se mantuvieron en agitación constante por 5 minutos con un ultra-turrax. Las muestras fueron recubiertas por inmersión en la solución durante 90 segundos, transcurrido el tiempo se les permitió escurrir con la ayuda de una malla metálica por un minuto (Solano Doblado et al., 2018). Posteriormente se realizó un secado superficial en un secador de bandejas a 60°C por 20 minutos hasta alcanzar un contenido de humedad del 50%.

### 2.4 Fritura por inmersión al vacío

Se realizó una freidora al vacío ubicada en la Universidad de Caldas, con una capacidad de 7 litros de aceite, equipado con tres termocuplas para el producto, una para el aceite, un tablero de control automatizado para fijar las variables de proceso (temperatura, tiempo y presión) y una bomba de vacío (15). Se trabajó con una relación de 18 g de producto / litro de aceite. Se utilizó una mezcla de aceites vegetales de oleína de palma y aceite de soya con antioxidante TBHQ.

## 2.5 Optimización y validación de los resultados

Se compararon variables respuesta en la fritura por inmersión de las rodajas de plátano bajo la condición de operación teórica respecto a las condiciones experimentales de las rodajas con y sin recubrimiento. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza para establecer diferencias significativas, con un nivel de significancia del 5%.

Para la optimización del proceso se consideró el valor del coeficiente de determinación mayor al 50%, con el objetivo de minimizar el contenido de aceite, contenido de humedad y el parámetro de color  $a^*$ ; así como maximizar la textura y parámetros de color  $L^*$  y  $b^*$ .

## 2.6 Variables respuesta dentro de optimización

- Contenido de humedad: Según metodología planteada anteriormente.
- Contenido de aceite: Se siguió el método 920.39 de la AOAC.
- Análisis de color: Según metodología planteada anteriormente.
- Análisis de textura: Se usó un analizador de textura SHIDMAZU EZ-S con el Software TRAPEZIUM2 y una celda de carga de 500N y se siguió la metodología establecida por (16).

## 2.7 Parámetros de calidad evaluados en el punto óptimo

- Análisis microestructural: Se usó un microscopio electrónico de barrido, FEI QUANTA 250. Se analizaron cortes transversales con el objetivo de evaluar la integridad de la película. Todas las muestras se analizaron sobre soportes de bronce para permitir la observación superficial y la sección transversal, mediante un voltaje de aceleración de 10kV y usando un detector ambiental que permite la observación de muestras no conductoras sin tratamiento

previo. Se realizaron observaciones con aumentos de 200x, 500x, 1000x y 2000x.

- Evaluación sensorial: Se realizó análisis de aceptabilidad con 100 consumidores no entrenados con un total de 2 muestras (muestra control y muestra recubiertas con goma guar 1,4% y glicerol 0,03 %p/v en el punto óptimo), utilizando una escala hedónica de X puntos. Las muestras fueron presentadas en recipientes de plástico, en cubículos individuales de forma aleatorizada, balanceada y codificadas con números de tres cifras. Los resultados se evaluaron con la prueba de Kruskal-Wallis, según lo planteado por la NTC 3925 del ICONTEC.

## 2.8 Diseño experimental

Se planteó la metodología de superficie de respuesta con diseño central compuesto rotatable en 20 tratamientos. Los límites de cada factor (-1, +1) se muestran en la Tabla 1 (16).

**Tabla 1.** Rango experimental y niveles de los factores para el efecto de las condiciones de fritura

Factores en el proceso de fritura por inmersión	Valor codificado		Valor real	
	Mín	Máx	Mín	Máx
$\Delta$ Temperatura* (°C)	-1	+1	43	73
Presión (kPa)	-1	+1	30	62
Tiempo (s)	-1	+1	180	360

\* $AT = T_{aceite} - T_{ebullicion\ agua, Psistema}$ . Fuente: Elaboración propia:

La función respuesta se divide en componentes lineales, cuadráticos y de interacción. Como se muestra en la Ec.3.

$$y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 AC + \beta_5 AB + \beta_6 BC + \beta_7 A^2 + \beta_8 B^2 + \beta_9 C^2 \quad (3)$$

Donde Y es la respuesta; A, B y C, son variables de entrada (fuerza impulsadora- $\Delta T$ , Presión-P y tiempo-t);  $\beta_0$  es el intercepto;  $\beta_i$  son los coeficientes lineales;  $\beta_{ii}$  son los coeficientes cuadráticos y  $\beta_{ij}$  son los coeficientes de interacción.

