



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**ESTABILIDAD OXIDATIVA Y ACEPTACIÓN SENSORIAL DE UN
ALIMENTO TIPO BOTANA ELABORADO A BASE DE RODAJAS DE
BANANO (*MUSA AAA*) ADICIONADAS CON CURCUMINOIDES**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS**

PRESENTA

EMMANUEL FALCÓN LÓPEZ

DIRECTOR

DRA. ANGÉLICA ALEJANDRA OCHOA FLORES

CODIRECTOR

DR. JOSAFAT ALBERTO HERNÁNDEZ BECERRA

VILLAHERMOSA, TABASCO. MARZO DE 2022.



JEFATURA DE POSGRADO

Villahermosa, Tabasco a 14 de marzo de 2022

Of. No. 082/JP/2022

Asunto: Autorización de impresión de Tesis

C. EMMANUEL FALCÓN LÓPEZ

EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

PRESENTE

Por medio de la presente y de acuerdo con su solicitud de autorización de impresión de su trabajo bajo la modalidad de tesis, le informo que sobre la base del Artículo 77 del reglamento de estudios de Posgrado vigente 2022 de esta Universidad, y atendiendo a las indicaciones de su Comité Sinodal, esta Dirección a mi cargo, le autoriza la impresión de su tesis titulada: "Estabilidad Oxidativa y Aceptación Sensorial de un Alimento Tipo Botana Elaborado a Base de Rodajas de Banano (MUSA AAA) Adicionadas con Curcuminoides".

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un afectuoso saludo.

ATENTAMENTE

MVZ. JORGE ALFREDO THOMAS TELLEZ
DIRECTOR

U.J.A.T.



DIVISIÓN ACADÉMICA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS
DIRECCIÓN

CARTA DE CEDE DE DERECHOS

El que suscribe, Emmanuel Falcón López del programa de estudios de posgrado de la Maestría en Ciencias Agroalimentarias, con número de matrícula 192C26006, adscrito a la División Académica de Ciencias Agropecuarias, manifiesto ser autor intelectual y titular de los Derechos de Autor del presente Trabajo de Tesis denominada “ESTABILIDAD OXIDATIVA Y ACEPTACIÓN SENSORIAL DE UN PRODUCTO TIPO BOTANA ELABORADO A BASE DE RODAJAS DE BANANO (*MUSA* AAA) ADICIONADAS CON CURCUMINOIDES”, y autorizo a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice el presente trabajo con fines Académicos y de Investigación ya sea de forma física o digital para su difusión y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la Tesis mencionado y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; a los veinte días del mes de Marzo del año 2022.

ATENTAMENTE



Emmanuel Falcón López

Matrícula: 192C26006

RECONOCIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado durante los estudios de Maestría en Ciencias Agroalimentarias. De igual forma, a la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB) por haber permitido realizar las actividades relacionadas al proyecto de investigación y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por ser la institución formadora del posgrado.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Angélica Alejandra Ochoa Flores y al Dr. Josafat Alberto Hernández Becerra, directora y codirector de tesis, por su paciencia, orientación, dedicación y guía durante el periodo en el que se desarrolló este proyecto.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice de Tablas.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
1 Introducción.....	1
2 Planteamiento del problema.....	4
3 Justificación.....	5
4 Objetivos.....	6
4.1 Objetivo general.....	6
4.1.1 Objetivos específicos.....	6
5 Hipótesis.....	6
6 Revisión de Literatura.....	7
6.1 Alimentos y salud.....	7
6.2 Los alimentos funcionales.....	7
6.2.1 Compuestos bioactivos como ingredientes en alimentos funcionales.....	8
6.3 Cúrcuma.....	8
6.3.1 Curcuminoides.....	9
6.4 Oxidación lipídica: un problema de la industria alimentaria.....	10
6.4.1 Antioxidantes sintéticos en la industria alimentaria.....	10
6.4.2 Estabilidad oxidativa y curcuminoides.....	11
6.5 Musa Spp. L.....	12
6.5.1 Importancia Nacional del Banano.....	13
6.5.2 Importancia del Banano en Tabasco.....	14
7 Materiales y métodos.....	15
7.1 Determinación de las condiciones de proceso para la obtención de extractos oleosos ricos en curcuminoides.....	15
7.1.1 Extracción de compuestos bioactivos a partir de polvo de cúrcuma.....	15
7.1.2 Cuantificación de curcuminoides en los extractos.....	16
7.1.3 Determinación del rendimiento de extracción.....	16
7.2 Estudio de la incorporación de curcuminoides en rodajas de banano sometidas a freído.....	17
7.2.1 Evaluación del empleo de ácido ascórbico y cítrico sobre la inhibición del pardeamiento en rodajas de banano durante la deshidratación.....	17
7.2.2 Análisis del cambio de color en rodajas de banano fritas previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma.....	18
7.2.3 Captura de las imágenes digitales para el análisis de las coordenadas de color.....	20
7.2.4 Análisis de la incorporación de curcuminoides en rodajas de banano sometidas a freído.....	21

7.3	Análisis de la estabilidad oxidativa de los lípidos presentes en rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído.....	22
7.3.1	Análisis de Substancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS).....	23
7.4	Evaluación del efecto de la incorporación de curcuminoides sobre la aceptación sensorial de rodajas de plátano sometidas a freído.....	23
7.5	Diseño experimental y Análisis estadísticos.....	25
8	Resultados y Discusión.....	28
8.1	Obtención de extractos oleosos ricos en curcuminoides a partir del rizoma de Cúrcuma por procesos de extracción con solventes asistida por ultrasonificación	28
8.1.1	Efecto de la relación polvo:solvente, temperatura y tiempo en la extracción de curcuminoides con etanol.....	30
8.2	Estudio de la incorporación de los curcuminoides a las rodajas de banano sometidas a freído.....	32
8.2.1	Pretratamiento y deshidratación de las rodajas de banano.....	32
8.2.1.1	Análisis de color CIELAB en el Centro de las rodajas pretratadas y deshidratadas.....	33
8.2.1.2	Análisis de color CIELAB en la Cruz de las rodajas pretratadas y deshidratadas.....	35
8.2.1.3	Análisis de color CIELAB en el Contorno de las rodajas pretratadas y deshidratadas.....	37
8.2.2	Estimación del parámetro Delta (D) en las rodajas deshidratadas, previa inmersión en las soluciones de ácido cítrico y/o ácido ascórbico.....	39
8.2.3	Incorporación de curcuminoides a las rodajas de banano pretratadas y deshidratadas, sometidas a freído.....	43
8.2.3.1	Análisis del color en rodajas de banano fritas previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma.....	44
8.2.3.2	Estimación del parámetro Delta (D) en las rodajas pretratadas, deshidratadas e inmersas en los extractos etanólicos de curcuminoides.....	51
8.2.3.3	Contenido de curcuminoides en rodajas de banano frito previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma	55
8.3	Estabilidad oxidativa de los lípidos en las rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído.....	57
8.4	Atributos sensoriales de las rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído.....	59
9	Conclusiones.....	63
10	Literatura Citada.....	64
Anexos	73

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Producción de banano en los municipios del Estado de Tabasco.....	14
Tabla 2 Atributos y escala hedónica empleada en la evaluación de rodajas de banano fritas.....	24
Tabla 3 Análisis de varianza a los factores relación polvo-solvente, temperatura, tiempo de extracción y tipo de solvente sobre el contenido de curcuminoides en los extractos de cúrcuma obtenido por ultrasonicación.....	28
Tabla 4 Análisis de Varianza de los factores relación polvo:solvente, temperatura y tiempo de extracción, sobre el contenido de curcuminoides en los extractos de cúrcuma obtenidos con etanol por ultrasonicación.....	31
Tabla 5 Efecto de la temperatura y el tiempo de sonido sobre la concentración media de curcuminoides en los extractos obtenidos con etanol.....	32
Tabla 6 Análisis de Varianza de los factores, tipo de ácido empleado, concentración del ácido y tiempo de inmersión, en el color del Centro de las rodajas de banano deshidratadas.....	33
Tabla 7 Análisis de Varianza de los factores, tipo de ácido empleado, concentración del ácido y tiempo de inmersión, en el color de la Cruz en las rodajas de banano deshidratadas.....	35
Tabla 8 Análisis de varianza de los factores, tipo de ácido empleado, concentración del ácido y tiempo de inmersión, en el color del contorno en las rodajas de banano deshidratadas.....	37
Tabla 9 Valores de Delta para el contorno, cruz y centro de rodajas de banano sometidas a inmersión en ácido cítrico (0, 100, 200 y 300 mg/00mL) y ácido ascórbico (0, 100, 200 y 300 mg/00mL) a diferentes tiempos (0, 5, 10, 20, 30 min).....	40
Tabla 10 Análisis de Varianza de los factores concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y ubicación de la lectura, en el color de las rodajas de banano sometidas al freído.....	44
Tabla 11 Valores de Delta de las rodajas de banano fritas sometidas previamente a inmersión en extractos etanólicos de curcuminoides (1, 3 y 5 mg/mL).....	52
Tabla 12 Análisis de Varianza de los factores concentración de curcuminoides en los extractos y tiempo de inmersión, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas previamente tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma.....	56
Tabla 13 Contenido de curcuminoides ($\mu\text{g/g}$) en rodajas de banano frito previa inmersión en los diferentes extractos etanólicos de Cúrcuma longa.....	56
Tabla 14 Substancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mmol MDA/g) en rodajas de banano fritas, almacenadas a 40 °C.....	57
Tabla 15 Análisis de la varianza de los atributos sensoriales de las rodajas de banano fritas, adicionadas con curcuminoides.....	59

Índice de Figuras

		Pág.
Figura 1	Condiciones para la captura de las imágenes digitales.....	20
Figura 2	Identificación de las distintas regiones en rodajas de banano para el análisis digital del color.....	21
Figura 3	Rodajas de banano fritas, empaquetadas en bolsas de polipropileno, provenientes de los diferentes tratamientos de inmersión.....	22
Figura 4	La hoja de evaluación sensorial afectiva para cuatro muestras de frituras de banano cavendish.	25
Figura 5	Concentración media de curcuminoides en los extractos obtenidos con cada uno de los solventes empleados.....	29
Figura 6	Efecto del Tipo de solvente y de la Relación polvo:solvente, sobre la concentración media de curcuminoides en los extractos obtenidos por ultrasonificación.....	30
Figura 7	Diferentes zonas de color en las rodajas deshidratadas (contorno, centro y cruz) y graficas de superficie (surface plot xyz) obtenidas de cada punto (dot) sobre la ubicación de la lectura. Fuente: inspector color 3d (extensión de imagej).....	33
Figura 8	Coordenada L* en el centro de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	34
Figura 9	Coordenada a* en el centro de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	34
Figura 10	Coordenada b* en el centro de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	35
Figura 11	Coordenada L* en la cruz de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	36
Figura 12	Coordenada a* en la cruz de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	36
Figura 13	Coordenada b* en la cruz de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	37
Figura 14	Coordenada L* en el contorno de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	38
Figura 15	Coordenada a* en el contorno de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	38
Figura 16	Coordenada b* en el contorno de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico.....	39

Figura 17	Efecto de la concentración de ácido cítrico (1mg/100ml de solución), ácido ascórbico (mg/100ml de solución) y tiempo de inmersión (minutos), sobre los valores de delta de la zona centro de las rodajas de banano sometidas a inmersión...	41
Figura 18	Efecto de la concentración de ácido cítrico (mg/100ml de solución), ácido ascórbico (mg/00ml de solución) y tiempo de inmersión (minutos), sobre los valores de delta de la cruz en las rodajas de banano sometidas a inmersión.....	42
Figura 19	Efecto de la concentración de ácido cítrico (mg/100ml de solución), ácido ascórbico (mg/100ml de solución) y tiempo de inmersión (minutos), sobre los valores de delta del contorno de las rodajas de banano sometidas a inmersión.....	43
Figura 20	Análisis de la coordenada l* en el contorno en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.	45
Figura 21	Análisis de la coordenada a* en el contorno en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.	46
Figura 22	Análisis de la coordenada b* en el contorno en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.....	46
Figura 23	Análisis de la coordenada l* en el centro en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión... ..	47
Figura 24	Análisis de la coordenada a* en el centro en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.....	48
Figura 25	Análisis de la coordenada b* en el centro en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.	49
Figura 26	Análisis de la coordenada l* en la cruz en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.	50
Figura 27	Análisis de la coordenada a* en la cruz en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.	50
Figura 28	Análisis de la coordenada b* en la cruz en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión.	51
Figura 29	Efecto de la concentración de los extractos etanólicos con curcuminoides (1, 3 y 5 mg/ml) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 min), sobre los valores de delta de la zona centro de las rodajas de banano sometidas a inmersión.....	53
Figura 30	Efecto de la concentración de los extractos etanólicos con curcuminoides (1, 3 y 5 mg/ml) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 min), sobre los valores de delta de la zona cruz de las rodajas de banano sometidas a inmersión.....	54
Figura 31	Efecto de la concentración de los extractos etanólicos con curcuminoides (1, 3 y 5 mg/ml) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 min), sobre los valores de delta de la zona contorno de las rodajas de banano sometidas a inmersión.....	54

Figura 32 Nivel de agrado para el atributo sensorial de color en las rodajas de banano fritas, adicionadas con curcuminoides 60

Figura 33 Nivel de agrado para el atributo sensorial crujiente en las rodajas de banano fritas, adicionadas con curcuminoides. 61

Figura 34 Nivel de agrado para la aceptación general de las rodajas de banano fritas, adicionadas con curcuminoides. 62

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Resumen

Los alimentos funcionales son un t3pico de investigaci3n emergente, relacionado con el desarrollo de alimentos innovadores que incluyan beneficios adicionales a la salud, con caracter3sticas sensoriales aceptables. Sin embargo, un problema en el desarrollo e innovaci3n de alimentos es el f3cil acceso a las materias primas. En este sentido, el banano (*Musa AAA Cavendish*) es uno de los productos agroalimentarios m3s abundantes, de f3cil acceso, e importancia para la econom3a del estado de Tabasco; por lo que su aprovechamiento en el desarrollo de nuevos productos, con la incorporaci3n de compuestos biol3gicamente activos, representa una posibilidad de diversificaci3n en su comercializaci3n. Por su parte, los curcuminoides son un grupo de compuestos presentes en la c3rcuma (*Curcuma longa L.*) que poseen diversas actividades biol3gicas, como una potente actividad antioxidante, adem3s de propiedades antiinflamatorias, antitumorales y anticarcinog3nicas. Por lo anterior, el objetivo del trabajo consisti3 en evaluar la estabilidad oxidativa y aceptaci3n sensorial de un producto tipo botana elaborado a base de rodajas de banano adicionadas con curcuminoides. Las rodajas de banano previamente acondicionadas fueron sumergidas en extractos etan3licos de c3rcuma con 1, 3 y 5 mg de curcuminoides por mL; por 1, 3, 5, 7 y 9 minutos de inmersi3n; escurridas y fritas en aceite de canola, se determin3 su contenido de curcuminoides por espectrofotometr3a UV-Visible, previa extracci3n con etanol asistida por ultrasonificaci3n; su color, en coordenadas L*, a* y b* del sistema CIELab; la estabilidad oxidativa de los l3pidos, en las rodajas empacadas en bolsas de polipropileno y almacenadas a 40 °C, por el an3lisis de sustancias reactivas al 3cido tiobarbit3rico (TBARS); as3 como la aceptaci3n sensorial del producto, por una prueba afectiva con una escala hed3nica estructurada de 9 puntos. Los resultados indicaron un incremento significativo del contenido de curcuminoides a lo largo del tiempo de inmersi3n para el producto tratado con el extracto de 1 mg/mL; mientras que para los productos tratados con 3 y 5 mg/mL, no hubo cambios significativos en el contenido de curcuminoides despu3s del primer minuto de inmersi3n. El contenido de curcuminoides en las rodajas se increment3 al aumentar su concentraci3n en los extractos, alcanzando una concentraci3n m3xima de 310.22 mg/g en el producto tratado con el extracto de 5 mg/mL. En relaci3n con el color, los valores de L* y a* disminuyeron en las rodajas, mientras que los valores de b* se incrementaron, a medida que se increment3 la concentraci3n de curcuminoides en los extractos; esto indica una disminuci3n en la luminosidad de las rodajas y un color m3s amarillo. La estabilidad oxidativa de los l3pidos en las rodajas se increment3 significativamente en el producto tratado con el extracto de 1 mg/mL, no as3 para los tratamientos con 3 y 5 mg de curcuminoides por mL. La evaluaci3n sensorial indic3, para el color, un nivel de agrado significativamente mayor en las rodajas tratadas con los extractos etan3licos de curcuminoides, en comparaci3n con el tratamiento testigo; obteni3ndose un producto tipo botana, adicionado con curcuminoides, cuya aceptaci3n general se encontr3 entre los niveles de agrado de me gusta moderadamente y me gusta mucho.

Abstract

Functional foods are an emerging research topic related to the development of innovative foods that include additional health benefits with acceptable sensory characteristics. However, a problem in food development and innovation is the easy access to raw materials. In this sense, banana (*Musa AAA Cavendish*) is one of the most abundant, easily accessible and important agri-food products for the economy of the state of Tabasco; therefore, its use in the development of new products, with the incorporation of biologically active compounds, represents a possibility of diversification in its commercialization. Curcuminoids are a group of compounds present in turmeric (*Curcuma longa* L.) that possess diverse biological activities, such as potent antioxidant activity, as well as anti-inflammatory, antitumor and anticarcinogenic properties. Therefore, the objective of this study was to evaluate the oxidative stability and sensory acceptance of a snack-type product made from banana slices added with curcuminoids. Previously conditioned banana slices were immersed in ethanolic extracts of turmeric with 1, 3 and 5 mg of curcuminoids per mL; for 1, 3, 5, 7 and 9 minutes of immersion; drained and fried in canola oil, their curcuminoid content was determined by UV-Visible spectrophotometry, after extraction with ethanol assisted by ultrasonication; their color, in L* a* and b* coordinates of the CIELab system; the oxidative stability of the lipids in the slices packed in polypropylene bags and stored at 40 °C, by thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) analysis; as well as the sensory acceptance of the product, by an affective test with a 9-point hedonic structured scale. The results indicated a significant increase in curcuminoid content over the immersion time for the product treated with the 1 mg/mL extract; while for the products treated with 3 and 5 mg/mL, there was no significant change in curcuminoid content after the first minute of immersion. The curcuminoid content in the slices increased with increasing concentration in the extracts, reaching a maximum concentration of 310.22 mg/g in the product treated with the 5 mg/mL extract. In relation to color, L* and a* values decreased in the slices, while b* values increased, as the concentration of curcuminoids in the extracts increased; this indicates a decrease in the brightness of the slices and a more yellow color. The oxidative stability of lipids in the slices was significantly increased in the product treated with the 1 mg/mL extract, but not for the treatments with 3 and 5 mg of curcuminoids per mL. The sensory evaluation indicated, for color, a significantly higher level of liking in the slices treated with the ethanolic extracts of curcuminoids, in comparison with the control treatment; obtaining a snack-type product, added with curcuminoids, whose general acceptance was between the liking levels of I like moderately and I like very much.

1 Introducción

En la actualidad, la sociedad se enfrenta a un conjunto de enfermedades ocasionadas por la mala alimentación, la desnutrición, el sedentarismo y el estrés; producto del estilo de vida que surge con la industrialización, la urbanización, el desarrollo económico y la globalización (Vázquez-Morales *et al.*, 2019). Durante los últimos 20 años los hábitos alimenticios han variado; hoy en día, se busca no sólo cubrir las necesidades nutricionales y evitar alimentos perjudiciales, sino consumir, aquellos que influyen de manera positiva en la salud y ayudan a prevenir enfermedades (Blázquez-Abellán *et al.*, 2015; Arizaga *et al.*, 2018; Vera-Guerrero *et al.*, 2019).

La creciente demanda de alimentos funcionales tiene un impacto en los sectores alimentario, de la salud y regulatorio. Es por este motivo que es uno de los temas de investigación emergente en la ciencias y tecnología alimentarias. Además, está relacionado con el desarrollo de alimentos innovadores que incluyan beneficios adicionales a la salud, con características sensoriales aceptables, a un costo razonable (Sarmiento-Rubiano, 2016; Prakash *et al.*, 2017).

Sin embargo, existen distintos problemas en el desarrollo e innovación alimentaria entre los que destacan los relacionados con el fácil acceso y costo de materias primas (Kumar *et al.*, 2020); la identificación de nuevos ingredientes con posibles beneficios a la salud (Maqsood *et al.*, 2019); el desarrollo de nuevos métodos de extracción e incorporación de compuestos bioactivos (Varzakas *et al.*, 2016); así como la conservación de sus beneficios en el producto por un tiempo prolongado (Gill *et al.*, 2020).

Por otro lado, tenemos que Tabasco es un Estado rico en recursos agroalimentarios de fácil acceso, útiles para el desarrollo de alimentos con características funcionales (Blasco-López *et al.*, 2014; SADER, 2018). Siendo el banano (*Musa AAA Cavendish*), regionalmente conocido como plátano Tabasco o guineo; uno de los productos agroalimentarios más abundantes e importantes para la economía del Estado, de ahí que forme parte esencial en la

dieta de sus habitantes (CEDRSSA, 2019). No obstante, el banano es una de las frutas que presenta las mayores pérdidas por descomposición, después de la cosecha, ya que es extremadamente perecedero y no permite el uso de la congelación para su conservación (Thakur *et al.*, 2019). Por tales motivos, la producción de banano en el Estado afronta importantes pérdidas postcosecha. Además, la exigencia en el control de calidad de los mercados internacionales (Brat *et al.*, 2019), asociado a problemas técnicos y fenómenos naturales, han ocasiona pérdidas de hasta el 35 % del volumen anual de la producción en los últimos años (Vásquez-Castillo *et al.*, 2019). Esto hace necesaria la búsqueda de nuevas estrategias para disminuir las pérdidas en este sector productivo (COPLADET, 2018). Por tales motivos, el aprovechamiento del banano como base para el desarrollo de nuevos productos con la incorporación de compuestos biológicamente activos, podría representar una posibilidad en la reducción de los desechos agroalimentarios.

Entre los compuestos bioactivos más relevantes, se encuentran los curcuminoides, una familia de moléculas que se caracterizan por ser antioxidantes, antiinflamatorias, antitumorales y anticancerígenas, propiedades por las que se han utilizado en el tratamiento de diversas enfermedades, entre ellas el cáncer (Ghosh *et al.*, 2015). Estas sustancias, además de sus beneficios a la salud, proporcionan un color amarillo que puede ser aprovechado en las rodajas de banano, para obtener el color característico de los productos comerciales a base de *Musa spp.*, como es el caso de las botanas fritas elaboradas con platano macho.

Los curcuminoides se obtienen de la especie vegetal *Cúrcuma longa L*, planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las Zingiberáceas y que es cultivada en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Xu *et al.*, 2015). Por lo que es factible su cultivo en el Estado de Tabasco.

Se han realizado algunos estudios que demuestran la eficiente capacidad antioxidante y antimicrobiana de la cúrcuma, en comparación con otras especies vegetales, como el clavo, la hoja de betel, o la hoja de limón (Lean y Mohamed, 1999), el orégano, la canela y el tomillo (İnanç-Horuz y Maskan, 2015). Otros estudios han manifestado el mayor poder antioxidante de la curcumina, en comparación con los antioxidantes sintéticos BHT (Butilhidroxitolueno),

BHA (Butilhidroxianisol) y TBHQ (terbutilhidroquinona), eficaz en la prevención del deterioro de grasas y aceites en productos alimentarios (Tuba y Ilhami, 2008; Mohd-Nor, *et al.*, 2008). Además, se ha reportado el uso de curcumina en alimentos como el tofu (Young-Hee *et al.*, 2007), alimentos elaborados a base de arroz (Seung y Jung-Ah, 2015), dulces (Sun-Hee, 2013), arroz cocido (Yong-Suk *et al.*, 2007) y leche (Kyong-Im *et al.*, 2014).

A pesar de que en los últimos años la curcumina ha sido uno de los compuestos bioactivos más estudiados y utilizado en el desarrollo de nuevos alimentos, no existen estudios publicados relacionados con el uso de curcumina y el desarrollo de alimentos elaborados a base de banano Cavendish. Además, es necesario proponer nuevas alternativas de procesamiento del banano, como es la elaboración de botanas que aporten un beneficio a la salud y que al mismo tiempo sean una forma de aprovechamiento y comercialización de este producto agroalimentario.

Por lo anterior, el propósito de este trabajo de investigación fue evaluar la estabilidad oxidativa y aceptación sensorial de un producto tipo botana elaborado a base de rodajas de banano adicionadas con curcuminoides, como una nueva línea de investigación en el desarrollo de alimentos potencialmente funcionales, a partir de recursos agroalimentarios de la región.

2 Planteamiento del problema

En Tabasco, se producen 608, 212 toneladas de Banano Cavendish al año, siendo la segunda entidad federativa con mayor producción de dicho fruto (SIAP 2018). La producción de Banano Cavendish actualmente constituye parte fundamental de la economía Tabasqueña, ya que las condiciones agroclimáticas del estado permiten que el fruto crezca en abundancia y con relativa facilidad (CEDRSSA, 2019).

Las exigencias del mercado internacional, con respecto a los estándares de calidad del Banano Cavendish para su exportación, aunado a la sobreproducción en el estado de Tabasco, generan pérdidas significativas (Brat *et al.*, 2019) que ascienden aproximadamente al 35 % del volumen de producción anual (Vázquez-Castillo *et al.*, 2019); esto hace necesaria la búsqueda de estrategias para el aprovechamiento del fruto y en consecuencia, la disminución de las pérdidas en este sector productivo (COPLADET, 2018).

El manejo actual del Banano Cavendish que no reúne las características de exportación, gira en torno a su comercialización en el mercado nacional, además es utilizado en la elaboración de alimentos como yogures, licuados, postres y helados; con el fin minimizar las pérdidas económicas; se han desarrollado también productos alimentarios a nivel industrial como harinas (Soto-Azurduy, 2010), panes y mermeladas (Maldonado-Nicolalde, 2014), pastas (Chaparro-Acuña, 2017), confituras (González-Leiva, 2001), botanas y frituras, siendo estas últimas, las que gozan de mayor consumo debido a sus variedades.

Sin embargo, los alimentos con alto contenido graso se enfrentan al fenómeno de la oxidación lipídica o rancidez durante su almacenamiento, mismo que ocasiona una pérdida significativa de su calidad y la disminución de su valor nutricional (Wu *et al.*, 2020; Leann y Decker, 2013; FAO, 2009). Por este motivo se opta por la incorporación de aditivos como el TBHQ, BHA y BHT. Sin embargo, la preferencia de la población por alimentos saludables ha obligado a la inclusión de antioxidantes naturales en los productos, para evitar los riesgos por el uso de antioxidantes sintéticos (Shahidi *et al.*, 2012), causantes de gran desconfianza entre los consumidores.

3 Justificación

La rancidez u oxidación de los lípidos es el principal problema que afrontan los alimentos sometidos al freído. Para prevenir el deterioro oxidativo en los alimentos, comúnmente se utilizan aditivos alimentarios sintéticos con propiedades antioxidantes como el TBHQ, BHA y BHT (Seung-Taik y Jung-Ah, 2015). Sin embargo, se ha comprobado que estos antioxidantes sintéticos tienen efectos negativos sobre la salud (Ibáñez *et al.*, 2003).

El desarrollar un alimento tipo botana a base de Banano Cavendish, adicionado con extractos oleosos provenientes de la cúrcuma (*Curcuma longa*), pretende mejorar la calidad del producto sometido a freído y poner a disposición del consumidor sustancias bioactivas que mitigan algunos de los problemas de salud pública a los que se enfrentan más del 70 % de los mexicanos (Octavio-Gómez *et al.*, 2018).

La cúrcuma (*Curcuma longa*) es un producto de origen natural cuyo consumo de hasta 12 g por día, por periodos de tiempo prolongados, ha demostrado no causar toxicidad; además es considerada como un aditivo seguro para el consumo humano por la FDA (Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos de Norte América) y un antioxidante de uso industrial (Hewlings y Kalman, 2017).

Los efectos positivos del consumo de curcumina en pacientes con enfermedades crónicas han sido demostrados y se han realizado estudios que comprueban que este compuesto tiene un efecto positivo en las personas con buena salud, disminuyendo la probabilidad de desarrollar enfermedades, participando en un sin número de procesos metabólicos; mejorando la calidad de vida de los individuos que la consumen. Además, se ha sugerido el consumo de la curcumina en sustitución de los antiinflamatorios no esteroideos, medicamentos causantes de efectos secundarios en los pacientes que lo consumen con frecuencia (Hewlings & Kalman, 2017).

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la estabilidad oxidativa y aceptación sensorial de un producto tipo botana elaborado a base de rodajas de banano adicionadas con curcuminoides.

4.1.1 Objetivos específicos

- Obtener extractos oleosos ricos en curcuminoides a partir del rizoma de *Curcuma longa L.* por procesos de extracción con solventes asistida por ultrasonicación.
- Evaluar diferentes estrategias de adición de los extractos oleosos ricos en curcuminoides que permitan su mayor incorporación y estabilidad en las rodajas de banano sometidas a freído.
- Medir la estabilidad oxidativa de los lípidos presentes en las rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído.
- Evaluar el efecto de la incorporación de curcuminoides sobre la aceptación sensorial de las rodajas de banano sometidas a freído.

5 Hipótesis

La incorporación de curcuminoides a rodajas de banano sometidas a freído mejora la estabilidad oxidativa de los lípidos incrementa su vida útil y aceptación sensorial

6 Revisión de Literatura

6.1 Alimentos y salud

La interacción de factores económicos, ambientales, poblacionales y socioculturales ha provocado cambios en las prácticas alimentarias y en consecuencia han aumentado los daños a la salud en la población. Un ejemplo de ello son las enfermedades crónicas como la diabetes, hipertensión, gastritis, cardiopatías, anemia, dislipidemia y cáncer, entre otras enfermedades que han sido asociadas a la malnutrición (Pérez-Muñoz *et al.*, 2019). Con el objetivo de prevenir deficiencias en la alimentación y promover un crecimiento adecuado en la población, se han establecido los valores de referencia nutricionales, las pautas dietéticas y las guías alimentarias (Azmin *et al.*, 2013).

En la actualidad, se conocen los beneficios a la salud que tienen la ingesta de frutas, verduras y granos; también se sabe que muchos de estos alimentos, además de proporcionar componentes nutritivos para el cuerpo, aportan muchos compuestos biológicamente activos, no nutritivos, pero que ejercen funciones importantes relacionadas con la prevención de algunas enfermedades (Pankaj *et al.*, 2020). En los últimos 20 años, la creciente conciencia, en los consumidores, sobre la importancia de la dieta en el estado de salud ha aumentado la oferta de alimentos saludables. Esta tendencia, ha promovido el desarrollo de alimentos que ayuden a prevenir enfermedades como son los innovadores alimentos funcionales.

6.2 Los alimentos funcionales

Los primeros registros históricos que hacen referencia a los alimentos con un impacto positivo en la salud provienen de la cultura griega y china. Hace más de 2500 años A.C. Hipócrates decía “Que tu alimento sea tu medicina y tu medicina sea tu alimento”, haciendo referencia a la importancia de la alimentación en la salud (Valenzuela *et al.*, 2014). Sin embargo, fue hasta 1991 cuando el ministerio de salud y bienestar de Japón publicó el reglamento de “alimentos para usos específicos de salud” (Food for Specified Health Uses o FoSHU), el cual tiene como objetivo identificar, clasificar y regular los productos con impacto en la salud del consumidor (Shimizu, 2014).

Desde entonces el término “alimentos funcionales” es mundialmente aceptado como aquellos que contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos fisiológicos positivos, más allá de sus propiedades nutrimentales, en una o varias funciones del organismo, teniendo como resultado la protección contra una enfermedad crónica o infecciosa (Alvídrez-Morales *et al.*, 2002).

6.2.1 Compuestos bioactivos como ingredientes en alimentos funcionales

Los compuestos biológicamente activos son sustancias presentes en alimentos, animales o plantas y tienen un efecto en el cuerpo que lo consume (Sibele-Santos *et al.*, 2019), a menudo son denominados ingredientes funcionales, los cuales son extraídos de alimentos, como frutas, cereales, verduras y residuos de procesamiento de alimentos, que conservan sus características incluso después de la extracción (Azmin *et al.*, 2013).

En ese sentido, los ingredientes bioactivos son aquellos que, cuando son incorporados en los alimentos, proporciona algún efecto de mejora en la salud (Pankaj *et al.*, 2020). Tales ingredientes pueden estar presentes en los alimentos habituales, como la fibra dietética o pueden ser añadidos, como los probióticos, antioxidantes o prebióticos (Grajek *et al.*, 2015). Cabe destacar, que los ingredientes bioactivos no son aditivos alimentarios. Los ingredientes alimenticios son utilizados en la industria alimentaria para mejorar las características sensoriales, sin embargo, no son ingredientes funcionales (Torres *et al.*, 2019). Los principales ingredientes bioactivos incluyen prebióticos, probióticos, aminoácidos, péptidos, proteínas, lípidos estructurados, fitoquímicos y/o extractos de plantas, minerales, vitaminas, fibras, carbohidratos especiales, carotenoides y antioxidantes, los cuales se pueden obtener de diversas fuentes, y son servidos en forma de alimentos funcionales, bebidas, o nutraceuticos (Kumar *et al.*, 2020).

6.3 Cúrcuma

La cúrcuma (*Cúrcuma longa L.*), conocida también como turmérico, azafrán indico o haldi, es una planta nativa del sur y sudeste del Asia tropical, pertenece a la familia “Zingiberácea”,

la familia del jengibre. La planta se caracteriza por tener un tallo largo (cerca de un metro de longitud) y sus flores son de color blanco.

El rizoma de la planta, donde se encuentran los pigmentos curcuminoides, normalmente tiene unas dimensiones máximas de unos 7 cm de largo por 2.5 cm de ancho. El tiempo de maduración se encuentra entre 8 a 10 meses. Además, es cultivada en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Xu *et al.*, 2015).

La cúrcuma es utilizada en el sudeste asiático, sus múltiples aplicaciones van desde dar sabor a los alimentos, teñir telas de color amarillo-naranja, hasta ser utilizada como remedio medicinal, por sus propiedades antiinflamatorio, antiséptico, en tratamientos gastrointestinales, hemorragia, trastornos hepáticos, problemas menstruales congestión entre muchos otros (González-Albadalejo *et al.*, 2015).

6.3.1 Curcuminoides

La cúrcuma contiene en realidad una amplia variedad de compuestos bioactivos, como son la curcumina, demetoxicurcumina y bisdemetoxicurcumina, conocidos en su conjunto como curcuminoides. Además, contiene tetrahidrocurecumina, trietilcurcumina, curcumenol, curcumol, zingibereno, eugenol, tumerina, tumeronas y tumeronoles. Sin embargo, es la curcumina, un diferuloilmetano (1,7-bis(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona), la principal responsable de sus reconocidas propiedades biológicas (Paramasivam *et al.*, 2009; Agrawal *et al.*, 2007).

La curcumina ha cobrado un importante interés en la actualidad por su reconocida y potente actividad antioxidante, por sus propiedades antiinflamatorias, inmunomodulatorias, antitumorales y anticarcinogénicas (Ak y Gulcin, 2008; Stanic *et al.*, 2008; Weber *et al.*, 2005). Así como por su potencial terapéutico para el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, metabólicas, inflamatorias, inmunológicas, neurodegenerativas y el cáncer (Di Martino *et al.*, 2017, Kunnumakkara *et al.*, 2017, Stanic, 2017).

Por otra parte, la característica principal de este compuesto polifenólico es que da color amarillo-naranja a los alimentos (Kocaadam y Sanlier, 2017; Aggarwal *et al.*, 2007).

6.4 Oxidación lipídica: un problema de la industria alimentaria

En la actualidad los alimentos buscan incluir ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), los cuales son esenciales, ya que no pueden ser sintetizados y son requeridos para muchos procesos fisiológicos, pero también son extremadamente sensibles a oxidación y puede degradar muy rápidamente la calidad, función y nutrición de los alimentos al producir sabores y olores desagradables (Wu *et al.*, 2020).

La oxidación de los lípidos es un problema en los alimentos con alto contenido de AGPI, esto se debe a que se producen compuestos que deterioran la calidad del producto, alteran sus propiedades organolépticas y afectan negativamente los nutrientes de un alimento procesado. En los alimentos, los ácidos grasos insaturados, generalmente los esterificados al glicerol de un triacilglicerol (TAG) o fosfolípido, se descomponen en compuestos volátiles con bajos pesos moleculares que producen aromas desagradables asociados con la rancidez (Le *et al.*, 2020).

La rancidez es detectable en los productos cuyas concentraciones de estos compuestos volátiles van desde una parte por millón hasta mil millones, dependiendo del umbral olfativo. En definitiva, la oxidación de lípidos reduce la vida útil y, por lo tanto, provoca el deterioro de los alimentos, un factor importante a considerar en su calidad.

6.4.1 Antioxidantes sintéticos en la industria alimentaria

Los antioxidantes son un conjunto heterogéneo de sustancias conformado por vitaminas, minerales, enzimas, pigmentos naturales y otros compuestos vegetales o sintéticos, que inhiben los efectos dañinos de los radicales libres (López-Ramírez y Echeverri, 2007).

Algunos autores, los definen como compuestos aromáticos con al menos un grupo hidroxilo, el cual es capaz de posponer, retardar o impedir el desarrollo del sabor a rancio o el deterioro

aromático en los alimentos (Farkas et al., 1997). En la industria alimentaria los aditivos antioxidantes más utilizados son Butilhidroxianisol (BHA), Butilhidroxitolueno (BHT), Galato de Propilo (PG) y Terc-Butilhidroquinona (TBHQ) (Wyatt, 1981; Bera *et al.*, 2014). Además de su potente capacidad antioxidante, la importancia de estos aditivos sintéticos radica en su fácil incorporación a los productos alimentarios, tales como aceites vegetales o animales, productos cárnicos, lácteos y de panadería, papas fritas, entre otros alimentos con alto contenido graso.

A pesar de su utilidad en la industria alimentaria, los antioxidantes sintéticos aprobados han sido estudiados extensamente, pero la toxicología de sus productos de degradación aún no está clara (Shahidi *et al.*, 2012). Se han reportado algunos efectos de los antioxidantes sintéticos en la salud, como la dermatitis por el consumo continuo de productos con TBHQ (Field *et al.*, 2007), la inducción de daños al ADN, la promoción de cáncer de vejiga, disminución de la respuesta a la influenza y la mutación celular (Nazhad-Dolatabadi y Kashanian, 2010; Freeborn, *et al.*, 2019).

6.4.2 Estabilidad oxidativa y curcuminoides

La oxidación de los lípidos en grasas y aceites se debe a diversos factores, entre los principales se encuentran la exposición a peróxidos provenientes de grasas rancias, las altas temperaturas (≥ 30 °C), luz UV, enzimas lipooxidasas y radiaciones ionizantes. La oxidación de los lípidos entonces se puede prevenir limitando la exposición a estos factores; sin embargo, la forma más efectiva de inhibir su deterioro es mediante el uso de antioxidantes. Por esta razón es común encontrar diversas investigaciones relacionadas con la protección de los ácidos grasos mediante el uso de antioxidantes orgánicos naturales en formulaciones que muestren una aceptación sensorial adecuada.

Algunos autores como Gallinger (2015), han incorporado Vitamina E en carnes de pollo enriquecidas con ácidos grasos n-3; otros como Bernal *et al.* (2019), han evaluado la adición del Tocoferoles a la mantequilla de semillas de marañón; mientras que Prado (2016), consiguió mejorar la estabilidad oxidativa y el tiempo de almacenamiento de los huevos de codornices japones suplementadas con Cúrcuma. En los casos anteriores, se evaluó la

aceptación sensorial de los productos alimenticios, pues estos autores señalan que no solo se busca mitigar la rancidez oxidativa, si no integrar el compuesto de valor sin afectar el sabor de los alimentos.

En relación con la capacidad antioxidante, se ha demostrado la eficiencia de la cúrcuma y los curcuminoides, en comparación con otras especies vegetales como el clavo, o la hoja de betel o de limón (Lean y Mohamed, 1999), el orégano, la canela y el tomillo (İnanç-Horuz y Maskan, 2015). Alvis *et al.* (2012) demostraron que el extracto de cúrcuma en polvo tiene un potencial antioxidante similar al del antioxidante sintético Butil hidroxitolueno (BHT, food additive: E-321).

También se ha estudiado el efecto antioxidante de la cúrcuma, en combinación con otros compuestos antioxidantes; en este sentido Ya-Kun *et al.* (2014), encontraron una forma de mejorar la actividad biológica de los curcuminoides mediante desarrollo de nuevos derivados que resulten de la combinación de estos con otros compuestos orgánicos, obteniendo lo que se denominó como “Curcumin-11B”. Por su parte Ling *et al.* (2015) encontraron que la mezcla de curcumina con ácido disoferúlico, aumenta significativamente la actividad antioxidante, en comparación con el polvo de cúrcuma; además señalan la actividad antibacteriana superior a la ampicilina y la alta actividad anticancerígena de esta nueva mezcla. En ambos casos los autores señalan el potencial de la curcumina como antioxidante valiosos en solución de múltiples problemas en áreas de la industria alimentaria, así como de la salud.