### 3. Resultados

#### 3.1 Materia prima

El plátano verde (Musa, genotipo AAB) empleado presentó un contenido de sólidos solubles de  $4,9 \pm 0,7$  °Brix, un porcentaje de acidez de  $0,217 \pm 0,063$  y un contenido de humedad promedio de  $60,4 \pm 0,9\%$  (17).

#### 3.2 Fritura por inmersión al vacío

Los resultados obtenidos del diseño experimental aplicado se presentan en la Tabla 2. El contenido de humedad y el contenido de aceite en snacks de plátano verde frito recubiertos con goma guar

variaron entre (0,07 - 11,26) % y (14,77 - 31,09) %, respectivamente. En el Tabla 3 se encuentran los términos significativos de las variables operativas en función de las respuestas trabajadas en este estudio.

En cuanto a los resultados obtenidos sobre la textura y cambio de color del snack recubierto reportados por (18), se observa una relación directa entre la presión y la temperatura del sistema en fuerza máxima de ruptura del snack; al igual lo reporta (19) en su trabajo con papa nativa roja establece que los cambios sobre textura debido a la presión se basan en menores cambios estructurales y menor expansión de los poros del producto, sin embargo, existen trabajos como los reportados por (20) donde resalta la temperatura y el tiempo de inmersión como variables influyentes sobre la crocancia del snack de papa, esto es consecuencia de la formación de costra debido a procesos de deshidratación del producto.

**Tabla 2.** Variables de respuesta, coeficientes estimados, valores óptimos de proceso de optimización ( $\alpha=5\%$ )

Tratamientos	Condiciones de Proceso				Variables de respuesta	
	$\Delta T$ (°C)	Presión (kPa)	Tiempo (s)	$T_{aceite}$ (°C)	Contenido de humedad (%)	Contenido de aceite (%)
1	43,0	30,0	180	112,09	$5,120 \pm 0,011$	$20,620 \pm 0,045$
2	73,0	30,0	180	142,09	$0,400 \pm 0,003$	$21,500 \pm 0,010$
3	43,0	62,0	180	129,33	$5,070 \pm 0,011$	$16,590 \pm 0,015$
4	73,0	62,0	180	202,33	$1,100 \pm 0,009$	$22,730 \pm 0,039$
5	43,0	30,0	360	112,09	$0,900 \pm 0,001$	$25,370 \pm 0,012$
6	73,0	30,0	360	142,09	$0,370 \pm 0,004$	$24,840 \pm 0,013$
7	43,0	62,0	360	129,33	$1,870 \pm 0,004$	$17,420 \pm 0,009$
8	73,0	62,0	360	159,33	$0,630 \pm 0,006$	$24,670 \pm 0,026$
9	32,8	46,0	270	111,93	$3,910 \pm 0,003$	$20,730 \pm 0,020$
10	83,2	46,0	270	162,33	$0,070 \pm 0,009$	$29,870 \pm 0,030$
11	58,0	19,1	270	118,06	$5,000 \pm 0,002$	$15,850 \pm 0,018$
12	58,0	72,9	270	149,76	$1,050 \pm 0,001$	$24,770 \pm 0,001$
13	58,0	46,0	118	137,13	$11,260 \pm 0,015$	$14,770 \pm 0,044$
14	58,0	46,0	421	137,13	$0,080 \pm 0,001$	$27,860 \pm 0,021$
15	58,0	46,0	270	137,13	$0,980 \pm 0,003$	$31,090 \pm 0,002$
16	58,0	46,0	270	137,13	$0,500 \pm 0,001$	$30,640 \pm 0,022$
17	58,0	46,0	270	137,13	$0,810 \pm 0,002$	$27,650 \pm 0,003$
18	58,0	46,0	270	137,13	$0,510 \pm 0,001$	$30,840 \pm 0,009$
19	58,0	46,0	270	137,13	$1,510 \pm 0,005$	$29,170 \pm 0,027$
20	58,0	46,0	270	137,13	$1,120 \pm 0,002$	$30,280 \pm 0,016$



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Coeficientes en la estimación estadística regresión polinómica de segundo orden

Parámetros	Contenido de Humedad	Contenido de grasa
Constante	23,4000	-40,1015
$\Delta T$	-0,1060	0,2209
P	*	1,1743
t	0,0800	0,1421
$\Delta T^2$	0,0002	0,0004
P <sup>2</sup>	*	-0,0127
t <sup>2</sup>	*	*
$\Delta T * P$	*	*
$\Delta T * t$	*	*
P*t	*	*
R <sup>2</sup>	0,6800	0,7200

\*Valores no significativos (p-valor>0,05). Fuente: Elaboración propia

Sobre el cambio de color se logra evidenciar una relación inversa entre el  $\Delta T$  y la presión del sistema sobre el parámetro de luminosidad  $L^*$  mientras que sobre el parámetro  $a^*$  que relaciona cambios de colores debido a reacción de Maillard (generación de marrones) tiene una relación directa con las dos variables operativas mencionadas anteriormente (21). Por otro lado, el parámetro  $b^*$  que indica cambios en el color amarillo ninguna de las variables del proceso produjo cambios considerables con respecto a la muestra fresca (22).