6.5 *Musa Spp. L.*

El banano y el plátano son hierbas perennes monocotiledóneas gigantes del género *Musa*, la mayoría de las especies de *Musa* cultivadas pertenecen al subgénero *Eumusa* y los principales cultivares son derivados del cruce entre *Musa acuminata* Colla (AA) y *Musa balbisiana* Colla (BB). La recombinación de estas especies dio origen a los musáceos triploides comestibles más importantes, tales como los bananos (AAA), los plátanos (AAB) y los guineos (ABB) (Arteaga-Alcivar, 2015; Nadal-Medina *et al.*, 2009).

El banano más cultivado y cosechado en las regiones tropicales y subtropicales del planeta, como Asia, África, América central y sur, proviene de la variedad Cavendish, la cual se distingue de otras variedades por lo alto de la planta y por la calidad de sabor, olor y textura de los frutos. Los clones más importantes para la producción de frutas de esta variedad son la Dwarf Cavendish, Gran enano, Lacatan, Valéry, Williams y Cavendish gigante (FAO, 2020). Los cultivares Cavendish representaron en 2018, el 51% de la producción mundial de bananos, y el 17% de los bananos cultivados para la exportación (PROMUSA, 2019).

El banano es el cuarto fruto más consumido en el mundo, con un consumo promedio per cápita de 8.5 kg/habitantes/año y con una producción mundial de 50 mil millones de toneladas anuales. La demanda del banano como fruto de postre, ha causado un aumento en las exportaciones mundiales, alcanzando un máximo histórico de 19.2 millones de toneladas en el 2018, 5.7% más en comparación con el 2017 (FAO, 2020).

6.5.1 Importancia Nacional del Banano

En México las áreas productoras de banano y plátano se localizan en las regiones tropicales de las costas del golfo de México y océano Pacífico. Los principales estados productores de plátano son Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima y Jalisco (García-Mata *et al.*, 2017). En 2018, los estados de Chiapas y Tabasco aportaron el 55% del total de la producción nacional, aportando el 29 y 26%, respectivamente (CEDRSSA, 2019). El sector platanero es sustento de aproximadamente 1.5 millones de personas, genera 100 mil empleos directos y 164 mil indirectos, principalmente en Colima, Michoacán, Tabasco, Jalisco, Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero (SADER, 2019).

En 2019, el valor total de la producción nacional de banano fue de 8.8 millones de dólares, del que el 62 % tuvo como destino los Estados Unidos. De acuerdo con el SIAP, para ese mismo año México ocupó el 12° lugar a nivel mundial en la producción de banano, con 2,399.49 miles de toneladas y un rendimiento promedio por hectárea de 30.1 toneladas (SIAP, 2019).

6.5.2 Importancia del Banano en Tabasco

Tabasco ocupa un lugar destacado a nivel nacional en cuanto a producción de banano y plátano se refiere; esto se debe a que el estado reúne las mejores condiciones agroclimáticas para su explotación. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2018 la producción agrícola en Tabasco tuvo un valor de aproximadamente 7 mil millones de pesos, de los cuales el 30 % correspondió a la producción de bananos y plátanos (SIAP, 2019). Son siete los municipios productores de banano y plátano en el estado: Teapa, Tacotalpa, Jalapa, Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán y Centro; y los cultivares más utilizados en las productoras plataneras son los clones Grande enano, Váler y Williams, todos de la variedad Cavendish.

En 2019 la producción de banano en Tabasco fue de 590.56 miles de toneladas, colocando al estado como el segundo productor nacional de este fruto. Sin embargo, el rendimiento promedio de 50.8 toneladas por hectárea para el mismo año, posicionó a Tabasco como el estado con mayor aprovechamiento de superficies cultivadas (SADER, 2019). A continuación, se presenta un cuadro con las comparaciones de producción, superficie y rendimiento de banano por municipio, en el estado de Tabasco (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de banano en los municipios del Estado de Tabasco

Municipio	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)
Cárdenas	145.00	6,649.70	45.86
Centro	853.70	33,422.30	39.15
Cunduacán	1725.00	65,929.50	38.22
Huimanguillo	463.00	23,108.30	49.91
Jalapa	320.00	18,419.30	57.56
Tacotalpa	692.85	42,631.27	61.53
Teapa	7,430.00	440,747.24	59.32
Total	11,629.55	630,907.61	50.22

Fuente: SIAP, 2019.

7 Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en cuatro etapas, las cuales se desarrollaron de manera secuencial, en virtud de que, en función de los resultados obtenidos en cada etapa, se establecieron las condiciones a emplear en la etapa siguiente. Las etapas del estudio fueron las siguientes: 1. Determinación de las condiciones de proceso para la obtención de extractos oleosos ricos en curcuminoides, 2. Estudio de la incorporación de curcuminoides en rodajas de banano sometidas a freído, 3. Análisis de la estabilidad oxidativa de los lípidos presentes en rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído, 4. Evaluación del efecto de la incorporación de curcuminoides sobre la aceptación sensorial de rodajas de plátano sometidas a freído.

7.1 Determinación de las condiciones de proceso para la obtención de extractos oleosos ricos en curcuminoides

Esta etapa se realizó con el fin de estudiar el efecto de diferentes factores sobre el contenido de curcuminoides totales presentes en los extractos obtenidos a partir de cúrcuma en polvo mediante extracciones asistidas por ultrasonificación. Derivado de lo anterior se establecieron las condiciones específicas para la obtención de los extractos oleosos ricos en curcuminoides que se emplearon en la siguiente etapa del proyecto.

7.1.1 Extracción de compuestos bioactivos a partir de polvo de cúrcuma

Para el desarrollo de la presente etapa, rizomas de *Cúrcuma longa* L. deshidratados y pulverizados fueron adquiridos de la empresa CEDROSA (Central de Drogas S.A de C.V.). El polvo de cúrcuma fue sometido a la extracción con solventes asistida por ultrasonificación. Para la realización de las extracciones se empleó un baño sonicador marca Cole-Parmer modelo 8895-39 con una potencia de salida de 110W, frecuencia de 40KHz. En este contexto, se planteó un diseño factorial $2 \times 3 \times 3 \times 3$, con tres repeticiones, en el que los factores considerados y sus respectivos niveles fueron: tipo de solvente (etanol y acetona), relación polvo-solvente (1:10, 1:15 y 1:5 peso:volumen), temperatura (20, 40 y 60 °C) y tiempo de extracción (10, 15 y 20 min).

7.1.2 Cuantificación de curcuminoides en los extractos

Cada uno de los extractos provenientes de los diferentes tratamientos realizados fueron analizados en su contenido de curcuminoides, de acuerdo con la metodología de Vasant-Holkar *et al.* (2015). Brevemente, los extractos fueron filtrados al vacío a través de papel Whatman no.1, colocando la fase líquida en un matraz volumétrico de 25 mL, una vez aforado, se tomó una alícuota de 1 mL del extracto de cúrcuma y se diluyó nuevamente en un matraz volumétrico de 25 ml. La solución se colocó entonces en una celda de vidrio para medir su absorbancia a 427nm en un espectrofotómetro UV-VIS (Marca Orbeco). Con los resultados obtenidos se determinó la concentración de curcumina en g por cada 100 g de polvo de cúrcuma, aplicando la siguiente formula:

$$Cur_{ext.} = \frac{ABS * V. D. * P. M. Cur.}{Coef. * P. p. Cur.}$$

Donde:

Cur ext= Concentración de curcumina extraída en g por cada 100 g

ABS= Absorbancia de la disolución

V.D.= Volumen de la disolución

Coef.= Coeficiente (61, 864) (De acuerdo con la metodología de Vasant-Holkar *et al.*, 2015)

P.p.Cur.= Peso de polvo de curcumina

P.M.Cur.= Peso molecular de la curcumina

7.1.3 Determinación del rendimiento de extracción

Los extractos obtenidos por ultrasonificación fueron colocados en matraces de bola de 250 mL para eliminar el solvente de extracción, con ayuda de un rotaevaporador, a una temperatura de 50 °C; una vez eliminado el solvente, los matraces se pesaron y se determinó el rendimiento de los extractos, en porciento, utilizando la siguiente fórmula:

$$R = \frac{WEO}{WPC} X 100\%$$

Donde:

R = Rendimiento de los extractos ricos en curcuminoides (%)

WEO = Cantidad de extracto obtenido (g)

WPC= Cantidad de polvo de cúrcuma sometido a la extracción (g)

7.2 Estudio de la incorporación de curcuminoides en rodajas de banano sometidas a freído

Pruebas preliminares indicaron que una de las formas de lograr una incorporación efectiva de curcuminoides al producto final deseado consistía en someter las rodajas de banano a un proceso de deshidratación con posterior inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma, para así finalmente freírlas en aceite vegetal. No obstante, durante la deshidratación de las rodajas, éstas desarrollan un marcado pardeamiento que afecta la apreciación del color del producto una vez freído. Por lo anterior, previo al estudio de incorporación de los curcuminoides en las rodajas de banano, se realizó una evaluación del efecto del empleo de ácido ascórbico y/o ácido cítrico sobre la inhibición del pardeamiento de las rodajas de banano durante su deshidratación.

7.2.1 Evaluación del empleo de ácido ascórbico y cítrico sobre la inhibición del pardeamiento en rodajas de banano durante la deshidratación

Frutos de banano Cavendish (Musa AAA) en estado de maduración verde 1 en la escala Von Loesecke fueron adquiridos de la “Platanera Jordan” cuyas plantaciones se encuentran localizadas en el municipio de Teapa, Tabasco, México. A su arribo al área de procesamiento, los frutos fueron lavados y pelados manualmente. Frutos sin cáscara fueron rebanados en rodajas de espesor aproximado de 2 mm e inmediatamente inmersas en soluciones acuosas de ácido ascórbico y/o ácido cítrico según los tratamientos considerados. Los tratamientos evaluados derivaron de un diseño factorial completo $2 \times 4 \times 5$ con tres repeticiones. Los factores con sus respectivos niveles fueron: tipo de ácido cítrico y ácido ascórbico, concentración de los ácidos (0, 0.1, 0.2 y 0.3 % (p/v)), tiempo de inmersión (0, 5, 10, 20 y 30 min). Al término del tiempo de inmersión las rodajas fueron escurridas, registrado su peso y colocadas sobre las charolas de un deshidratador de alimentos doméstico (Hamilton Beach, modelo 332100) para su posterior secado. Las condiciones del secado empleadas fueron: 70 °C, velocidad de entrada del aire 1 m/s, tiempo de secado de 5 horas. Al término del tiempo de deshidratación programado, el producto fue nuevamente pesado y estimado su contenido de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$C.H.R \% = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) 100\%$$

Donde:

C.H.R= Contenido de Humedad en la rodaja

P_i=Peso Inicial de la rodaja previo a deshidratar

P_f= Peso final de la rodaja Posterior al deshidratado

El contenido de humedad estimado en el producto debería encontrarse entre 15 y 20%, en caso de que éste fuera superior al 20%, el producto se dejaba 1.5 horas más dentro del deshidratador a 70 °C. Muestras conformadas por 10 rodajas, seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento, fueron tomadas y sometidas a análisis de color superficial estimando las coordenadas L* a* y b* del sistema CIELab.

7.2.2 Análisis del cambio de color en rodajas de banano fritas previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma

Como se indicó anteriormente, pruebas preliminares indicaron que una incorporación efectiva de curcuminoides podría lograrse mediante la inmersión de rodajas de banano deshidratadas en extractos etanólicos de cúrcuma previo al freído del producto. No obstante, el color adquirido en las rodajas variaría dependiendo de las condiciones de inmersión. Por ello, en esta parte del estudio se evaluó el efecto del tiempo de inmersión y la concentración de curcuminoides en los extractos etanólicos de cúrcuma sobre las coordenadas de color L* a* y b* alcanzadas por los diferentes tratamientos derivados de un diseño factorial completo 4X5 con tres repeticiones planteado para este fin. Los niveles de los factores considerados fueron: Concentraciones de curcuminoides de 0, 1, 3 y 5 mg/ml de extracto etanólico y tiempos de inmersión 1, 3, 5, 7 y 9 minutos.

Lotes de 40 g de rodajas deshidratadas de banano fueron inmersas en solución de NaCl por 5 min, escurridas y posteriormente tratadas por inmersión en los extractos etanólicos de cúrcuma bajo las condiciones planteadas por el diseño para cada tratamiento. Al término del tratamiento de inmersión en los extractos etanólicos de cúrcuma, las rodajas fueron escurridas

y sometidas a freído en aceite comercial de canola a 150 °C durante 10±3 min. Para el freído se empleó una freidora eléctrica doméstica en una relación producto:aceite de 4:100 (p:v). Un tratamiento testigo fue elaborado a partir de rodajas de banano deshidratado las cuales fueron sometidas al mismo proceso de freído, pero sin ser inmersas en extracto etanólico alguno. Las rodajas fritas provenientes de los diferentes tratamientos fueron escurridas y enfriadas a temperatura ambiente.

Posteriormente, 10 rodajas, seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento, fueron tomadas y sometidas a análisis de color superficial estimando las coordenadas L* a* y b* del espacio de color CIELab. A partir de los resultados de las coordenadas de L* a* y b* de cada uno de los tratamientos y de una muestra de referencia (estándar), consistente en rodajas de banano fresco no pardeado, se estimó el parámetro de Delta (Δ) para cada tratamiento, el cual indica las diferencias en las coordenadas de color absoluto entre las muestras derivadas de los tratamientos y el estándar. El parámetro Δ fue calculado en base a la siguiente ecuación:

$$\Delta = \sqrt{(L_0 - L_1)^2 + (a_0 - a_1)^2 + (b_0 - b_1)^2}$$

Donde:

Δ = Valor de delta

L_0 = Valor de la coordenada L* del estándar

L_1 = Valor de la coordenada L* del tratamiento

a_0 = Valor de la coordenada a* del estándar

a_1 = Valor de la coordenada a* del tratamiento

b_0 = Valor de la coordenada b* del estándar

b_1 = Valor de la coordenada b* del tratamiento

Una vez estimado los valores de delta para cada tratamiento se identificó el tratamiento con el menor valor, siendo éste el tratamiento que se emplearía en las siguientes etapas del proyecto.

7.2.3 Captura de las imágenes digitales para el análisis de las coordenadas de color

La determinación de las coordenadas de color del sistema CIE $L^*a^*b^*$ en las rodajas de banano provenientes de los estudios planteados en 8.2.1. y 8.2.2. se llevó a cabo mediante la captura y análisis digital de imágenes. Para ello, 10 rodajas de banano en estudio fueron colocadas sobre una superficie blanca realizando una toma fotográfica digital. La cámara fotográfica empleada fue una Sony IMX586 EXMOR RS con los siguientes ajustes: apertura de cámara de $f/7.9$, formato del sensor de imagen $1/2''$, distancia focal 4.71 mm, estabilidad óptica de imagen ISO2877, proporción de imagen 3:4, tamaño de imagen de 6000×8000 píxeles, sin filtro de luz, sin flash y sin zoom. Las condiciones para la toma fotográfica fueron las siguientes: ángulo de incidencia de 90° , distancia entre la lente y la muestra de 45 cm e iluminación artificial generada por dos lámparas Led de luz blanca (1000 lúmenes) ubicadas a una distancia de 1.25 m (Figura 1).

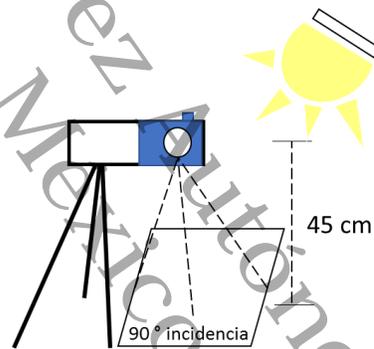


Figura 1. Condiciones para la captura de las imágenes digitales.

Las imágenes generadas en cada uno de los tratamientos fueron recortadas para cada una de las 10 rodajas a una resolución de 3492×3491 píxeles y a continuación fueron analizadas con el Software ImageJ v1.53a (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA). Para el análisis digital de las imágenes se definieron 3 regiones sobre la superficie de las rodajas, las cuales mostraban evidentes diferencias en el color. Estas regiones se identificaron como centro, contorno y cruz (Figura 2).

Mediante la herramienta de formación polígonos se delimitaron las regiones de interés para cada rodaja y así realizar el análisis y medición del color (formato RGB) con el software antes indicado. Los datos obtenidos en RGB fueron convertidos a coordenadas L^* , a^* y b^*

del espacio de color CIELab con ayuda del convertidor colormine (disponible en línea en: <http://colormine.org/color-converter>).

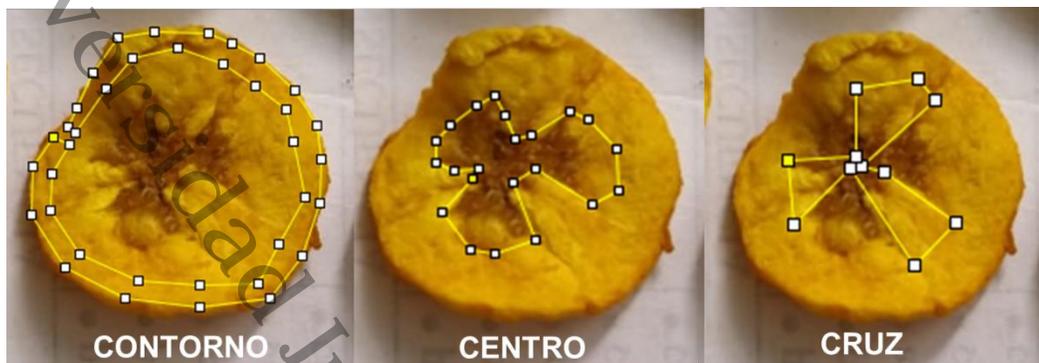


Figura 2. Identificación de las distintas regiones en rodajas de banano para el análisis digital del color.

7.2.4 Análisis de la incorporación de curcuminoides en rodajas de banano sometidas a freído

La cuantificación de curcuminoides en las rodajas de banano se realizó de acuerdo con lo reportado por Rathnayaka *et al.* (2019) y Lim *et al.* (2011), con algunas modificaciones. Se mezcló 1g de muestra (Rodajas de banano molidas), con 10 mL de etanol y se homogenizó (7500 rpm, durante 40 segundos). Se dejó reposar por unos segundos y se trasvasó en un tubo de ensayo, se repitió el procedimiento anterior 2 veces más en cada muestra. Al terminar se reunió el sobrenadante con los extractos anteriores. Posteriormente, el sedimento de la última homogenización se trasvasó, y se añadió 15 mL de etanol absoluto, al tubo de ensayo en el que se reunieron todos los extractos.

El tubo de ensayo con los extractos y sedimento se colocó en un baño sonicador por 2.5 horas, a una temperatura de 50 °C. Al término de este tiempo, la mezcla se trasvasó cuantitativamente a un matraz volumétrico de 50 mL y se aforó con etanol absoluto. Posteriormente, se vertieron 10 mL de la mezcla en un tubo cónico de plástico, se centrifugó a 4,000 rpm por 5 min y el sobrenadante se transfirió a una celda de vidrio para su lectura de absorbancia a 427 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. Una curva de calibración fue elaborada empleando soluciones etanólicas de curcumina a diferentes concentraciones.

7.3 Análisis de la estabilidad oxidativa de los lípidos presentes en rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído

Rodajas de banano deshidratadas fueron sometidas a inmersión dentro de extractos etanólicos de cúrcuma con concentraciones de curcuminoides de 1, 3 y 5 mg/ml. El tiempo de inmersión fue de 9 min para todos los tratamientos. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión, el producto fue escurrido y sometido a freído en aceite comercial de canola a 150 °C durante 10±3 min. Un tratamiento testigo fue elaborado a partir de rodajas de banano deshidratado las cuales fueron sometidas al mismo proceso de freído, pero sin ser inmersas en extracto etanólico alguno. Las rodajas fritas provenientes de los diferentes tratamientos fueron escurridas y enfriadas a temperatura ambiente y posteriormente envasadas en bolsas de polipropileno trasparente conteniendo aproximadamente 5 g de producto (Figura 3).



Figura 3. Rodajas de banano fritas, empaquetadas en bolsas de polipropileno, provenientes de los diferentes tratamientos de inmersión.

Rodajas de banano fritas, empacadas en bolsas de polipropileno, provenientes de los diferentes tratamientos considerados en el estudio fueron almacenadas durante 21 días a 40 °C. Tres bolsas de cada tratamiento fueron tomadas a los 0, 7, 14 y 21 días de almacenamiento para analizar el contenido de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).

7.3.1 Análisis de Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

La determinación de las TBARS se llevó a cabo en base a la metodología de Zeb y Ullah (2016), con algunas modificaciones. 0.5 g de fritura de banano finamente molida fue colocada en un tubo de ensaye (15X150) y a continuación se adicionaron 10 mL de una solución de ácido acético al 50 % (v/v) conteniendo 0.01% de BHT. La mezcla fue agitada durante 1 hora en un agitador orbital y al término de este tiempo fue centrifugada a 4000 rpm por 5 minutos.

El sobrenadante obtenido fue filtrado a través de papel filtro Whatman No.1, colocando posteriormente 3 mL del filtrado dentro de un tubo de ensaye con tapón de rosca. A continuación, se adicionan 3 mL de una solución 4.0mM de ácido tiobarbitúrico recién preparada en ácido acético glacial. Así mismo, se preparó un blanco de reactivos con 3 mL de solución de ácido acético al 50% con 3 mL solución 4.0mM de ácido tiobarbitúrico. Los tubos con las muestras y el blanco de reactivos fueron tapados herméticamente y colocados en baño de agua a 95 °C por 60 minutos. Al término de este tiempo los tubos fueron enfriados a temperatura ambiente para posteriormente medir su absorbancia a 532 nm en espectrofotómetro UV/VIS. Una curva de calibración fue construida a partir de soluciones de 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 mMol de sal de malondialdehído de tetrabutilamonio (96% de pureza) en metanol. Una alícuota de 3mL de cada solución fue mezclada con 3 mL de solución 4.0mM de ácido tiobarbitúrico, colocada en baño de agua a 95 °C por 60 min y medida su absorbancia a 532 nm.

7.4 Evaluación del efecto de la incorporación de curcuminoides sobre la aceptación sensorial de rodajas de plátano sometidas a freído.

Rodajas de banano fritas tratadas previamente por inmersión en extractos etanólicos con concentraciones de curcuminoides de 0, 1, 3 y 5 mg/ml fueron evaluados sensorialmente por 37 consumidores de entre 18 y 71 años. Las muestras evaluadas fueron preparadas de manera similar a lo indicado en el apartado 8.3. La evaluación sensorial fue realizada a través de una prueba afectiva empleando una escala hedónica estructurada de 9 puntos considerando los atributos indicados en la Tabla 2.

Las muestras por evaluar fueron presentadas a los consumidores dentro de pequeños contenedores de plástico codificados, utilizando para ello números aleatorios de tres dígitos. La hoja de evaluación empleada en la evaluación sensorial se muestra en la Figura 4.

Tabla 2 Atributos y escala hedónica empleada en la evaluación de rodajas de banano fritas.

Atributos Sensoriales	Escala hedónica
Color	Me disgusta muchísimo
Olor	Me disgusta Mucho
Sabor	Me disgusta moderada
Salado	Me disgusta ligeramente
Crujiente	Indiferente
Aceptación General	Me gusta muchísimo
	Me gusta Mucho
	Me gusta moderada
	Me gusta ligeramente

Evaluación Sensorial de Frituras de Plátano

Nombre: _____ Edad: _____ Sexo: _____ Fecha: _____

Instrucciones:
A continuación se presentan cuatro muestras de frituras de plátano. Por favor, degústela y marque con una X su nivel de agrado en cada uno de los atributos sensoriales indicados.

MUESTRA 307		Color	Olor	Sabor	Crujiente	Salado	Aceptación Global
Me Gusta	Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me Disgusta	Indiferente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

MUESTRA 541		Color	Olor	Sabor	Crujiente	Salado	Aceptación Global
Me Gusta	Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me Disgusta	Indiferente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

MUESTRA 679		Color	Olor	Sabor	Crujiente	Salado	Aceptación Global
Me Gusta	Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me Disgusta	Indiferente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

MUESTRA 753		Color	Olor	Sabor	Crujiente	Salado	Aceptación Global
Me Gusta	Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Me Disgusta	Indiferente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Moderadamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Mucho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muchísimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

¡Muchas Gracias!

Figura 4. La hoja de evaluación sensorial afectiva para cuatro muestras de frituras de banano Cavendish.

Las respuestas emitidas por cada uno de los consumidores fueron convertidas a sus respectivos valores según la escala indicada en la tabla 4. Los resultados numéricos fueron conjuntados y analizados estadísticamente realizando un análisis de varianza (ANOVA) con posterior análisis de comparación de medias (Prueba Tukey $p < 0.05$). Para ello se empleó el paquete estadístico Minitab 19v.

7.5 Diseño experimental y Análisis estadísticos

Para evaluar el efecto de los diferentes factores sobre el contenido de curcuminoides totales en los extractos etanólicos de *Curcuma longa* L. se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado $2 \times 3 \times 3 \times 3$, con tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos incluyeron los factores: tipo de solvente (etanol y acetona), relación polvo:solvente (1:10, 1:15 y 1:5

peso:volumen), temperatura (20, 40 y 60 °C) y tiempo de extracción (10, 15 y 20 min); como variable de respuesta, para cada tratamiento se determinó el contenido de curcuminoides totales.

Para determinar el efecto de la inmersión de las rodajas de banano en soluciones de ácido cítrico y ácido ascórbico sobre la inhibición del pardeamiento de las rodajas durante su deshidratación, se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado 2 x 4 x 5, con tres repeticiones por tratamiento. Los factores con sus respectivos niveles fueron: tipo de ácido (ácido cítrico y ácido ascórbico), concentración del ácido (0, 0.1, 0.2 y 0.3 % (p/v)) y tiempo de inmersión (0, 5, 10, 20 y 30 min). Las variables de respuesta, para cada tratamiento fueron las coordenadas de color L* a* y b* del sistema CIELab.

Para evaluar el color de las rodajas de banano pretratadas con los ácidos cítrico y ascórbico, después de su inmersión en los extractos etanólicos de cúrcuma y freído en aceite de canola, se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado 4 x 5, con tres repeticiones por tratamiento. Los factores y sus niveles fueron: concentración de curcuminoides en los extractos (0, 1, 3 y 5 mg/mL) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos). Las variables de respuesta, para cada tratamiento fueron las coordenadas de color L* a* y b* del sistema CIELab.

El estudio de estabilidad oxidativa de los lípidos en las rodajas de banano fritas, se realizó a través de un diseño factorial completamente aleatorizado 4 x 4, con tres repeticiones por tratamiento. Los factores considerados fueron: concentración de curcuminoides en los extractos etanólicos empleados en la inmersión de las rodajas (0, 1, 3 y 5 mg/mL) y tiempo de almacenamiento (0, 7, 14 y 21 días). La variable de respuesta para cada tratamiento fue la cuantificación de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).

Para evaluar los atributos sensoriales de las rodajas de banano fritas adicionadas con curcuminoides, se utilizó un diseño completamente aleatorizado, con tres repeticiones por tratamiento, en el que los tratamientos fueron las diferentes concentraciones de curcuminoides en los extractos etanólicos empleados (0, 1, 3 y 5 mg/mL); como variables de respuesta, para

cada tratamiento se determinaron, a través de una prueba afectiva y empleando una escala hedónica estructurada de 9 puntos, los atributos de color, olor, sabor, crujiente, salado y aceptación general.

El modelo estadístico empleado fue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{cases}$$

Donde: Y_{ij} es la respuesta en la j -ésima unidad experimental con el i -ésimo tratamiento; μ es la media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos; τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento y ε_{ij} es el error experimental en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento. Las ε_{ij} son independientes, con distribución $N(0, \sigma^2)$ (Montgomery, 2012).

A los resultados obtenidos se aplicó el análisis de varianza (ANDEVA) y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Todos los análisis se llevaron a cabo con el paquete estadístico Minitab 19v.

8 Resultados y Discusión

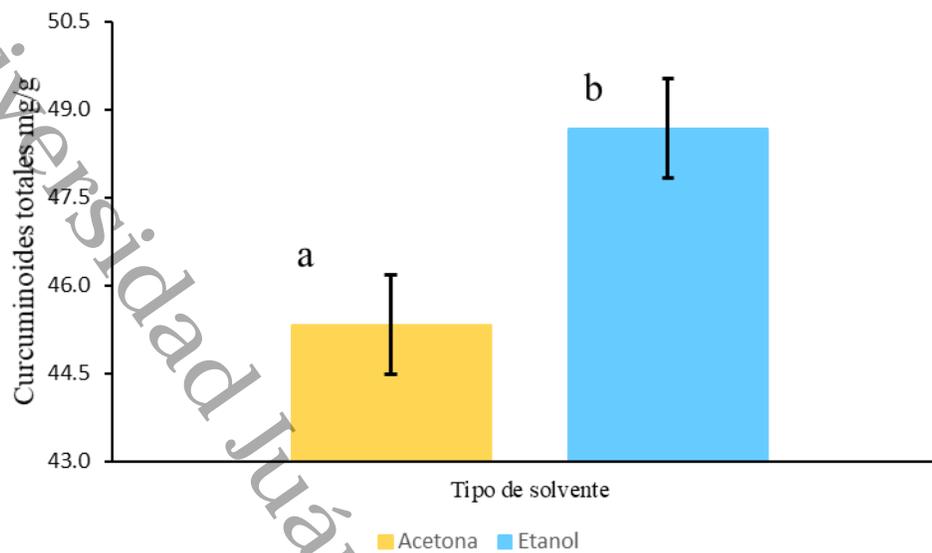
8.1 Obtención de extractos oleosos ricos en curcuminoides a partir del rizoma de Cúrcuma por procesos de extracción con solventes asistida por ultrasonificación

En cualquier método de extracción, la selección del solvente es un factor muy importante para extraer los compuestos de interés. Debido a las distintas estructuras de las materias vegetales y las características fisicoquímicas de los disolventes, la interacción entre la materia y el sistema de disolventes es bastante impredecible (Vetal, *et al.*, 2013). Por lo anterior, se realizó un análisis de la varianza (Tabla 3) con sus respectivas comparaciones de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) entre los solventes. Se determinó que los extractos con mayor concentración de curcuminoides disueltos fueron los obtenidos con el solvente etanol (48.7 ± 4 mg/g) con un intervalo de confianza (IC) de 95% entre 48.12 y 49.82 mg/g, mientras que los tratamientos que resultaron con una menor concentración de curcuminoides fueron los obtenidos con el solvente acetona (45.3 ± 4 mg/g, IC de 44.48 a 46.18) (Figura 5).

Tabla 3 Análisis de varianza a los factores relación polvo-solvente, temperatura, tiempo de extracción y tipo de solvente sobre el contenido de curcuminoides en los extractos de cúrcuma obtenido por ultrasonificación

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Relación ¹ (g/mL)	2	1.02	0.51	8.17	0.000
Temperatura (°C)	2	1.29	0.64	10.32	0.000
Tiempo (min)	2	0.82	0.41	6.56	0.002
Solvente ² (mL)	1	5.36	5.36	85.3	0.000
Relación*Temperatura	4	1.11	0.27	4.43	0.001
Relación*Tiempo	4	0.33	0.08	1.33	0.265
Relación*Solvente	2	0.84	0.42	6.71	0.002
Temperatura*Tiempo	4	4.41	1.10	17.53	0.000
Temperatura*Solvente	2	0.38	0.16	2.69	0.073
Tiempo*Solvente	2	1.06	0.53	8.47	0.000
Relación*Temperatura*Tiempo	8	1.29	0.16	2.57	0.000
Relación*Temperatura*Solvente	4	0.91	0.22	3.62	0.013
Relación*Tiempo*Solvente	4	0.17	0.04	0.71	0.008
Temperatura*Tiempo*Solvente	4	1.961	0.49	7.79	0.000
Relación*Temperatura*Tiempo*Solvente	8	1.57	0.19	3.12	0.003
Error	108	6.79	0.062		
Total	161	31.07			

Relación¹: dilución polvo de cúrcuma en solvente; Solvente²: Tipo de solvente, GL: grados de libertad, SC: suma de cuadrados, MC: media de los cuadrados.



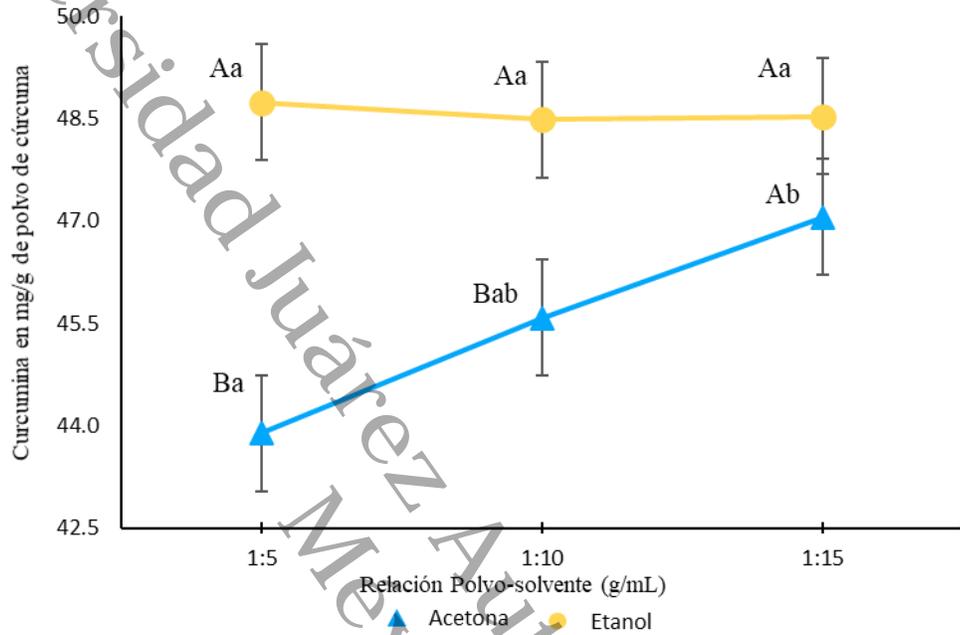
Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$); las barras indican el intervalo de confianza (IC) del 95 % para la concentración de curcuminoides obtenida con cada tipo de solvente.

Figura 5. Concentración media de curcuminoides en los extractos obtenidos con cada uno de los solventes empleados

De la interacción, Relación polvo:solvente y Tipo de solvente, se observó que, al incrementar el volumen de acetona en relación con el polvo extraído, mayor cantidad de curcuminoides fueron extraídos; mientras que para los curcuminoides extraídos con el solvente etanol, su concentración en los extractos se mantuvo constante en las diferentes relaciones polvo:solvente. Sin embargo, la cantidad de curcuminoides extraídos con acetona sigue siendo menor que con el solvente etanol en las diferentes relaciones de polvo:solvente (Figura 6).

Es importante mencionar que, la diferente capacidad que tiene cada uno de los solventes de absorber y transmitir la energía durante la extracción por ultrasonificación determina la eficiencia del proceso (Rodríguez-Riera, *et al.*, 2014). En este sentido se explica, la baja extracción de curcumina con acetona en comparación con los mejores resultados obtenidos en las disoluciones en etanol, pues a diferencia de la acetona, el etanol tiene menor polaridad, menor presión de vapor, mayor viscosidad y mayor coeficiente de tensión superficial. En

consecuencia, la intensidad de la cavitación es mayor durante el proceso de extracción (Shirsath *et al.*, 2017).



Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre las distintas relaciones polvo-solvente, para cada tipo de solvente ($p < 0.05$). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre los distintos solventes empleados para la extracción ($p < 0.05$). Las barras indican el intervalo de confianza (IC) del 95 % para la concentración de curcuminoides.

Figura 6. Efecto del Tipo de solvente y de la Relación polvo:solvente, sobre la concentración media de curcuminoides en los extractos obtenidos por ultrasonificación.

8.1.1 Efecto de la relación polvo:solvente, temperatura y tiempo en la extracción de curcuminoides con etanol

En virtud de elegir las mejores condiciones para la obtención de extractos oleosos de calidad y con el mínimo esfuerzo, se realizó el análisis de varianza (Anova) únicamente a los tratamientos realizados con este solvente. En los resultados se encontró que ni la relación polvo:solvente, ni la temperatura, tienen efecto significativo en la extracción de los curcuminoides ($p \geq 0.05$), sin embargo, el tiempo, así como su interacción con la temperatura,

si presentaron un efecto significativo sobre la concentración de curcuminoides en los extractos obtenidos con el solvente etanol ($p \leq 0.05$) (Tabla 4).

Tabla 4 Análisis de Varianza de los factores relación polvo:solvente, temperatura y tiempo de extracción, sobre el contenido de curcuminoides en los extractos de cúrcuma obtenidos con etanol por ultrasonificación.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Relación (g/mL)	2	0.04	0.02	0.2	0.831
Temperatura (°C)	2	0.38	0.19	1.6	0.210
Tiempo (min)	2	1.70	0.85	7.2	0.002
Relación*Temperatura	4	0.85	0.21	1.8	0.141
Relación*Tiempo	4	0.23	0.06	0.5	0.743
Temperatura*Tiempo	4	3.29	0.82	7.0	0.000
Relación*Temperatura*Tiempo	8	0.43	0.05	0.5	0.882
Error	54	6.37	0.12		
Total	80	13.30			

Del análisis de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) se obtuvo que, las extracciones de curcuminoides durante 20 minutos en baño ultrasónico, fueron mayores a los demás tiempos de extracción. (Tabla 4). Los tiempos de extracción empleados en la obtención de curcuminoides, son menores a los reportados en otros trabajos y la cantidad de curcuminoides recuperado fue mayor (52.8-45.7 mg/g, ver Tabla 5). Extracciones de 25.46 y 12.75 miligramos de curcumina por cada gramo de *Curcuma amada* fueron reportados por Shirsath, *et al.*, (2017) quienes emplearon baño ultrasónico y método Soxhlet con una duración de 1 hr y 8 hr respectivamente. Por otra parte Pei-Yin, *et al.*, (2011) reportaron que se podía obtener 20.95 mg/g de *curcumina longa* por cromatográfica en columna de alta eficiencia, sin embargo, este proceso requería al menos 4 horas de extracción. Además, la extracción donde obtuvieron 12.44 mg/g fue durante 1 hora de ultrasonificación a temperatura ambiente. Si bien el método de extracción en baño ultrasónico propuesto por Shirsath, *et al.* (2017) hacen uso de temperaturas (55 °C) y relación polvo-etanol (1:25) mayores a los empleados en el presente trabajo, la materia vegetal utilizada jugó un papel fundamental en la recuperación de curcuminoides, pues en otro estudio, Nagavekar, *et al.*, (2019) sugieren que

curcuma amada tiene menor contenido de curcuminoides que la *cúrcuma longa*. Para el caso de Pei-Yin, *et al.*, (2011) la menor recuperación de curcuminoides fue resultado de la temperatura, pues esta fue mucho menor que la empleada por Shirsath *et al.*, (2017) y los 40° y 60° C que se observan en la tabla 5.

Tabla 5. Efecto de la temperatura y el tiempo de sonido sobre la concentración media de curcuminoides en los extractos obtenidos con etanol

Tiempo (min)	Temperatura de ultrasonicación		
	20 °C	40 °C	60 °C
10	48.9±3.6 ^{abA}	47.3±4.7 ^{abA}	49.1±5.9 ^{abA}
20	52.8±2.9 ^{aA}	53.2±2.7 ^{aA}	45.7±0.7 ^{aA}
30	46.2±2.7 ^{bA}	46.4±1.9 ^{bA}	48.4±1.6 ^{bA}

Filas con letras mayúsculas en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). Columnas con letras minúsculas en común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

8.2 Estudio de la incorporación de los curcuminoides a las rodajas de banano sometidas a freído

Fue necesario realizar pruebas preliminares para determinar las formas de lograr una incorporación efectiva de curcuminoides al producto final. En este sentido se realizó un estudio de la incorporación de los curcuminoides a las rodajas de banano sometidas a freído, pues algunas condiciones de la materia vegetal como la baja permeabilidad, porosidad y el pardeamiento enzimático en la superficie de las rodajas no permitió la absorción y/o adherencia de los compuestos etanólicos, pero además generaba un mal aspecto posterior al freído.

8.2.1 Pretratamiento y deshidratación de las rodajas de banano

Las rodajas de banano deshidratadas, previamente tratadas por inmersión en las soluciones acuosas de ácido cítrico y/o ácido ascórbico muestran claras diferencias de color en tres zonas que denominamos con los términos de Contorno, Centro y Cruz (Figura 7), para cada uno de los cuales se estimaron los parámetros antes mencionados: L^* a^* y b^* , además de Delta (Δ). Para determinar el parámetro Delta se utilizaron los valores promedio de L^* a^* y b^* obtenidos de rodajas frescas: L^* 90 (luminosidad), a^* 1.3 (Rojo-Verde) y b^* 12 (Amarillo-Azul).