### 3.3 Contenido de humedad y aceite

Se observa un cambio en el contenido de humedad de los snacks de plátano de acuerdo con las condiciones operativas empleadas, en donde es más drástica la pérdida de humedad con altas temperaturas del aceite y fuerzas impulsoras mayores; esto se puede evidenciar también de acuerdo al análisis de los perfiles de temperatura en el centro de muestras de papa realizados por (23), las muestras recubiertas tardan mayor tiempo en ganar temperatura y en consecuencia exhiben una relación directa con las concentraciones de goma guar, por tanto se tiene

una disminución en la tasa de evaporación del agua superficial en las primeras etapas del proceso de fritura por inmersión.

En un estado posterior se da una intensa formación de burbujas de agua que es mayor en productos recubiertos estableciendo una reducción del coeficiente de transferencia de calor comparado con muestras sin recubrimiento, en esta fase hay daño celular y rompimiento del recubrimiento respectivo. Finalmente se da la formación de la costra que para este caso es más gruesa debida al uso del recubrimiento, que evita considerablemente el movimiento de las burbujas de vapor.

En la Figura 1 se observa que hay condiciones de proceso donde el producto presenta contenidos de humedad bajos (esperado para un producto tipo snack), estos valores se presentan en tiempos superiores a 210 segundos y  $\Delta T$  mayores a 62°C, obteniendo valores de humedad inferiores al 1,5 %, punto en donde se genera crocancia en productos tipo snack (24). Asimismo, en el Tabla 3 se observa que ambos factores ( $\Delta T$  y t) ejercen una relación inversa en la variable de respuesta,

de esta manera a medida que la fuerza impulsora y el tiempo de operación aumentan el contenido de agua en el snack disminuye, resultado también

reportado en fritura por inmersión según (8) en mango, (25) en taro, (19) en papa nativa (Botella roja) y (26) en papaya.

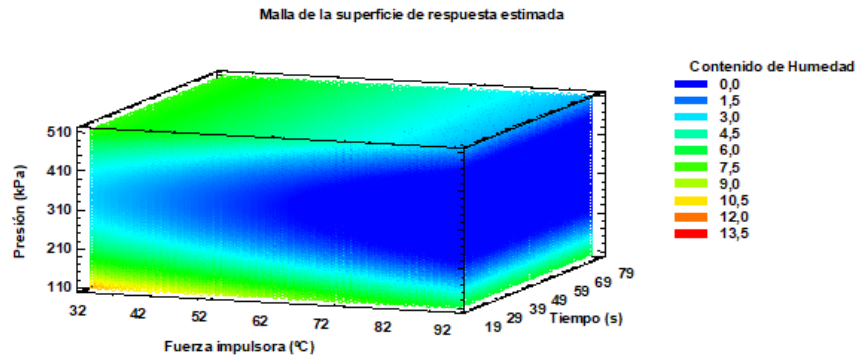


Figura 1. Volumen de respuesta para contenido de humedad. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en chips de plátano (16) encontraron que a tiempos superiores de 550 segundos,  $\Delta T$  entre 40 y 80°C, y a tiempos entre 200 y 500 segundos, se encuentra los contenidos de humedad más bajos (0,25%). Este mismo comportamiento se presentó en los snacks de plátano recubiertos con goma guar.

calor durante el proceso de fritura por inmersión, así como una menor formación de poros y capilares por tanto, menores contenidos de aceite en el snack.

Los resultados en términos de absorción de aceite en este trabajo están relacionados con los hallazgos de (27) en fritura de papa con goma guar, donde se concluye que la película formada modifica la superficie del producto reduciendo la permeabilidad y el coeficiente de transferencia de

En la figura 2 se observan condiciones de proceso donde el producto presenta contenidos de aceite de (20 – 27) % en base seca. En la Tabla 2 se aprecia que el contenido de aceite tiene una relación directa con  $\Delta T$  y el tiempo, de esta manera se tendría que al aumentar la fuerza impulsora y el tiempo de inmersión en el proceso de fritura de snacks de plátano, el contenido de aceite de estos aumenta.