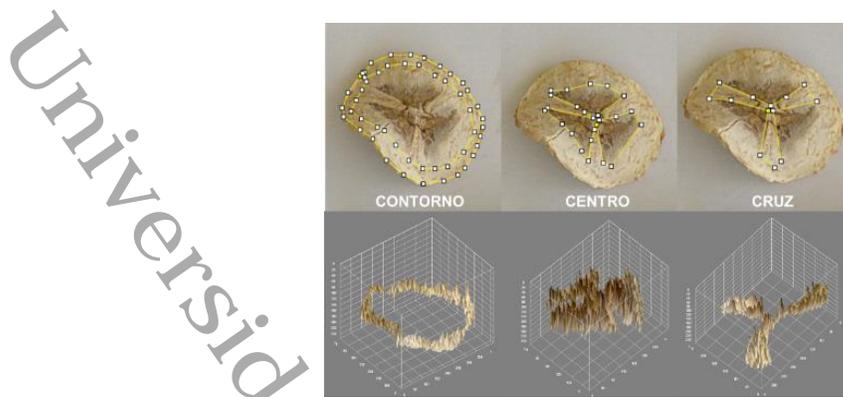


Figura 7. Diferentes zonas de color en las rodajas deshidratadas (Contorno, Centro y Cruz) y graficas de superficie (Surface plot XYZ) obtenidas de cada punto (dot) sobre la ubicación de la lectura. Fuente: Inspector Color 3D (Extensión de ImageJ)

8.2.1.1 Análisis de color CIELAB en el Centro de las rodajas pretratadas y deshidratadas

Con los resultados obtenidos del análisis de color en la zona Centro de las rodajas deshidratadas se realizó un análisis de la varianza (ANOVA), en el que se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todos los factores evaluados en el experimento: concentración del ácido y tiempo de inmersión; así como para las interacciones dobles y triple (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de Varianza de los factores, tipo de ácido empleado, concentración del ácido y tiempo de inmersión, en el color del Centro de las rodajas de banana deshidratadas

Fuentes en Centro	GL	Valor F			Valor p		
		L	A	B	L	A	b
Cítrico	3	240.21	3459.23	5.04	0	0	0.002
Ascórbico	3	20.03	96.19	4.84	0	0	0.002
Tiempo	4	7.44	19.33	17	0	0	0
Cítrico*Ascórbico	9	34.77	66.15	35.74	0	0	0
Cítrico*Tiempo	12	16.57	28.61	7.38	0	0	0
Ascórbico*Tiempo	12	21.01	20.96	7.13	0	0	0
Cítrico*Ascórbico*Tiempo	36	11.43	19.21	8.12	0	0	0
Error	720						
Total	799						

La Coordenada L* (Luminosidad) en las rodajas disminuye con el incremento de la concentración del ácido cítrico en la solución de inmersión (Figura 8). El tratamiento de inmersión en una solución con 0.3% de ácido ascórbico, sin ácido cítrico, por 20 minutos, presentó el mayor valor en la coordenada L*.

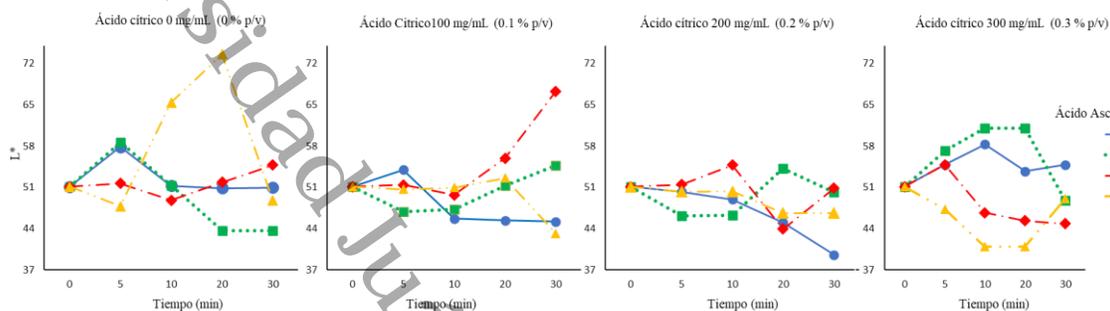


Figura 8. Coordenada L* en el centro de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

Para la coordenada *a (Rojo-Verde), se observó el incremento de este parámetro en la zona centro de las rodajas, al incrementarse la concentración de ácido cítrico en las soluciones de inmersión (Figura 9); observándose tonalidades anaranjadas en esta zona del producto. Solo se observó cercanía al valor deseado, en los tratamientos de inmersión en las soluciones de ácido ascórbico, sin ácido cítrico.

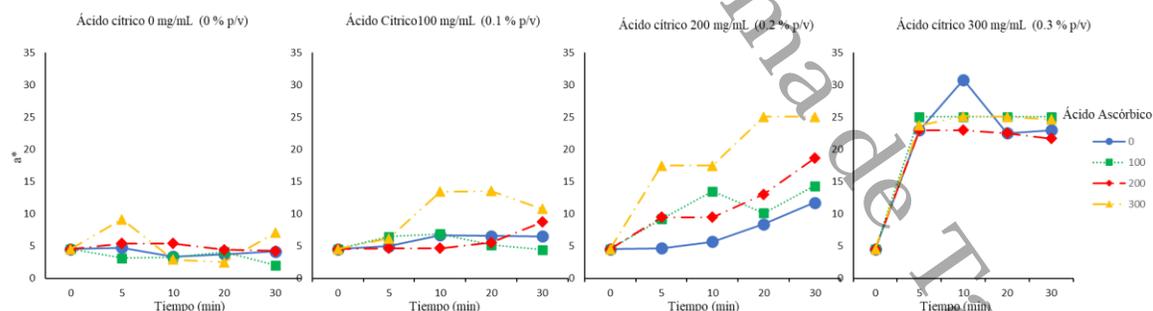


Figura 9. Coordenada a* en el centro de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

En relación con los valores obtenidos para el parámetro b* (Amarillo-Azul), no se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos con ácido ascórbico y ácido cítrico.

Sin embargo, los todos tratamientos se encuentran próximos al valor deseado en la deshidratación en esta coordenada de color (Figura 10).

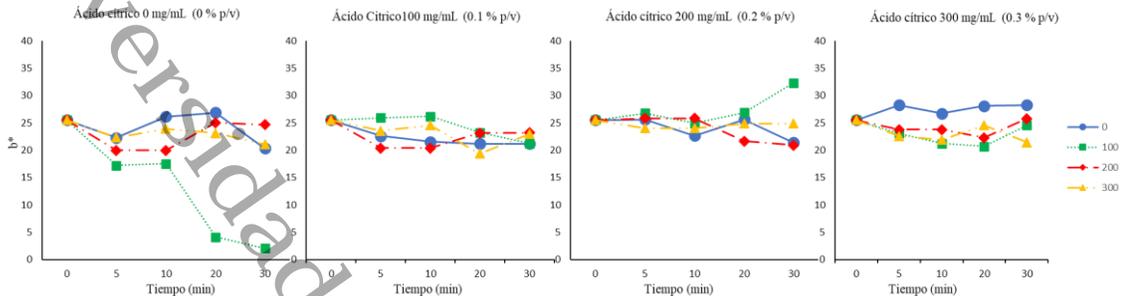


Figura 10. Coordenada b* en el centro de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

8.2.1.2 Análisis de color CIELAB en la Cruz de las rodajas pretratadas y deshidratadas

Con los resultados obtenidos del análisis de color en la zona que denominamos Cruz en las rodajas deshidratadas, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA); de este análisis se encontraron también diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todos los factores evaluados en el experimento: concentración del ácido y tiempo de inmersión; así como para las interacciones dobles y triple (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de Varianza de los factores, tipo de ácido empleado, concentración del ácido y tiempo de inmersión, en el color de la Cruz en las rodajas de banana deshidratadas.

Fuentes en Cruz	GL	Valor F			Valor p		
		L	a	b	L	A	b
Cítrico	3	21.46	1864.23	3.27	0	0	0.021
Ascórbico	3	2.66	79.37	4.49	0.047	0	0.004
Tiempo	4	5.46	24.09	3.3	0	0	0.011
Cítrico*Ascórbico	9	22.96	36.5	21.07	0	0	0
Cítrico*Tiempo	12	15.15	20.21	7.49	0	0	0
Ascórbico*Tiempo	12	7.85	9.93	7.58	0	0	0
Cítrico*Ascórbico*Tiempo	36	11.09	11.08	7.93	0	0	0
Error	720						
Total	799						

Para la zona Cruz de las rodajas de banano, se encontró un incremento en el parámetro L*, con el incremento en la concentración de ácido cítrico en las soluciones de inmersión y, el tratamiento que mostró el mayor valor en esta coordenada fue también en el que se emplearon 0.3% (p/v) de ácido ascórbico por mL de solución, por un tiempo de 20 minutos de inmersión (Ver Figura 11).

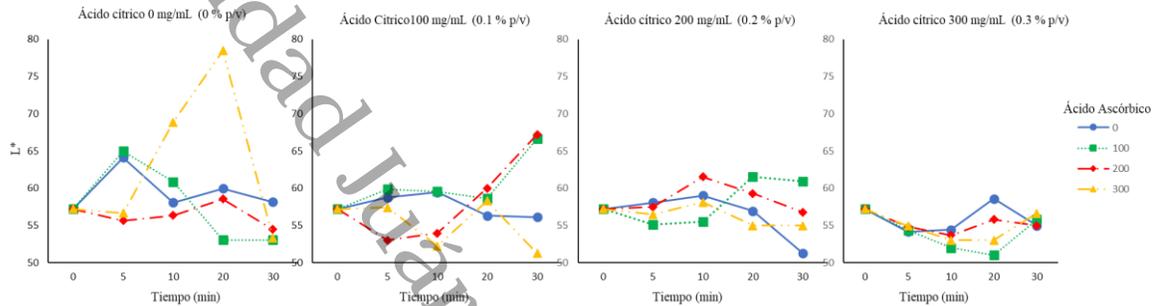


Figura 11. Coordenada L* en la cruz de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

El incremento de la luminosidad en la zona de las rodajas cruz, se debe a que en esta zona el ácido cítrico proporcione tonalidades de anaranjado en relación con el incremento en la concentración. Para la coordenada *a (Rojo-Verde) en esta zona de la Cruz se observó también el incremento de este parámetro, al incrementarse la concentración de ácido cítrico en las soluciones de inmersión de las rodajas (Figura 12); observándose cercanía al valor deseado en el tratamiento de inmersión con 0.3% p/v de ácido ascórbico por 20 minutos, sin ácido cítrico.

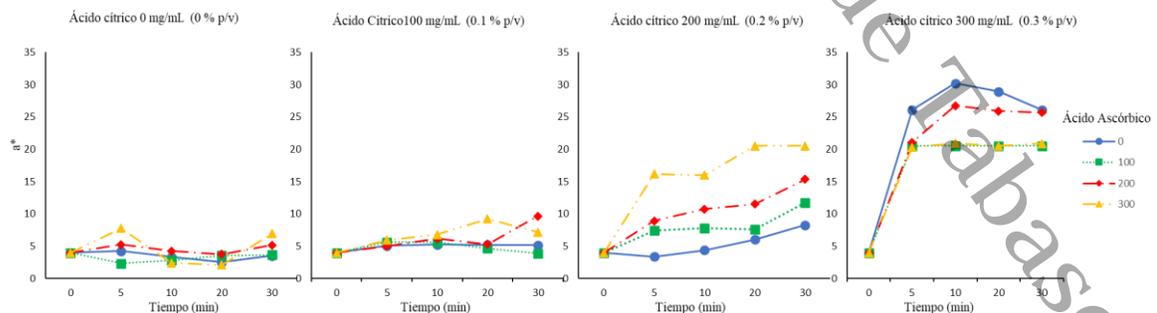


Figura 12. Coordenada a* en la cruz de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

En cuanto al parámetro b^* , los valores obtenidos fueron muy similares entre sí, no encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos con ácido ascórbico. Sin embargo, los tratamientos presentan valores muy próximos a los valores obtenidos para las rodajas frescas recién cortadas, no deshidratadas y sin oscurecimiento (Figura 13).

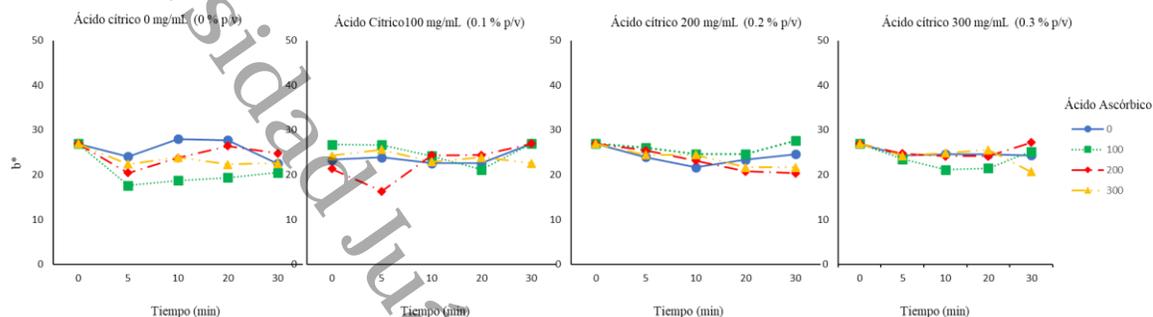


Figura 13. Coordenada b^* en la cruz de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

8.2.1.3 Análisis de color CIELAB en el Contorno de las rodajas pretratadas y deshidratadas

En consecuencia, se realizó un análisis de color en la zona que Contorno de las rodajas deshidratadas, y posterior se realizó un análisis de la varianza (ANOVA); de este último se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para todos los factores evaluados en el experimento: concentración del ácido y tiempo de inmersión; así como para las interacciones dobles y triple (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza de los factores, tipo de ácido empleado, concentración del ácido y tiempo de inmersión, en el color del contorno en las rodajas de banano deshidratadas.

Fuentes en Contorno	GL	Valor F			Valor p		
		L	a	b	L	A	b
Cítrico	3	27.9	1680.9	55.3	0	0	0
Ascórbico	3	3.2	88.3	13.6	0.022	0	0
Tiempo	4	4.6	18.7	4.4	0.001	0	0.002
Cítrico*Ascórbico	9	35.8	27.4	48.3	0	0	0
Cítrico*Tiempo	12	14.5	22.6	7.6	0	0	0
Ascórbico*Tiempo	12	17.4	4.2	9.1	0	0	0
Cítrico*Ascórbico*Tiempo	36	17.4	5.7	9.7	0	0	0
Error	720						
Total	799						

El ácido ascórbico actúa dando mayor valor a la coordina L en el tiempo 20 minutos a los tratamientos sin ácido cítrico. Los valores disminuyen en relación con el incremento de ácido cítrico (figura 14).

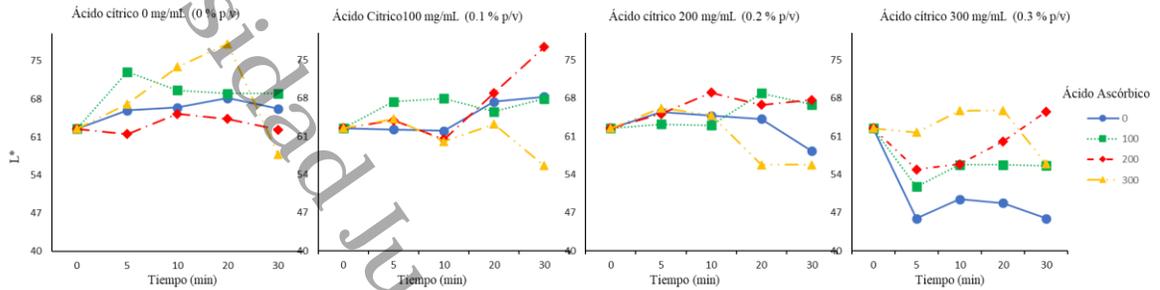


Figura 14. Coordenada L* en el contorno de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

Los valores de a* en el contorno de las rodajas deshidratadas aumentaron en relación con la concentración de ácido cítrico, alejándose significativamente del valor a* de referencia, sin embargo, los tratamientos sin ácido cítrico fueron los que mayor aproximación tuvieron (Figura 15). Por otra parte, se observó que las rodajas tratadas con 0.3% de ácido cítrico, tienen colores anaranjados y rojizos en la zona del contorno.

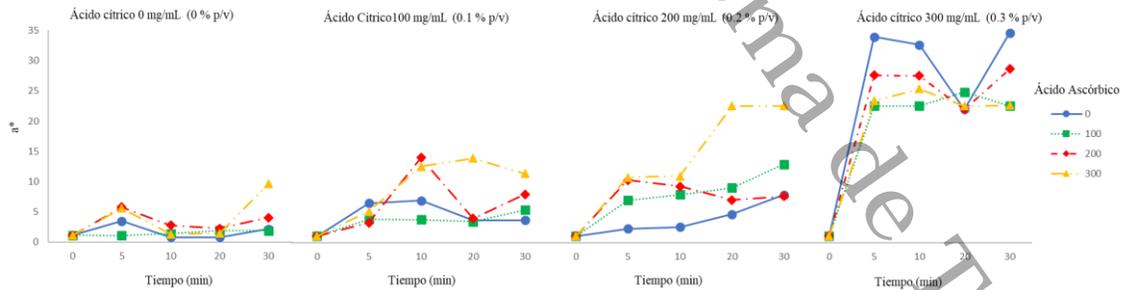


Figura 15. Coordenada a* en el contorno de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

No se observan cambios importantes en la coordenada b* en relación con los tratamientos, ya que en la coordenada b* no existen cambios de color por efecto de la inmersión en ácido cítrico y ácido ascórbico para la zona de color denominada contorno (Figura 16).

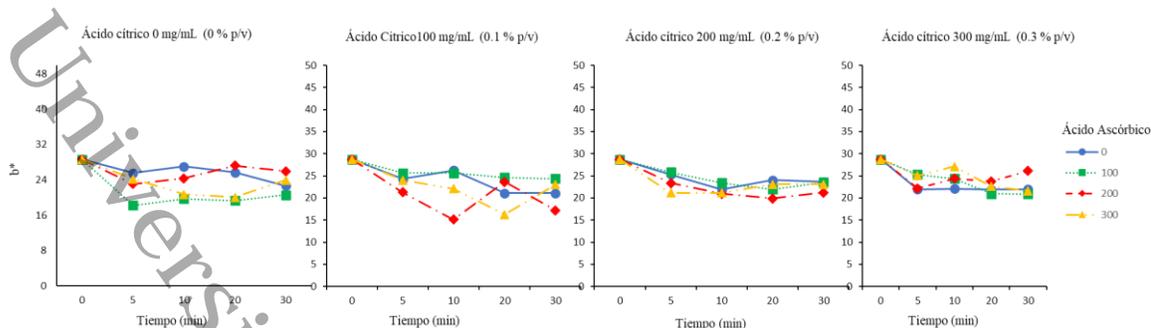


Figura 16. Coordenada b^* en el contorno de rodajas inmersas en las soluciones de ácido ascórbico y/o ácido cítrico

8.2.2 Estimación del parámetro Delta (Δ) en las rodajas deshidratadas, previa inmersión en las soluciones de ácido cítrico y/o ácido ascórbico

A partir de los valores de L^* , a^* y b^* obtenidos para las zonas denominadas Centro, Cruz y Contorno, en las rodajas de banano pretratadas por inmersión en las soluciones de ácido cítrico y/o ácido ascórbico a diferentes tiempos de inmersión, se determinó el parámetro Delta (Δ), tomando como referencia los valores de L^* , a^* y b^* de una muestra de banano fresco recién cortado, no pardeado, con el objetivo de determinar el mejor tratamiento; aquel con la menor diferencia en las coordenadas de color, en relación con los valores de referencia. En el presente estudio, los valores de referencia considerados para las coordenadas de L^* , a^* y b^* fueron: $L_0^* 90$, $a_0^* 1.3$ y $b_0^* 12$.

En la Tabla 9 se muestran los valores de Delta (Δ) para cada uno de los tratamientos evaluados, en cada una de las zonas de la rodaja (Contorno, Cruz y Centro); en esta Tabla puede observarse que el Tratamiento 19, el cual corresponde a la inmersión de las rodajas en una solución acuosa de 300 mg por mL de ácido ascórbico, sin ácido cítrico, por un tiempo de inmersión de 20 minutos, es el tratamiento que presentó, para las tres zonas de la rodaja, los menores valores de Delta. Por lo que podemos decir que este tratamiento es el que permite obtener las menores diferencias en el color, en relación con las rodajas de referencia, considerándose entonces como el mejor pretratamiento, útil para disminuir el pardeamiento de las rodajas de banano durante su deshidratación.