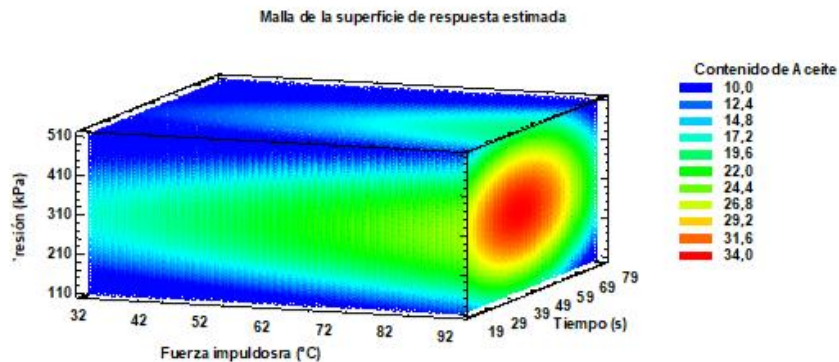


Figura 2. Volumen de respuesta para contenido de aceite. Fuente: Elaboración propia



El comportamiento de las variables de  $\Delta T$  y tiempo se encuentra asociado a la remoción de humedad de las muestras y la ganancia de aceite de las mismas, este comportamiento se ve favorecido por la ruptura de algunas partes del recubrimiento de goma guar difundándose a través de los agrietamientos de las muestras (28). Asimismo, el efecto de  $\Delta T$  en la ganancia de aceite se encuentra relacionado con el daño estructural del recubrimiento de goma guar durante el proceso de fritura por inmersión (29).

### 3.4 Microestructura

En la figura 3a se observa una red continua de gránulos de almidones separados y diferenciables entre sí. El rango de longitud de los gránulos varía entre (13,32 - 40,34) $\mu\text{m}$ , en su mayoría con formas ovaladas y alargadas característicos del plátano y similares a las reportadas por (30) quienes reportan que los gránulos de almidón del plátano son más alargados que redondeados.

Al realizar la inmersión de las muestras de plátano en la solución de recubrimiento, se observa en la figura 3b, como la película se adhiere a la superficie de la rodaja de plátano formando el recubrimiento, la distancia entre el recubrimiento y la superficie del plátano oscila entre (23 - 24)  $\mu\text{m}$ .

Se observa en la figura 3 que al comparar el espesor de la costra, en 3b ( $T_{\text{aceite}}$  de 107,86°C) y 3d ( $T_{\text{aceite}}$  de 158,86°C) a presión y tiempo constantes, el espesor aumenta a medida que lo hace la temperatura de aceite; lo que está directamente relacionado con el grado de avance de la gelatinización del almidón de plátano (31). El aumento de la temperatura del aceite se relaciona con la fuerza impulsora y la presión del sistema, lo que conlleva a una tendencia de daño de los gránulos de almidón. El aumento de la presión en el sistema igualmente afecta la morfología del granulo de almidón de plátano

observándose degradado como se puede apreciar en las figuras 3b y 3d; y 3c y 3d.