Tabla 9. Valores de Delta para el contorno, cruz y centro de rodajas de banano sometidas a inmersión en ácido cítrico (0, 100, 200 y 300 mg/100mL) y ácido ascórbico (0, 100, 200 y 300 mg/100mL) a diferentes tiempos (0, 5, 10, 20, 30 min)

Tratamiento	Ácido cítrico	Ácido ascórbico	Tiempo	Delta contorno		Delta cruz		Delta centro	
				Media	*	Media	*	Media	*
19	0	300	20	15.13±4.87	x	16.35±5.65	q	20.39±6.3	r
35	100	200	30	15.98±4.5	wx	28.32±5.86	mnpop	27.35±5.38	qr
18	0	300	10	18.43±3.21	uvwxy	24.46±2.26	pq	27.61±4.59	qr
7	0	100	5	18.19±2.75	vwx	25.71±5.4	nopq	31.93±4.59	pq
2	0	0	5	27.75±1.74	lmnopqrst	28.76±4.18	lmnop	34.01±5.52	opq
34	100	200	20	24.28±3.53	qrstuvwxy	32.72±5.2	hijklmnop	36.13±5.54	mnopq
29	100	100	20	25.78±6.22	nopqrstuv	25.21±4.52	opq	36.94±5.75	Mnopq
30	100	100	30	25.78±6.22	nopqrstuv	25.21±4.52	opq	36.94±5.75	Mnopq
15	0	200	30	31.3±1.45	ijklmnopqrs	38.05±1.91	bcdefghijkl	37.69±6.34	Lmnop
22	100	0	5	30.87±3.89	ijklmnopqrst	33.52±4.88	fghijklmnop	37.77±4.18	Lmnop
69	300	100	20	43.53±2.47	cdefg	42.82±1.37	bcdef	38.59±2.15	Klmnop
53	200	200	10	24.53±4.36	qrstuvw	32.19±6.1	ijklmnop	38.63±5.42	Klmnop
68	300	100	10	42.9±1.09	cdefgh	42.75±1.52	bcdef	38.75±2.19	Jklmnop
8	0	100	10	21.88±3.72	tuvwxyz	30±5.25	klmnop	39.23±7.89	Jklmnop
12	0	200	5	31.2±4.33	ijklmnopqrs	35.62±5.73	cdefghijklm	39.4±5.1	Ijklmnop
63	300	0	10	45.13±2.61	cdef	39.31±4.8	bcdefghijk	39.45±3.36	Hijklmnop
32	100	200	5	27.85±4.23	lmnopqrst	38.41±7.59	bcdefghijkl	39.68±6.95	Hijklmnop
49	200	100	20	24.87±4.19	pqrstuvw	31.82±5.14	ijklmnop	39.82±4.68	Ghijklmnop
5	0	0	30	26.16±6.31	mnpopqrstuv	33.64±6.68	fghijklmnop	40.04±8.72	Ghijklmnop
39	100	300	20	30.28±3.7	ijklmnopqrst	37.04±6.84	bcdefghijklm	40.22±6.26	Ghijklmnop
14	0	200	20	31±7.06	ijklmnopqrst	34.73±5.98	efghijklmno	40.43±5.84	Ghijklmnop
1	0	0	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
6	0	100	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
11	0	200	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
16	0	300	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
21	100	0	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
26	100	100	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
31	100	200	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
36	100	300	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
41	200	0	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
46	200	100	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
51	200	200	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
56	200	300	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
61	300	0	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
66	300	100	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
71	300	200	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
76	300	300	0	32.32±7.34	ijklmnopq	36.16±6.02	bcdefghijklm	41.3±5.86	Fghijklmnop
3	0	0	10	28.02±1.82	lmnopqrst	35.91±2.98	bcdefghijklm	41.36±3.41	Fghijklmnop
52	200	200	5	29.08±5.38	klmnopqrst	36.11±6.56	bcdefghijklm	41.88±7.57	Efghijklmno
4	0	0	20	25.87±4.1	nopqrstuv	34.09±4.14	fghijklmnop	42.04±2.64	Efghijklmno
67	300	100	5	46.4±1.55	cde	41.92±2.12	bcdefgh	42.13±2.31	Efghijklmno
42	200	0	5	27.98±5.55	lmnopqrst	34.19±4.7	fghijklmno	42.19±4.45	Efghijklmno
13	0	200	10	27.8±2.29	lmnopqrst	35.78±1.78	cdefghijklm	42.66±4.53	Defghijklmno
20	0	300	30	35.41±4.39	ghijklm	38.62±3.54	bcdefghijk	42.69±3.05	Defghijklmno
43	200	0	10	27.17±5.86	lmnopqrstuv	32.65±4.37	hijklmnop	42.71±6.13	Defghijklmno
72	300	200	5	46.13±3.56	cde	42.46±3.61	bcdefg	43±2.06	Defghijklmno
38	100	300	10	33.99±5.54	hijklmnop	42.58±9.79	bedefg	43.07±9.57	Defghijklmno
55	200	200	30	25.75±4.87	nopqrstuv	37.18±4.18	bcdefghijklm	43.97±3.7	Defghijklmno
17	0	300	5	26.92±3.38	lmnopqrstuv	35.57±2.61	cdefghijklm	44.19±1.51	Defghijklmno
62	300	0	5	56.94±3.56	ab	44.73±2.5	bc	44.43±1.61	Defghijklmno
65	300	0	30	57.36±2.62	a	44.73±2.5	bc	44.43±1.61	Defghijklmno
58	200	300	10	28.83±4.46	klmnopqrst	37.37±4.28	bcdefghijklm	44.67±7.31	Defghijklmno
57	200	300	5	27.59±4.67	lmnopqrstu	38.9±6.13	bcdefghijk	44.7±7.28	Defghijklmno
64	300	0	20	47.86±5.48	bcd	40.72±2.6	bcdefghij	45.19±6.07	Defghijklmno
28	100	100	10	26.19±3.67	mnpopqrstuv	34.92±8.72	defghijklmno	45.43±3.41	Defghijklmno
23	100	0	10	32.14±5.51	ijklmnopqr	33.04±4.89	ghijklmnop	45.65±5.04	Cdefghijklmno
27	100	100	5	26.63±2.78	mnpopqrstuv	34.53±8.72	efghijklmno	45.67±3.16	Cdefghijklmno
24	100	0	20	24.57±2.82	qrstuvw	35.57±7.54	cdefghijklm	45.88±8.36	Cdefghijklmno
25	100	0	30	23.77±2.28	qrstuvwxy	35.76±6.62	cdefghijklm	46.06±8.05	Cdefghijklmno
50	200	100	30	28.84±3.63	klmnopqrst	34.73±3.65	efghijklmno	46.66±2.32	Bcdefghijklmno
9	0	100	20	22.32±3.38	stuvwxy	37.74±2.55	bcdefghijklm	46.95±6.09	Bcdefghijklmno
10	0	100	30	22.96±3.49	rstuvwxy	38.02±2.65	bcdefghijkl	46.96±6.07	Bcdefghijklmno
47	200	100	5	30.99±6.85	ijklmnopqrst	38.16±3.75	bcdefghijkl	47.19±7.51	Bcdefghijklmno
44	200	0	20	28.75±4.39	klmnopqrst	35.32±6.04	cdefghijklmno	47.6±5.62	Bcdefghijklmno
37	100	300	5	36.06±3.97	fghijkl	44.49±2.76	bcd	47.89±1.29	Bcdefghijklmno
80	300	300	30	42.37±3.28	cdefgh	39.84±3.18	bcdefghijk	48.16±3.67	Bcdefghijklmno
48	200	100	10	30.18±5.76	ijklmnopqrst	37.34±5.76	bcdefghijklm	48.17±7.85	Bcdefghijklmno
54	200	200	20	25.43±4.4	opqrstuv	33.76±7.63	fghijklmnop	48.64±3.17	Bcdefghijklmno
40	100	300	30	37.84±3.38	efghijk	41.46±4.25	bcdefghij	49.27±3.32	Bcdefghijklmno
70	300	100	30	42.11±1.51	defgh	41.59±3.56	bcdefghi	49.37±1.53	Bcdefghijklmno
77	300	300	5	39.1±2.48	defghij	42.07±1.42	bcdefgh	49.69±2.26	Bcdefghijklmno
73	300	200	10	45.78±2.79	cde	36.19±2.08	bcdefghijklm	50.65±3.54	Bcdefghijklmno

74	300	200	20	39.11±4.83	defghij	38.04±5.44	bdefghijkl	50.74±2.46	Bcdef
59	200	300	20	42.5±2.19	cdefgh	41.38±4.92	bdefghij	51.2±3.9	Bcdef
60	200	300	30	42.5±2.19	cdefgh	41.38±4.92	bdefghij	51.2±3.9	Bcdef
75	300	200	30	40.88±3.82	defghi	45.5±2.57	b	51.57±1.63	Abcde
45	200	0	30	34.64±2.49	ghijklmno	41.36±4.16	bdefghij	52.49±7.78	Abcd
78	300	300	10	39.11±5.58	defghij	43.84±1.12	bcde	55.47±1.36	Abc
79	300	300	20	34.92±1.36	ghijklmn	44.04±2.16	bcde	56.03±1.53	Ab
33	100	200	10	51.53±4.89	abc	57.35±5.08	a	61.28±5.08	A

*Valores medios ubicados en la misma columna que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

En la Figura 17 se observa que la mayor parte de los tratamientos, para la posición Centro, se encuentran entre las 40 y 50 unidades en la escala de Delta, mientras que los tratamientos 19, 18 y 35 son los de menor valor Delta.

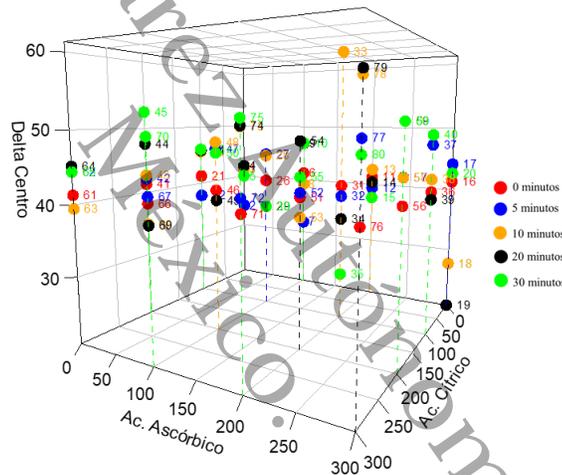


Figura 17 Efecto de la concentración de ácido cítrico (mg/100mL de solución), ácido ascórbico (mg/100mL de solución) y tiempo de inmersión (minutos), sobre los valores de Delta de la zona centro de las rodajas de banana sometidas a inmersión. El número en cada marcador corresponde al número del tratamiento en la Tabla 8.

De igual manera se encuentran distribuidos los tratamientos para la zona de Cruz, para la cual los tratamientos 18 y 19 son los más próximos al valor de Delta deseado (Figura 18).

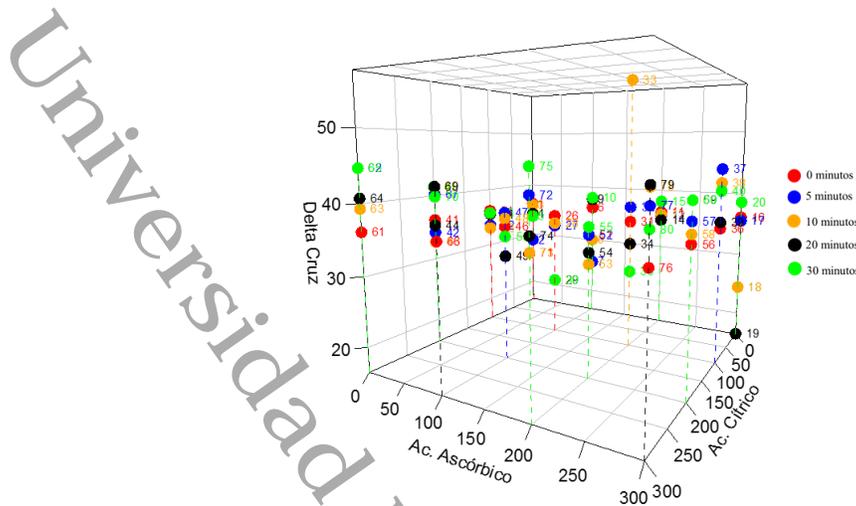


Figura 18. Efecto de la concentración de ácido cítrico (mg/100mL de solución), ácido ascórbico (mg/100mL de solución) y tiempo de inmersión (minutos), sobre los valores de Delta de la Cruz en las rodajas de banano sometidas a inmersión. El número en cada marcador corresponde al número del tratamiento en la Tabla 8.

Sin embargo, en la zona del Contorno se observó que los tratamientos se agruparon por debajo de los valores de Delta para Cruz y Centro, lo que indica que esta zona presentó menores cambios en color, para la mayor parte de los tratamientos, durante el proceso de deshidratación. De igual forma que para las dos zonas de color anteriores, los tratamientos 19 y 18 son los que mayor semejanza tiene con el tratamiento deseado (Figura 19).

En ese sentido, el cambio de color en la superficial de las rodajas se atribuye al pardeamiento enzimático; dichos cambios de color se explican por la distribución heterogénea de los compuestos polifenólicos y de la enzima polifenol oxidasa (PPO), las cuales son mayores en el centro, seguido de la cruz y con menos proporción en el contorno. Galezzi *et. al.* (1981) señalan una mayor actividad enzimática de la enzima PPO en la pulpa interna del banano, en comparación con la pulpa externa. Por otra parte, el efecto del pretratamiento en las rodajas banano deshidratadas es similar al reportado por Alonso *et al.* (2014) para rebanadas de papa, en las que el ácido ascórbico, más que el ácido cítrico, disminuyó el pardeamiento enzimático después de su inmersión por 20 minutos en soluciones acuosas de dichos ácidos. Algunos autores han reportado también la aparición de colores anaranjados en la materia vegetal

pretratado con ácido cítrico y posterior deshidratación (Sardiñas-Reynaldo, *et al.*, 2018; Espejo-Pingus, *et al.*, 2020). Lo anterior explica el efecto antagonista con el ácido ascórbico observado en las diferentes zonas de color en las rodajas de banano con diferentes concentraciones de ácido cítrico.

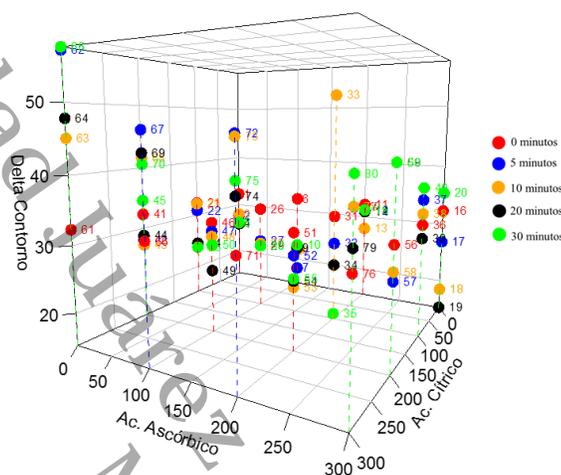


Figura 19. Efecto de la concentración de ácido cítrico (mg/100mL de solución), ácido ascórbico (mg/100mL de solución) y tiempo de inmersión (minutos), sobre los valores de Delta del Contorno de las rodajas de banano sometidas a inmersión. El número en cada marcador corresponde al número del tratamiento en la Tabla 8.

8.2.3 Incorporación de curcuminoides a las rodajas de banano pretratadas y deshidratadas, sometidas a freído

La cúrcuma es comúnmente utilizada como colorante natural y son los curcuminoides los encargados de dar color amarillo a los productos alimentarios a los que son añadidos; por esta razón se hizo necesaria la evaluación del color, así como la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano después del freído; aspectos que están relacionados también con la estabilidad oxidativa y la aceptación sensorial del producto fina

8.2.3.1 Análisis del color en rodajas de banana fritas previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) en las ubicaciones Contorno, Centro y Cruz de las rodajas previamente sumergidas en los extractos etanólicos de cúrcuma con 1, 3 y 5 mg de curcuminoides por ml, por 1, 3, 5, 7 y 9 minutos de inmersión. Los resultados del análisis estadístico muestran efecto significativo ($p \leq 0.05$) para cada uno de los factores evaluados: Concentración de curcuminoides, Tiempo de inmersión y Ubicación de la lectura (Tabla 10).

Tabla 10 Análisis de Varianza de los factores concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y ubicación de la lectura, en el color de las rodajas de banana sometidas al freído.

Fuente	GL	SC Ajust.			MC Ajust.			Valor F			Valor p<0.05		
		L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
¹ Conc	2	870.9	638.98	1341.5	435.43	319.49	670.73	38.33	96.24	74.55	0	0	0
Tiempo	5	5199.5	370.83	11863	1039.9	74.165	2372.6	91.55	22.34	263.7	0	0	0
² UbicLect	2	2033.3	22.1	1570	1016.7	11.052	784.99	89.5	3.33	87.25	0	0.04	0
Conc*Tiempo	10	516.1	191.04	411	51.61	19.104	41.1	4.54	5.75	4.57	0	0	0
Conc*UbicLect	4	57	10.28	8.6	14.24	2.569	2.14	1.25	0.77	0.24	0.293	0.544	0.916
Tiempo*UbicLect	10	585.7	37.88	460	58.57	3.788	46	5.16	1.14	5.11	0	0.339	0
Conc*Tiempo*UbicLect	20	229.8	50.94	374	11.49	2.547	18.7	1.01	0.77	2.08	0.455	0.746	0.009
Error	108	1226.8	358.53	971.7	11.36	3.32	9						
Total	161	10719	1680.6	16999.6									

¹Conc: Concentración de curcuminoides, ²UbicLect: Ubicación de la lectura

También se observó un efecto significativo para la interacción doble entre los factores Concentración de curcumina-Tiempo en las coordenadas L^* , a^* y b^* , así como en la interacción Tiempo-Ubicación de la lectura para las coordenadas L^* y b^* . La interacción triple fue significativa para los valores en b^* (Amarillo- azul).

8.2.3.1.1 Análisis de color en el Contorno de las rodajas de banana fritas previa incorporación de curcuminoides

El color en el contorno de las rodajas sufrió una disminución en los valores de luminosidad (L), esto se debe al cambio de color en la superficie de las rodajas deshidratadas (beige-crema) al color característico de la curcumina (Amarillo).

El análisis del color muestra que la concentración de curcuminoides en la solución de 1mg/mL fue la que permitió un mayor valor lumínico e las rodajas, en comparación con las concentraciones de curcumina de 3 y 5 mg/mL; aunque inferior al valor obtenido para el tratamiento testigo (rodajas de banana fritas sin inmersión previa en una solución de curcuminoides). Además, se observó un descenso en el parámetro L* para la inmersión a las concentraciones de 3 y 5 mg de curcumina por mL (Figura 20). El tratamiento control es significativamente mayor a todos los tratamientos, esto a razón que el color claro de la rodaja sufre un cambio importante en las rodajas con curcuminoides.

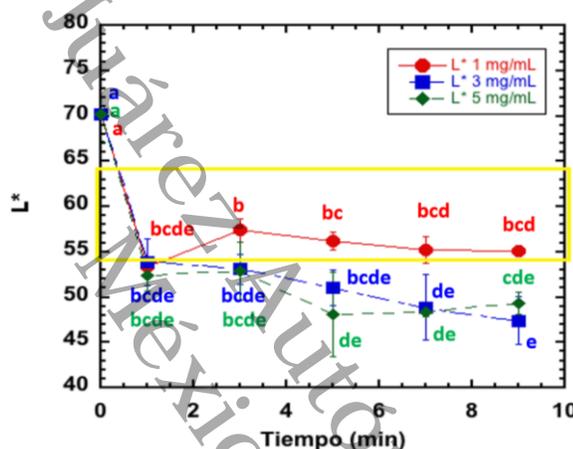


Figura 20. Análisis de la coordenada L* en el contorno en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

De igual manera se observó un cambio importante en los parámetros a^* (Figura 21) y b^* (Figura 22), para los que después de 1 minuto de inmersión en los extractos etanólicos de curcuminoides, los valores se incrementaron significativamente con respecto al tiempo 0. El extracto con 5mg de curcuminoides por mL fue el que proporcionó el mayor valor en a^* , mientras que en la coordenada b^* , se obtuvieron valores elevados durante los primeros 1 y 3 min. Para ambos parámetros (a^* y b^*), la concentración de curcuminoides de 1mg/mL fue la que presentó los menores valores.

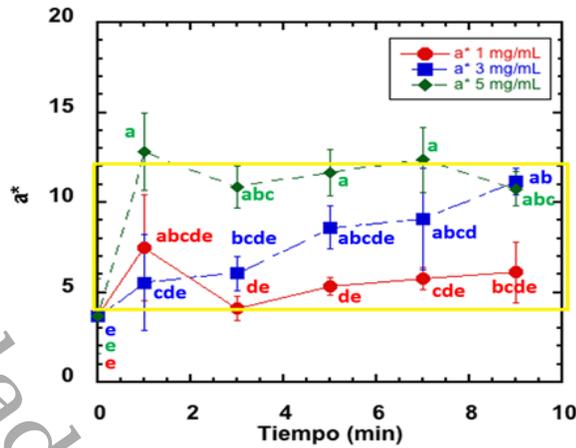


Figura 21 Análisis de la coordenada a^* en el contorno en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

Cabe destacar que el parámetro b^* presentó una diferencia de 34 unidades con respecto al valor de la muestra testigo, siendo este el parámetro que mayor contraste presentó con la incorporación de los curcuminoides.

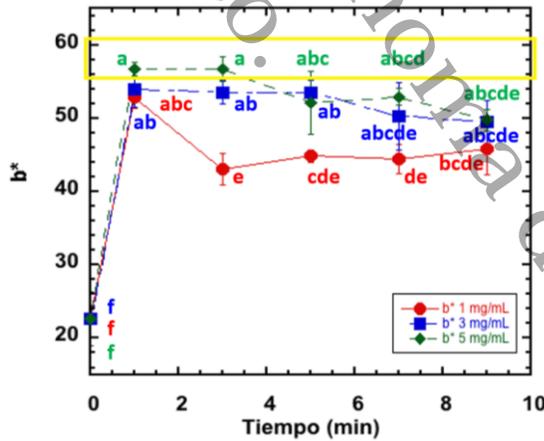


Figura 22. Análisis de la coordenada b^* en el contorno en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

8.2.3.1.2 Análisis de color en el Centro de las rodajas de banano fritas previa incorporación de curcuminoides

El centro y la cruz son las dos posiciones de mayor interés en las rodajas de banano deshidratadas, porque son las posiciones con mayor oscurecimiento durante el proceso y, si bien después del pretratamiento se observó un menor pardeamiento en estas zonas, aun son visibles las tonalidades oscuras. En la Figura 23 se observa que al minuto 1 de inmersión en los extractos, se presenta una disminución acusada de la luminosidad con respecto al tratamiento testigo, para posteriormente estabilizarse con respecto al tiempo, en los tres tratamientos (1, 3, y 5 mg de curcumina/mL de extracto).

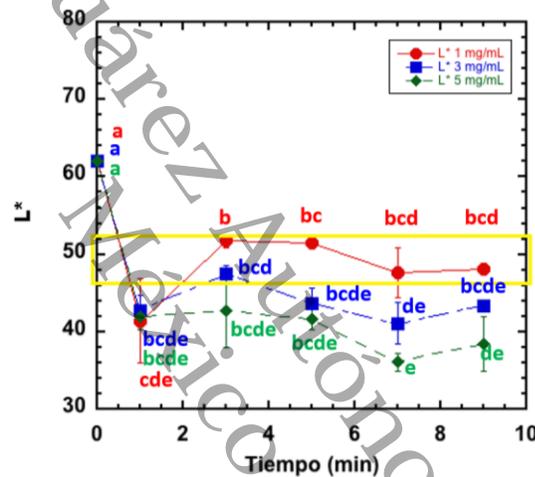


Figura 23. Análisis de la coordenada L* en el centro en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

Para este parámetro L* (Figura 23), se observó una disminución de 17 unidades, mientras que el parámetro a* (Figura 24), se observó un incremento en 6 unidades con respecto a las rodajas sin curcuminoides; siendo el tratamiento testigo (0 mg/mL) el que presentó la mayor luminosidad, mientras que los tratamientos cuya inmersión se realizó en los extractos con 5mg de curcuminoides por mL, fueron los que presentaron los mayores valores en a*.

observó también un incremento progresivo en estos valores de a^* , en relación con el incremento en la concentración de curcuminoides en los extractos; no observándose efectos significativos con el tiempo de inmersión.

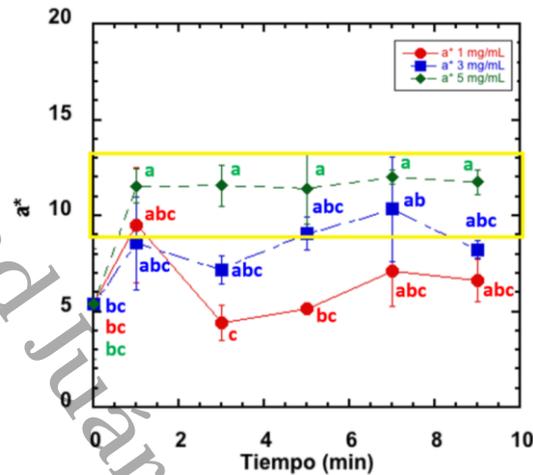


Figura 24. Análisis de la coordenada a^* en el centro en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

Por otra parte, tenemos un incremento de 34 unidades en el parámetro b^* para el centro de las rodajas tratadas con curcuminoides, en comparación con el tratamiento testigo. Siendo los tratamientos con 3 y 5 mg/mL, significativamente mayores que el tratamiento con 1 mg/mL (Figura 25).

En conjunto, los valores de luminosidad (L^*) y de b^* para el Centro de las rodajas resultaron mucho menores en comparación con los valores observados para el Contorno, y es que, si bien el centro es más oscuro y menos amarillo, los curcuminoides contribuyeron a dar un color amarillo-oscuro en el centro en comparación con el color de las rodajas deshidratadas y sin la incorporación de curcuminoides, en las que la tonalidad es completamente oscura.

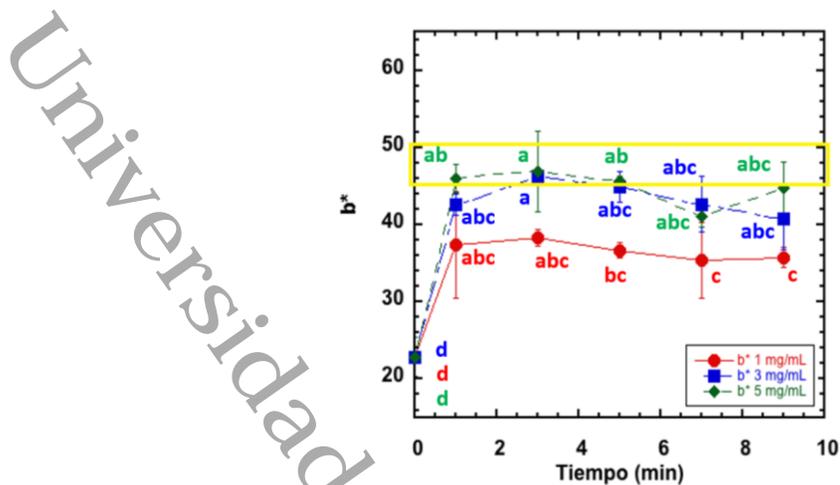


Figura 25. Análisis de la coordenada b^* en el centro en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

8.2.3.1.3 Análisis de color en la Cruz de las rodajas de banano fritas previa incorporación de curcuminoides

El color en la cruz de las rodajas sufrió una ligera disminución en los valores de luminosidad (L^*), un efecto no tan pronunciado en comparación con el cambio de color observado para el contorno.

El análisis de los resultados para la cruz en las rodajas indica que existe una disminución en el parámetro L^* debido a la inmersión de éstas en los extractos. Sin embargo, la diferencia entre el valor obtenido para el tratamiento testigo y el de las rodajas inmersas por un minuto en los extractos, es inferior al obtenido para las posiciones de contorno y centro (Figura 26).

De igual manera que en las posiciones anteriores, se observa que al aumentar la concentración de curcuminoides en los extractos, aumentan significativamente los valores en los parámetros de a^* (Figura 27) y b^* (Figura 28). Para el parámetro a^* , se observa que la inmersión de las rodajas en los extractos con 5mg de curcuminoides por mL fue significativamente mayor con respecto al tratamiento testigo.

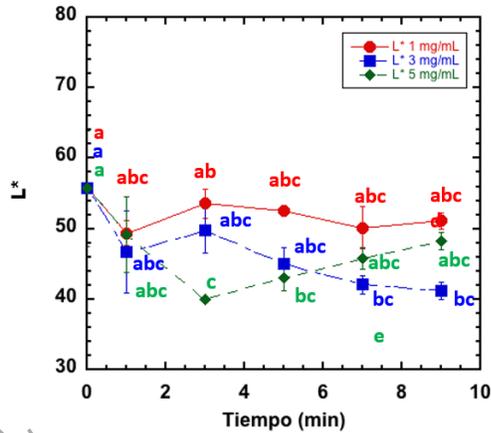


Figura 26. Análisis de la coordenada L* en la cruz en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

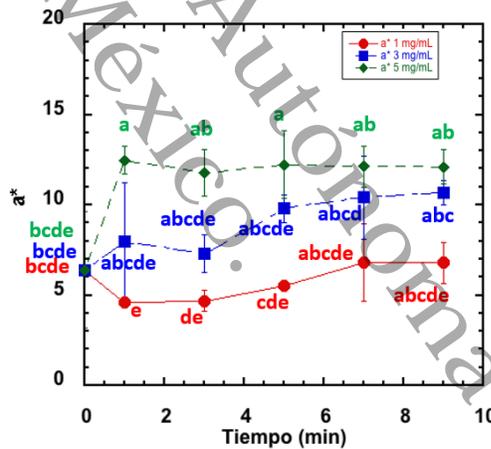


Figura 27. Análisis de la coordenada a* en la cruz en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

En relación con el color amarillo (+b*), se observa una diferencia significativa entre el tratamiento testigo y los tratamientos con curcuminoides (Figura 28), siendo estos últimos más amarillos, con valores de b* superiores.

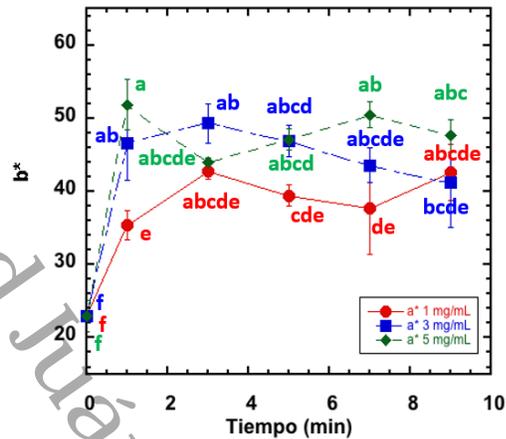


Figura 28. Análisis de la coordenada b* en la cruz en rodajas inmersas en curcuminoides a diferentes tiempos de inmersión. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). El recuadro interno de color amarillo indica para cada coordenada el valor medio ± 1 Desviación estándar de mediciones realizadas a rodajas de plátano frito comercial.

Si bien la coordenada b* nos señala los importantes cambios en la tonalidad de amarillo en la zona de la cruz, es muy conocido que los alimentos fritos tengan una transformación del color propia del proceso de cocción en aceite. La escasa diferencia que existe en esta zona de color es claramente el resultado del efecto dorado que existe en las rodajas control, color que es muy cercano a las tonalidades amarillas. Esto explicaría las similitudes encontrar en las coordenadas L* y a* con respecto a las rodajas inmersas en curcuminoides.

8.2.3.2 Estimación del parámetro Delta (Δ) en las rodajas pretratadas, deshidratadas e inmersas en los extractos etanólicos de curcuminoides

A partir de los valores de L*, a* y b* obtenidos para las zonas denominadas Centro, Cruz y Contorno, en las rodajas de banano pretratadas, deshidratadas e inmersas en los extractos de cúrcuma; se determinó el parámetro Delta (Δ), tomando como referencia los valores de L*, a* y b* de una muestra de banano frito tipo botana comercial, ampliamente reconocido y

consumido a nivel local y regional, con el objetivo de determinar el mejor tratamiento; aquel con la menor diferencia en las coordenadas de color, en relación con los valores de referencia. En el estudio, los valores de referencia considerados para las coordenadas de L*, a* y b* fueron: para el centro L₀* 47.95, a₀* 11.77, b₀* 46.43, en la cruz L₀* 55.56, a₀* 9.15, b₀* 56.32 y en el contorno L₀* 60.60, a₀* 6.8 b₀* 59.46.

En la Tabla 11 se muestran los valores de Delta (Δ) para cada uno de los tratamientos evaluados, en cada una de las zonas de la rodaja (Contorno, Cruz y Centro); en esta Tabla puede observarse que el Tratamiento 7, el cual corresponde a la inmersión de las rodajas en un extracto etanólico de cúrcuma a la concentración de 3 mg de curcuminoides por mL, por un tiempo de inmersión de 3 minutos, es el tratamiento que presentó, para las tres zonas de la rodaja, los menores valores de Delta. Por lo que podemos decir que este tratamiento es el que permite obtener las menores diferencias en el color, en relación con las rodajas de referencia, considerándose entonces como el mejor pretratamiento.

Tabla 11. Valores de Delta de las rodajas de banana fritas sometidas previamente a inmersión en extractos etanólicos de curcuminoides (1, 3 y 5 mg/mL)

Tratamiento	Concentración (mg/mL)	Tiempo (min)	Centro *	Cruz *	Contorno *
7	3	3	5.32±1.02 d	10.35±4.00 d	9.71±3.51 E
8	3	5	6.56±2.69 cd	14.98±4.03 d	11.56±4.69 E
13	5	5	7.20±2.77 bcd	16.82± cd	15.43±6.04 De
11	5	1	7.41±2.85 bcd	10.04±5.47 cd	10.76±2.86 Cde
12	5	3	8.34±3.30 abcd	20.87±5.44 bcd	9.67±4.62 Bcde
6	3	1	8.77±3.60 abcd	14.60±7.81 bcd	9.41±3.73 Bcd
9	3	7	9.39±4.22 abcd	19.51±5.82 bcd	15.35±5.79 Abcd
10	3	9	10.85±11.52 abcd	22.28±10.34 bcd	17.26±5.64 Abcd
15	5	9	11.32±3.14 abcd	12.69±3.67 abc	15.52±3.78 Abcd
5	1	9	12.05±3.04 abc	15.23±4.49 abc	15.04±3.77 Abcd
2	1	3	12.07±2.63 abc	14.90±3.07 abc	17.11±3.69 Abcd
3	1	5	12.85±1.97 ab	17.88±4.21 ab	15.46±2.16 Abc
14	5	7	13.36±3.87 ab	12.79±3.47 ab	15.17±2.94 Ab
1	1	1	13.74±9.18 a	23.35±2.39 a	10.28±2.64 A
4	1	7	13.81±7.03 a	20.36±8.33 a	16.16±3.95 A

*Valores medios ubicados en la misma columna que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, p < 0.05).

Los valores de Delta para el centro de la rodaja (Figura 29) resultaron menores en comparación con los valores de Delta en el contorno (Figura 31), seguido de los valores para Delta en la cruz (Figura 30). Se observaron también diferencias significativas entre los valores de Delta obtenidos para las rodajas inmersas en los extractos con 1mg/mL de curcuminoides, en comparación con los valores obtenidos para las rodajas inmersas en los extractos con 3 y 5 mg/mL de curcuminoides.

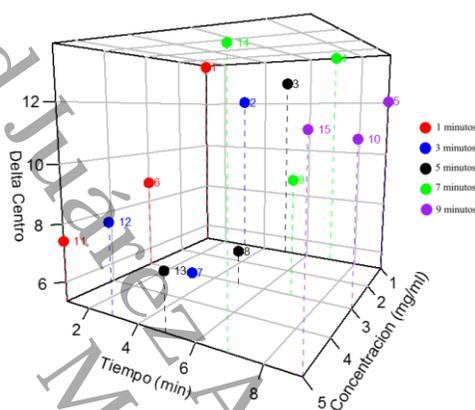


Figura 29 Efecto de la concentración de los extractos etanólicos con curcuminoides (1, 3 y 5 mg/mL) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 min), sobre los valores de Delta de la zona centro de las rodajas de banano sometidas a inmersión. El número en cada marcador corresponde al número del tratamiento en la Tabla 10.

Como ya se ha mencionado, las rodajas de banano inmersas por un tiempo de 3 minutos en el extracto etanólico de cúrcuma con 3mg de curcuminoides por mL (Tratamiento 7), son las que más se acercaron al color del producto comercial evaluado, para la posición centro; este mismo comportamiento se obtuvo para la ubicación cruz y contorno. Además, no se observan efectos en los valores de Delta, en relación con el tiempo de inmersión.

El color de las rodajas de banano después de su inmersión en los extractos con curcuminoides es diferente al color de las rodajas comerciales, en las diferentes ubicaciones analizadas (contorno, centro y cruz). Sin embargo, existe una cercanía entre el color de las rodajas sin curcuminoides y el de las rodajas con curcuminoides en la zona de la cruz. Esto último debido

a la aparición de un color dorado por su cocción en el aceite; efecto generalmente observado en los alimentos fritos.

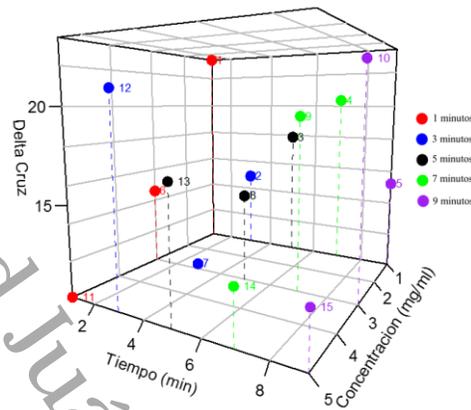


Figura 30 Efecto de la concentración de los extractos etanólicos con curcuminoides (1, 3 y 5 mg/mL) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 min), sobre los valores de Delta de la zona cruz de las rodajas de banana sometidas a inmersión. El número en cada marcador corresponde al número del tratamiento en la Tabla 10.

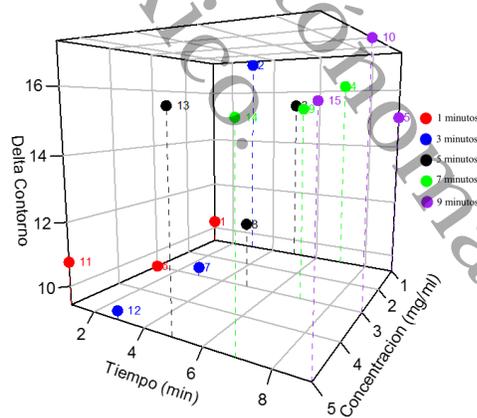


Figura 31 Efecto de la concentración de los extractos etanólicos con curcuminoides (1, 3 y 5 mg/mL) y tiempo de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 min), sobre los valores de Delta de la zona contorno de las rodajas de banana sometidas a inmersión. El número en cada marcador corresponde al número del tratamiento en la Tabla 10.

Por otra parte, la incorporación de curcuminoides proporciona a las rodajas deshidratadas de banano Cavendish (*Musa AAA*), un color amarillo, que ha sido observado en otros alimentos adicionados con curcuminoides; algunos autores reportan que cambios principalmente han las coordenadas de L^* y b^* . Si bien no existen referencias relacionadas con la adición de curcuminoides en banano Cavendish, se cuenta con un reporte relacionado con su adición en rodajas de plátano (*Musa Acuminata AA*); para los cuales los valores de L^* (53.30 ± 0.96) y de a^* (10.67 ± 1.6) son semejantes a los obtenidos para las rodajas de banano fritas (Norizzah et al., 2016). Mientras que los valores b^* fueron 46.55% superiores a los obtenidos en la incorporación de curcuminoides (5mg/mL). Por otra parte, las rodajas de banano Cavendish fritas, inmersas en 5mg/mL tienen valores ($L^*=55$, $a^*=$, 12 $b^*=58$) similares/cercanos a los reportados en la incorporación con 10g de cúrcuma en polvo en Yukwa ($L^*=63$, $a^*=$ 6, $b^*=63$), un alimento coreano a base de arroz inflado y frito (Seung-Taiky y Jung-Ah, 2015), así como la similitud existente entre el color de las rodajas con 3 mg/mL y los valores $L=53.73$, $a^*=-6.13$, $b^*= 47.47$ de patatas inmersa en 5% polvo de cúrcuma:etanol y posteriormente fritas por Soroushfard, et al., (2021).