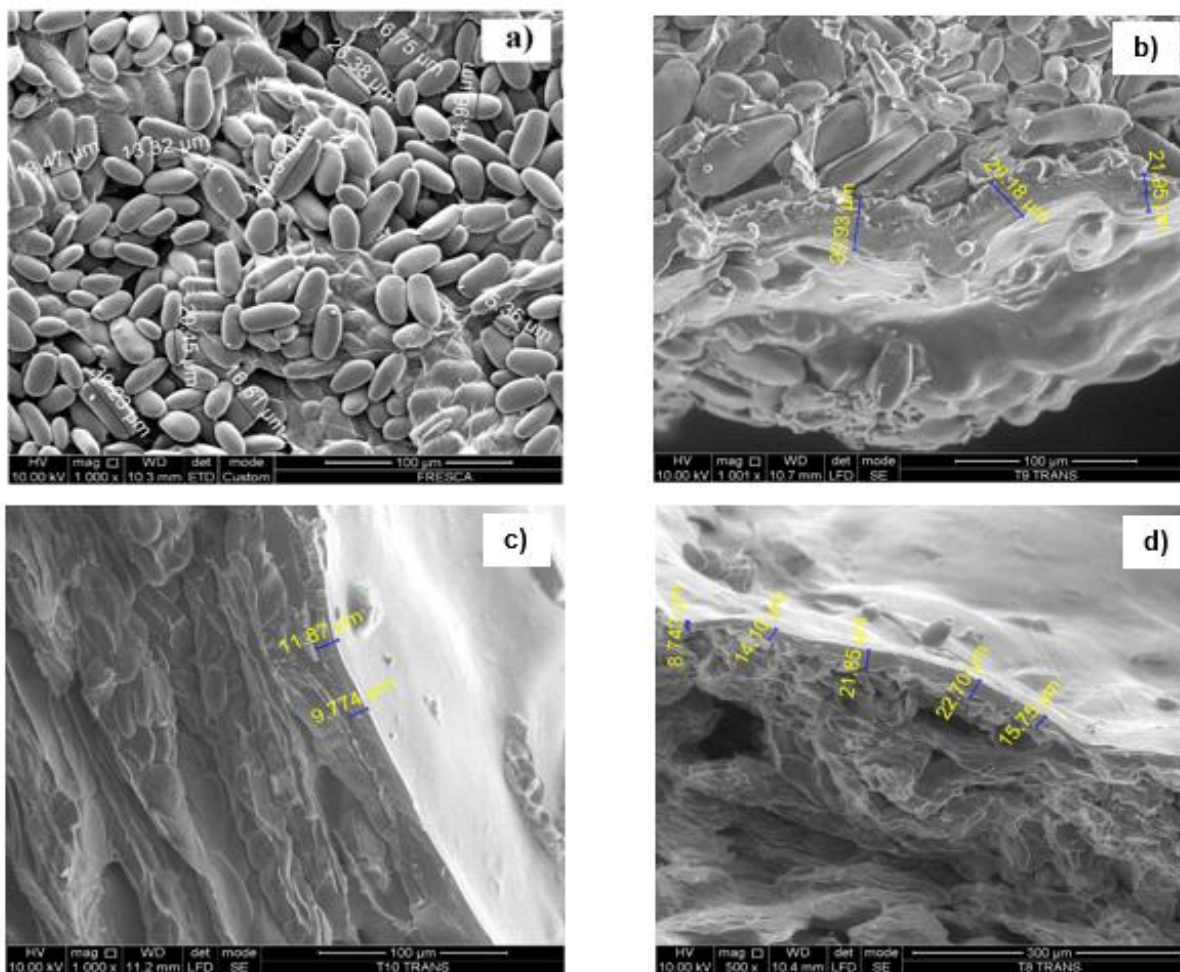
La goma guar también se ve afectada a condiciones operativas más fuertes, como se logra evidenciar en la figura 3c, que al compararla con las demás presenta una disminución en el espesor, tendiendo a fusionarse con los gránulos de almidón gelatinizados.

### 3.5 Optimización y validación de resultados

El proceso de optimización dio como resultado las siguientes condiciones operativas:  $\Delta T$  de 44,3°C, P de 72,9 kPa y t de 349 s y una aceptabilidad del 63%.

Se puede observar en la Tabla 4, que al comparar el valor óptimo que relaciona el contenido de humedad, es estadísticamente significativo respecto a los valores obtenidos para snacks recubierto con goma guar y al snack no recubierto, parámetro deseable para lograr atributos de textura característicos y sensorialmente similares a los reportados por (16), además el contenido de humedad fue mayor en snacks con recubrimiento, relacionado con la capacidad de retención de agua de la goma guar y el glicerol, comportamiento que se ha observado en estudios con metilcelulosa (32). Igual comportamiento presento el parámetro contenido de aceite, catalogando al snack recubierto con goma guar como un producto bajo en grasa, de acuerdo a la resolución 333 de 2011 de Colombia. Se evidencia que con el uso de recubrimientos de goma guar se logró una reducción en la absorción de aceite de un 60,73 % comparado con los snacks sin recubrimiento, esto se debe a las diferencias microestructurales entre un snack y otro (33).

En referente a la coordenada de color luminosidad ( $L^*$ ), se puede observar, en la Tabla 4, que existe significancia estadística entre el óptimo con los snacks recubiertos con goma guar



**Figura 3.** Micrografías de (a) Fresco sin recubrimiento (1000x) y (b), (c),(d) Snack de plátano recubierto con goma guar 1,4% p/v a  $\Delta T= 32^{\circ}\text{C}$ ,  $P= 46\text{ kPa}$  y  $t= 270\text{ s}$  (1001x),  $\Delta T= 83^{\circ}\text{C}$ ,  $P= 46\text{ kPa}$  y  $t= 270\text{ s}$  (1000x), y  $\Delta T= 73^{\circ}\text{C}$ ,  $P= 62\text{ kPa}$  y  $t= 360\text{ s}$ , (1000x). Fuente Elaboración propia:

y los snacks sin recubrimiento, comportamiento relacionado con el menor contenido de aceite y el débil pardeamiento no enzimático en productos recubiertos; resaltando un mayor valor de éste parámetro en snacks recubiertos con goma guar (34). Para las coordenadas de color  $a^*$  y  $b^*$ , los resultados mostrados en la Tabla 4, no exponen una significancia estadística (15).

### 3.6 Evaluación sensorial

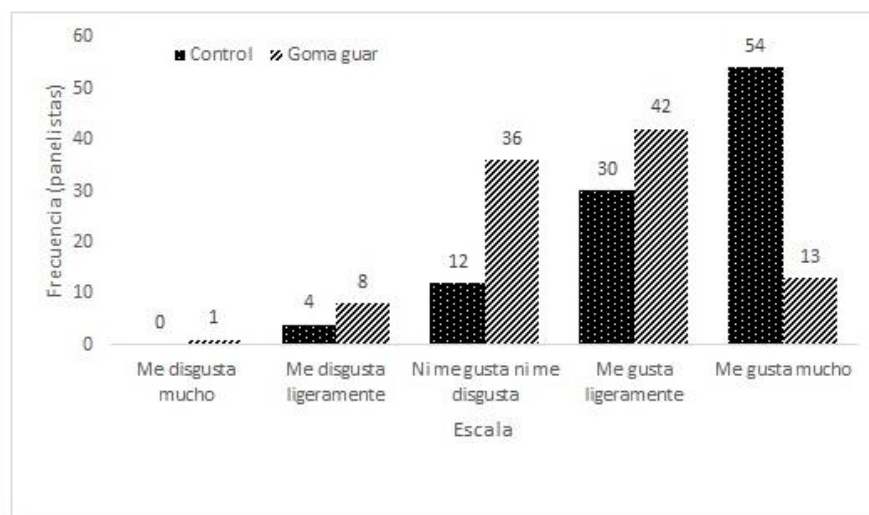
De acuerdo con los resultados de las pruebas de aceptabilidad de snacks de plátano recubierto con goma guar y snacks no recubiertos producido bajo

las condiciones óptimas y analizadas mediante el procedimiento estadístico de Kruskal-Wallis se concluye que las muestras son estadísticamente significativas. Asimismo, al observar la figura 4 se evidencia que los 100 panelistas calificaron las muestras correspondientes al snack recubierto con goma guar en la categoría de “me gusta” con un 55% de aceptación, por otro lado, los snacks sin recubrimiento obtuvieron un 84% de aceptación. Se genera una alternativa de explotación comercial de snacks de plátano recubierto con goma guar, evidenciando la posibilidad de abarcar un espacio en el mercado de los pasabocas fritos (35) (36).

**Tabla 4.** Comparación de parámetros de calidad entre el valor óptimo y valores experimentales de los snacks recubiertos con goma guar y no recubiertos

Parámetros de calidad de los snacks	Optimización estadística	Snack recubierto con goma guar	Snack sin recubrimiento
Contenido de Humedad	1,63	1,08 ± 0,20**	0,58 ± 0,04**
Contenido de Aceite	17,27	18,95 ± 0,57**	31,20 ± 0,74**
Coordenada de color L*	60,69	57,57 ± 1,92**	48,90 ± 1,38**
Coordenada de color a*	7,21	8,770 ± 0,96	8,190 ± 0,52
Coordenada de color b*	43,96	39,54 ± 1,50	39,61 ± 1,25

\*\*Valores con significancia estadística a 5%. Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.** Aceptabilidad sensorial para chips de plátano fritos al vacío con y sin recubrimiento. Fuente: Elaboración propia

#### 4. Conclusiones

Las condiciones del proceso de fritura por inmersión al vacío afectan de manera significativa la mayoría de los parámetros de calidad. Se logró optimizar las condiciones de operación ( $\Delta T$ : 43°C, P 73 kPa y t 341 s) y de esta manera se logró una reducción de contenido de aceite del 60,73 %, en comparación con el snack sin recubrimiento, catalogándolo como “pasabocas reducidos en grasa” de acuerdo a la resolución 333 de 2011 del ministerio de protección social; asimismo se visualiza una buena aceptación sensorial por parte de los panelistas.

#### 5. Declaración de financiación y/o agradecimientos

Agradecimiento al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del sistema general de regalías por el apoyo económico brindando para realizar la investigación, bajo en el marco del proyecto “Implementación de estrategias para el fortalecimiento tecnológico de la actividad agrícola y de transformación de plátano en el bajo occidente Caldense”, identificado con BPIN 2013000100128.

## 6. Referencias

- (1) FAO. Estadísticas en producción anual de plátano (FAOSTAT) FAOSTAT: FAO; 2019 [cited 2021 7 de Marzo]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- (2) Granados Pérez W, Noreña Triana ME. Indicadores e instrumentos Cadena de Plátano. In: Minagricultura GdC, editor. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura Nacional; 2018.
- (3) García Carvajal M, Zuluaga Arango P, Ocampo López OL, Duque Gómez D. Las exportaciones de plátano como una estrategia de desarrollo rural en Colombia. *Apuntes del CENES*. 2019;38(68):113-48.
- (4) Torres J, Alvis A, Gallo L, Acevedo D, Montero P, Castellanos F. Optimización del proceso de fritura por inmersión de la arepa con huevo utilizando metodología de superficie de respuesta. *Revista chilena de nutrición*. 2018;45(1):50-9.
- (5) De la Portilla Cazares EF. Diseño de un snack a base de granos de maíz negro/morado *Zea mays* L. y evaluación de sus propiedades funcionales. Ibarra, Ecuador: Universidad técnica del norte; 2018.
- (6) Uribe Restrepo JP, Gonzáles ID, Cárdenas Gamboa DI, Burbos G, Gutiérrez Alvarez AM, Casas C, Harold Mauricio. Las grasas trans en la alimentación - Capacitación equipos básicos de salud (APS). In: Salud Md, editor. Bogotá - Colombia: Ministerio de Salud; 2019.
- (7) Montano Pérez M. Consecuencias en la salud humana del uso de las tecnologías de producción de aceites vegetales refinados de semillas. *Revista cubana de investigaciones biomédicas* 2020;39(1):1-16
- (8) Acosta Castaño M, Chavez Salazar A, Castellanos Galeano F. Efecto de la fritura por inmersión al vacío en rodajas de mango "Tommy Atkins" deshidratadas osmóticamente. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 2020;18(1):14-24.
- (9) Gómez Galán G, Pérez González A. Determinación del perfil lipídico de chips, bastones y patacones fritos de plátano verde mediante el empleo de cromatografía de gases y espectrofotometría infrarrojo FTIR. Cuencia, Ecuador: Universidad del Azuay; 2018.
- (10) Quiroga Boulanger MY, Saavedra Meza EM, Silva Castillo RdR. Efecto del recubrimiento comestible utilizando carboximetilcelulosa (CMC) en el contenido de humedad, grasa y acetabilidad del camote (*ipomoea batatas*) sometido a fritura. Piura, Peru: Universidad Nacional de Piura; 2019.
- (11) Kurek M, Repajic M, Maric M, Scetar M, Trojic M, Levaj B, et al. The influence of edible coatings and natural antioxidants on fresh-cut potato quality, stability and oil uptake after deep fat frying *Journal of Food Science and Technology*. 2020.
- (12) Naghavi EA, Dehghannya J, Ghanbarzadeh B. 3D computational simulation for the prediction of coupled momentum, heat and mass transfer during deep-fat frying of potato strips coated with different concentrations of alginate. *Journal of food Engineering*. 2018; 64-78.
- (13) 64-78.
- (14) Dufour D, Giraldo A, Gilbert O, Sánchez T, Reynes M, González A, et al. Propiedades físico-químicas y funcionales de los bananos de postres, plátanos de cocción y FHIA híbridos: preferencia varietal de los consumidores en Colombia. *Acorbat*. 2008:1-33.



- (15) Dussán Sarria S, Gaona Acevedo AF, Hleap Zapata JI. Efecto del uso de antioxidantes en plátano verde Dominico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) cortado en rodajas. *Información tecnológica* 2017;28(4):3-10.
- (16) Solano Doblado LG, Alamilla Beltran L, Jiménez Martínez C. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 2018;21(2):30-42.
- (17) Chavez Salazar A, Castellanos Galeano F. Efecto de las variables de proceso en la obtención de plátano verde frito en condiciones de vacío *Vitae Revista de la facultad de Ciencias Farmaceuticas y Alimentarias* 2017;24(1):38-46.
- (18) Quiceno MC, Giraldo GA, Villamizar RH. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización *UGCiencia*. 2014;20:48-54.
- (19) Castellanos Galeano F, Martínez Pantoja D, Dussán Lubert C. Efecto de las condiciones de fritura en chips de plátano verde recubiertos con Goma Guar: Textura y color. *Congreso Cincia*. 2015.
- (20) Trejo Escobar DM, Cortés M, Mejía España DF. Influencia de proceso de fritura al vacío sobre la calidad de chips de papa nativa, variedad botella roja. *Información tecnológica*. 2019;30(5):67-80.
- (21) Segura Duque AL, Gómez Posas SM. FRITURA AL VACIO: Una alternativa para la disminución de acrilamida en la fritura de papas. *Caldas, Antioquia Corporación Universitaria Lasallista*; 2019.
- (22) Arriola Guevara E, Gudiño García DM, Prado Ramírez R, Mondragón Cortez PM, Corona González RI, Guatemala Morales GM. Estudio de los parámetros de freído sobre las propiedades fisicoquímicas de una botana hecha de harinas de maíz, chicharo y salvado de avena *Brazilian Journal of Food Technology*. 2020;23:1-12.
- (23) Pinto Buitrago V, Vargas Alzate D, Torres Valenzuela LS, Serna Jiménez JA, Sanín Villareal A. Efecto de la temperatura y tiempo de fritura sobre propiedades físicas de aros de cebolla. *UGCiencia*. 2017;22:1-6.
- (24) Mendoza Quispe A, Tapia Pandia E. Efecto de los hidrocoloides como cobertura en la absorción de aceite en el fritado de las papas andinas. *Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano*; 2018.
- (25) Hase SL, Linares A, Kachuk L, Pérez Navarro O, Miño Valdéz JE. Variación de agua y aceite en snacks de mandioca durante la fritura. *Revista de ciencia, tecnología e Innovación* 2020;2(2):59-71.
- (26) Chong M, Mazzitelli G, Quintero R. Efecto de los métodos de cocción por fritura en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de chips de taro (*Colocasia esculenta*). *Revista de investigación y desarrollo tecnológico*. 2018;15(1):30-7.
- (27) Nunes de Souza MS, Kunz VR, Prado PdM, da Silva Moraes CE, Castro Silva C. ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE CHIPS DE MAMÃO. In: *INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CETDB*, editor. XXI Encuentro nacional e VII congreso latino americano de analistas de alimentos; Florianapolis, Brasil 2019.
- (28) Kim DN, Lim J, Bae IY, Lee HG, Lee S. Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering*. 2011;102(4):317-20.
- (29) Ayustaningwarno F, Dekker M, Fogliano V, Verkerk R. Effect of vacuum frying on quality attributes of fruits. *Food Engineering Reviews* 2018;10:154-64.

- (30) Banegas RS, Zornio CF, Borges AdM, Porto LC, Soldi V. Preparation, characterization and properties of films obtained from cross-linked guar gum. *Polímeros*. 2013;23(2):182-8.
- (31) Vásquez Torres BT, Zapata Llontop TS. Influencia del tipo y dosificación de almidones naturales obtenidos de yuca blanca, plátano verde y papa amarilla, sobre el grado de turbidez en agua de riego de la empresa Agualima, mediante el proceso de coagulación - floculación. Trujillo, Perú: Escuela académico profesional de ingeniería de materiales; 2019.
- (32) Geimy I, Boluarte A, Cecilia P, Fernández D, Cisneros FH. Efecto del tipo de agente de pelado, tiempo de cocción y contenido de humedad en la calidad de snacks fritos de maíz blanco gigante (*Zea mays*) *Revista sociedad química de Perú*. 2018;84(1):157-71.
- (33) López Velasco DM, Sabogal Forero OJ. Gomas empleadas en la industria de alimentos. *Revista de investigaciones Carmenta*. 2018:46-8.
- (34) Silva FB, Martelli SM. Influência de coberturas comestíveis na absorção de óleo e formação de acrilamida em batata (*Solanum tuberosum*) frita. Dourados: Universidade de federal da grande dourados; 2019.
- (35) Tavera Quiroz MJ. Desarrollo de alimentos tipo snack de bajo contenido graso a partir de discos de manzana verde. La plata, Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata; 2015.
- (36) González X. Los snacks de plátano colombianos que conquistan el mercado en Estados Unidos In: *AGRONEGOCIOS*, editor.: AGRONEGOCIOS; 2017.
- (37) Jaramillo Mora. Enfoque competitivo. In: Cali CdCd, editor. Cali: Cámara de Comercio de Cali; 2018.