8.2.3.3 Contenido de curcuminoides en rodajas de banano frito previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma

En la Tabla 12 se muestran los resultados de la cuantificación de curcuminoides en las rodajas de banano fritas, previamente tratadas por inmersión en soluciones de ácido cítrico y/o ascórbico, deshidratadas e inmersas en extractos etanólicos de cúrcuma a diferentes concentraciones de curcuminoides (1, 3 y 5 mg/mL). Con los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza, mismo que se muestra también en la Tabla 12. Los resultados del ANOVA muestran el efecto significativo de la concentración de curcuminoides en los extractos, no así del tiempo de inmersión, ni de su interacción con la concentración de los extractos, sobre el contenido de curcuminoides en las rodajas tratadas con los extractos.

Tabla 12. Análisis de Varianza de los factores concentración de curcuminoides en los extractos y tiempo de inmersión, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas previamente tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
¹ Conc (mg/mL)	2	602400	301200	128.31	0
Tiempo (min)	4	11072	2768	1.18	0.33
¹ Conc(mg/mL) *Tiempo (min)	8	18271	2284	0.97	0.47
Error	39	91553	2348		
Total	53	732577			

¹Conc: Concentración de curcuminoides

En la Tabla 13 se observa que las rodajas tratadas con los extractos de 5 mg de curcumina por mL presentaron la mayor incorporación de curcumina, con valores que van de 310.22 a 375.99 $\mu\text{g/mL}$, en comparación con las rodajas tratadas con los extractos etanólicos de menor concentración de curcuminoides (1 y 3 mg/mL). Las rodajas tratadas con los extractos con 3 mg/mL presentaron valores de entre 202.51 y 275.88 $\mu\text{g/mL}$, mientras que las rodajas inmersas en los extractos de 1mg/mL, presentaron la menor incorporación de curcuminoides, con valores de entre 56.75 y 89.79 $\mu\text{g/mL}$.

Tabla 13. Contenido de curcuminoides ($\mu\text{g/g}$) en rodajas de banano frito previa inmersión en los diferentes extractos etanólicos de *Cúrcuma longa*

Tiempo (min)	Extracto etanólicos de <i>Cúrcuma longa</i> L.		
	1 mg/mL	3 mg/mL	5 mg/mL
1	56.75 \pm 3.91 b B	204.88 \pm 75.82 a A	319.38 \pm 76.37 a A
3	57.09 \pm 14.20 b C	202.51 \pm 34.14 a B	362.17 \pm 33.47 a A
5	73.73 \pm 3.82 ab B	275.88 \pm 32.09 a A	356.93 \pm 66.78 a A
7	84.48 \pm 14.86 ab C	199.25 \pm 27.24 a B	375.99 \pm 77.71 a A
9	89.79 \pm 13.37 a C	210.22 \pm 19.51 a B	310.22 \pm 27.01 a A

Entradas en la misma columna con la diferente letra minúscula indica diferencia significativa (Prueba de Tukey $p>0.05$); entradas en la misma fila con la diferente letra mayúscula indica diferencia significativa (Prueba de Tukey $p>0.05$).

En los tratamientos con inmersión a 3, 7 y 9 minutos se observa un aumento significativo ($p>0.05$) y progresivo en relación con las concentraciones 1, 3 y 5mg/mL, mientras que, en los tratamientos con 1 y 5 minutos de inmersión, la diferencia estadística ($p<0.05$) entre 1mg/mL y los tratamientos 3 y 5 mg/mL. Si bien no existe

8.3 Estabilidad oxidativa de los lípidos en las rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído

La estabilidad oxidativa de los lípidos en las rodajas de banano fritas, previa inmersión en los extractos etanólicos de *Curcuma longa*, se realizó a través de la cuantificación de las sustancias reactivas al ácido Tiobarbitúrico (TBARS). Las TBARS se forman como un subproducto de la peroxidación de los lípidos y, el malondialdehído (MDA) es uno de los productos finales que se forman por la descomposición de los productos de la peroxidación lipídica. Pero el método de TBARS no es específico para el MDA, pues varios de los productos de la descomposición lipídica derivados de la peroxidación y distintos del MDA son positivos para el ácido tiobarbitúrico (TBA). Por lo que en general, la reactividad MDA/TBA es utilizada como un estimador confiable de la peroxidación lipídica.

Los resultados de la estabilidad oxidativa de los lípidos en las rodajas de banano fritas, previa inmersión en los extractos etanólicos de curcuminoides y almacenadas a 40 °C por 21 días, a través de la cuantificación de TBARS, se muestra en la Tabla 14, en la que la concentración de curcuminoides en los extractos etanólicos de *Cúrcuma longa* se indica como: Testigo (0 mg/mL), C1 (1 mg/mL), C3 (3 mg/mL) y C5 (5 mg/mL).

Tabla 14. Substancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mmol MDA/g) en rodajas de banano fritas, almacenadas a 40 °C.

Tiempo (Días)	Tratamiento			
	Testigo	C1	C3	C5
0	4.17±0.23 a B	2.59±0.54 a A	4.06±0.59 a B	5.49±0.18 a C
7	4.65±0.41 a A	3.93±0.46 ab A	5.03±0.46 a A	5.30±0.95 a A
14	6.63±0.60 b B	4.81±0.44 b A	6.23±0.97 a AB	6.47±0.37 a AB
21	7.05±0.65 b B	4.32±0.65 b A	5.90±1.18 a AB	6.45±0.44 a B

Valores medios±desviación estándar (n=3). Medias ubicadas en la misma columna con diferente letra minúscula indica diferencia significativa (Prueba de Tukey, $p \leq 0.05$). Medias ubicadas en la misma fila con diferente letra mayúscula indica diferencia significativa (Prueba de Tukey, $p \leq 0.05$).

Del análisis de los resultados obtenidos para la estabilidad oxidativa de los lípidos en las rodajas de banano podemos destacar que, al inicio del almacenamiento (día 0), las TBARS para las rodajas tratadas por inmersión en el extracto etanólico de curcuminoides a una

concentración de 1mg/mL, fueron significativamente menores que para las rodajas testigo, mientras que los rodajas inmersas en el extracto con 5 mg de curcuminoides por mL, el valor de TBARS resultó significativamente mayor que para el tratamiento testigo; no observándose diferencias entre las rodajas inmersas en el extracto de 3 mg/mL de curcuminoides y las rodajas testigo. A los siete días de almacenamiento, los valores de las TBARS fueron estadísticamente iguales, para las rodajas inmersas en los extractos etanólicos de curcuminoides y para las rodajas testigo. Sin embargo, a los 14 y 21 días de almacenamiento, nuevamente las TBARS para las rodajas tratadas por inmersión en el extracto etanólico de curcuminoides a una concentración de 1mg/mL, fueron significativamente menores que para las rodajas testigo, mientras que las rodajas inmersas en los extractos con 3 y 5 mg de curcuminoides por mL, el valor de TBARS resultó estadísticamente igual que para el tratamiento testigo.

La incorporación de curcuminoides a las rodajas de banano, además de brindar un color amarillo y reducir el oscurecimiento en las mismas, brinda de una protección contra la oxidación de los lípidos en las rodajas tratadas con el extracto a 1mg de curcuminoides por mL. Sin embargo, en las rodajas tratadas con los extractos a las concentraciones de 3 y 5 mg de curcuminoides por mL, se observa lo que parece ser un efecto pro-oxidante de los curcuminoides sobre los lípidos presentes en las rodajas de banano fritas; este efecto ha sido señalado con anterioridad en aceites con altas concentraciones de β -caroteno (Pérez- Trueba, 2003; Meléndez-Martínez, *et al.*, 2004).

Es necesario resaltar que la curcumina es una molécula de estequiometría variable, la que cambia en relación con el pH del medio (González-Albadalejo *et al.*, 2015). Los medios básicos provocan la degradación de la curcumina formando un radical oxi. Rége *et al.* (2021) señalan que el radical oxi genera más radicales de carbono estables, que absorben el oxígeno, presentándose la autooxidación. Por lo tanto, el carbonilo α , β -insaturado de la curcumina es responsable de la producción de la especie de carbono reactivo (Mali y Mukherjee, 2021; Das y Das, 2002), causante del efecto prooxidante de la curcumina. Por otra parte, algunos autores señalan que el uso de surfactantes (Tween-20) y otras sustancias (Piperina, fosfolípidos) ayudan mejorar la estabilidad de la curcumina y en consecuencia sus beneficios

(Lucas et al., 2021; Malik et al., 2019; Mirhafez et al., 2019). Lo anterior podría explicar el comportamiento observado en la estabilidad oxidativa de las rodajas de banano adicionada con curcuminoides.

8.4 Atributos sensoriales de las rodajas de banano adicionadas con curcuminoides y sometidas a freído

Las rodajas de banano fritas adicionadas con curcuminoides, por inmersión en extractos etanólicos de *Cúrcuma longa* a concentraciones de curcuminoides de 0, 1, 3 y 5 mg/ml, fueron evaluadas sensorialmente por 37 consumidores de entre 18 y 71 años, a través de una prueba afectiva, empleando una escala hedónica estructurada de 9 puntos, considerando los atributos de color, olor, sabor, crujiente, salado y aceptación general.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada uno de los atributos sensoriales evaluados en las rodajas inmersas en los extractos etanólicos de curcuminoides (0, 1, 3 y 5 mg/mL) y sometidas a freído; encontrándose efecto significativo para los atributos de color y crujiente, para las rodajas evaluadas, sometidas a los diferentes tratamientos. La aceptación general también muestra diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 15).

Tabla 15. Análisis de la varianza de los atributos sensoriales de las rodajas de banano fritas, adicionadas con curcuminoides.

Atributos sensoriales	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Color	3	27.95	9.3	4.26	0.006
Olor	3	1.11	0.3	0.2	0.898
Sabor	3	8.62	2.8	1.57	0.2
Crujiente	3	41.91	13.9	6.02	0.001
Salado	3	11.26	3.7	1.75	0.16
Aceptación General	3	11.19	3.7	2.59	0.056

En relación con el color, las rodajas de banano que mayor nivel de agrado mostraron, fueron las rodajas tratadas por inmersión en los extractos etanólicos de curcuminoides (Figura 32), mientras que el tratamiento testigo, sin adición de curcuminoides, presentó un nivel de agrado

significativamente menor ($p \leq 0.05$). Todos los tratamientos, sin embargo, presentaron niveles de agrado superiores a 5 (indiferente), lo que indica la aceptabilidad sensorial en el color de las rodajas.

Algunos autores han reportado previamente la aceptación sensorial del color en alimentos adicionados con curcuminoides, con resultados significativamente superiores a los del alimento sin la adición de estos compuestos de color. Reportando de forma general que la aceptación sensorial del color en alimentos incorporados con curcuminoides ha sido considerada muy buena (Seung-Taiky y Jung-Ah, 2015; Merala, et al., 2019).

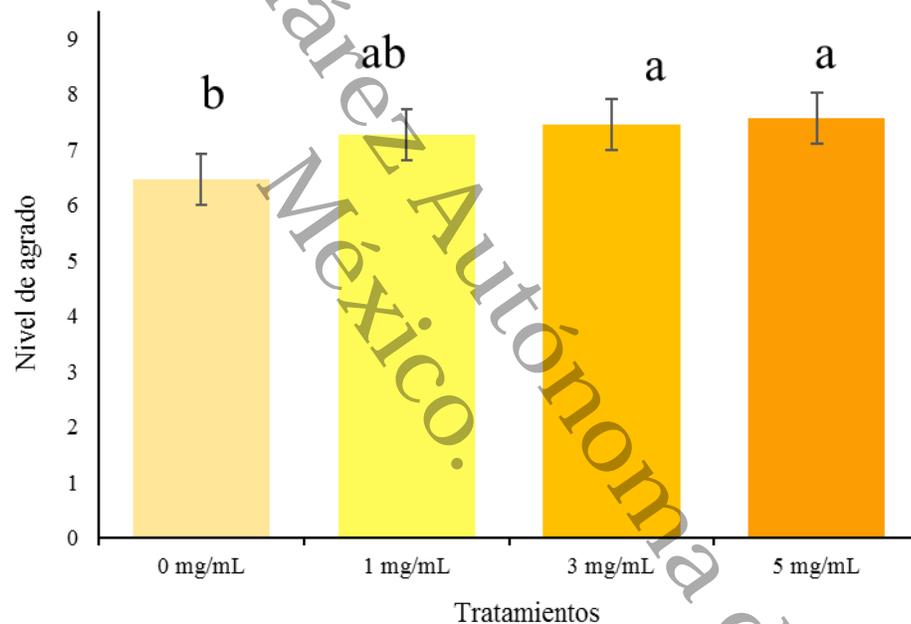


Figura 32. Nivel de agrado para el atributo sensorial de color en las rodajas de banana fritas, adicionadas con curcuminoides. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). Las barras indican el intervalo de confianza (IC) del 95 % para la concentración de curcuminoides.

Otro indicador importante fue el atributo Crujiente; para este parámetro, el nivel de agrado para la muestra testigo fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$), en comparación con el nivel de agrado obtenido para las rodajas tratadas con los extractos etanólicos de curcuminoides

(1, 3 y 5 mg/mL); mientras que entre éstos últimos tratamientos, no se presentaron diferencias significativas entre sus niveles de agrado para este parámetro evaluado (Figura 33).

De acuerdo con Ortega-Quintana (2015), las características deseables de los alimentos freídos son derivados de las estructura seca, porosa, crocante con un interior cocido. En este sentido las rodajas incorporadas con curcumina y fritas resultaron menos crocantes que las rodajas testigo, por lo que es posible que sea necesario prolongar el tiempo de cocción durante el freído, siempre y cuando esto no afecte a los demás atributos sensoriales. Si bien, este atributo sensorial en las rodajas puede mejorar, los resultados del estudio muestran niveles de aceptación superiores a 5 (indiferente).

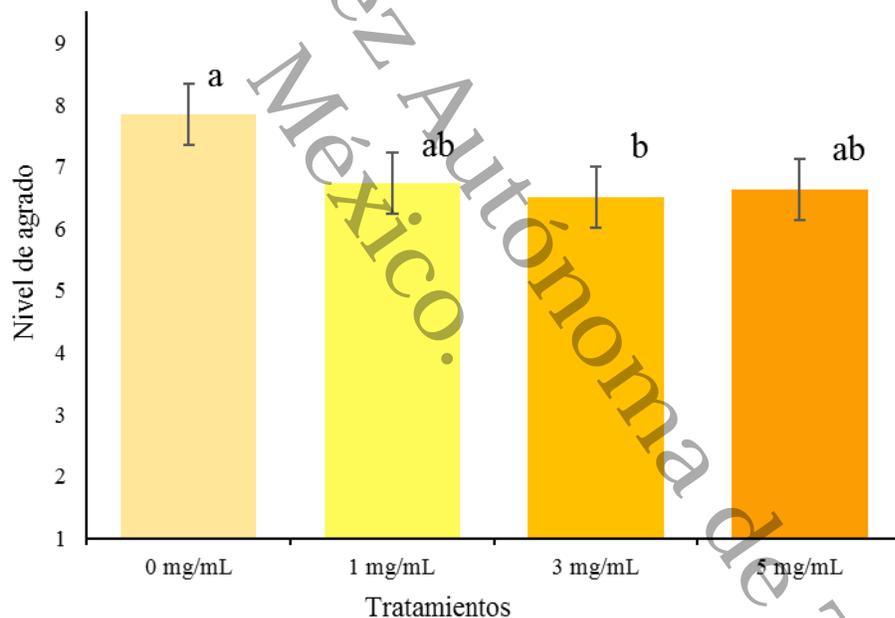


Figura 33. Nivel de agrado para el atributo sensorial crujiente en las rodajas de banana fritas, adicionadas con curcuminoides. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Prueba de Tukey $p > 0.05$). Las barras indican el intervalo de confianza (IC) del 95 % para la concentración de curcuminoides.

Por otra parte, en relación con la aceptación general de las rodajas, el análisis estadístico de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) muestra una diferencia significativa entre las rodajas tratadas con el extracto etanólico de curcuminoides a una concentración de 3 mg/mL, en comparación con el tratamiento testigo, sin la adición de curcuminoides, para el que el nivel de agrado fue mayor ($p \leq 0.05$). Sin embargo, los tratamientos con los extractos etanólicos de curcuminoides a las concentraciones de 1 y 5 mg/mL, presentaron el mismo nivel de agrado que el tratamiento testigo y el tratamiento de inmersión en el extracto de 3mg/mL de curcuminoides (Figura 34). En términos generales, las rodajas incorporadas con curcuminoides fueron sensorialmente aceptadas, con niveles de agrado que rondaron entre me gusta moderadamente (7) y me gusta mucho (8).

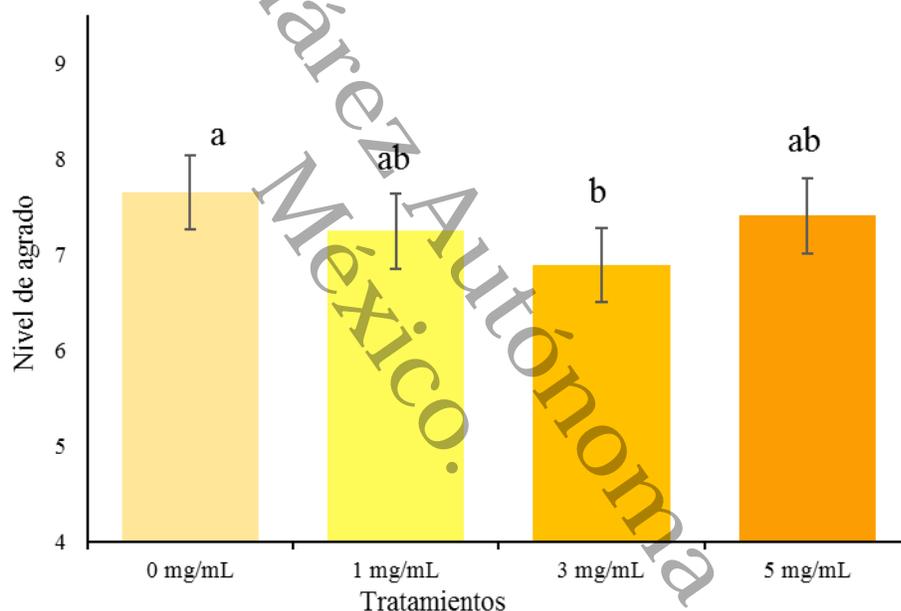


Figura 34. Nivel de agrado para la aceptación general de las rodajas de banano fritas, adicionadas con curcuminoides. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Las barras indican el intervalo de confianza (IC) del 95 % para la concentración de curcuminoides.

9 Conclusiones

En conclusión podemos decir que el banano *Cavendish* es una materia vegetal que permite la incorporación de curcuminoides para la elaboración de un producto tipo botana con una buena aceptación sensorial, con un nivel de agrado en la escala hedónica de entre me gusta moderadamente y me gusta mucho; es relativamente fácil de transformar en un alimento con potenciales beneficios para la salud; siempre que la materia vegetal sea previamente acondicionada, tratada con ácido ascórbico al 0.3 % y deshidratada; la incorporación de curcuminoides debe realizarse mediante inmersión, durante 1 minuto, en extractos etanólicos de *Curcuma longa* L. a una concentración de curcuminoides de 1mg/mL, esto último con el objetivo de garantizar la estabilidad oxidativa de la grasa en el producto finalmente obtenido, un producto tipo botana elaborado a base de rodajas de banano adicionadas con curcuminoides.

Literatura Citada

- Agrawal, A., Tyagi, R. K., Mahalakshmi, C., Hussain, Z., & Tyagi, H. (2007). Low-cost media for in vitro conservation of turmeric (*Curcuma longa* L.) and genetic stability assessment using RAPD markers. *The Society for In Vitro Biology*, 43(1), 51-58.
- Alonso, J., García-Jarquín, K., & González-Lindo, K. (2014). Producción de harina de papa para puré instantáneo. *Revista Científica Nexo*, 27(2), 99-114.
- Alvídrez-Morales, A., González-Ma, B. E., & Jiménez-Salas, Z. (2002). Tendencias En La Producción De Alimentos: Alimentos. *Revista Salud Publica y nutrición*, 3(3), 1-6.
- Arizaga, R., Barreto, D., Bavec, C., Berríos, W., Cristalli, D., Colli, L., . . . Golimstok, A. (2018). Dieta y prevención en enfermedad de Alzheimer. *Neurología Argentina*, 44-60.
- Arteaga-Alcivar, F. J. (2015). Origen y evolución del Banano. *SEDE PALMIRA*, 21(3), 50-62.
- Azmin, J., Zaidul, I., Rahmana, M., Sharif, K., Mohameda, A., Sahena, F., & Jahurul, M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 426-436.
- Bernal, E.A., Cuchillas, I. S., Hernández, E. E., 2019. Evaluación de dos aditivos antioxidantes naturales en la elaboración de mantequilla de semilla de marañón (*Anacardium occidentale* L.) y su efecto sobre la rancidez oxidativa y calidad sensorial. *2(3)*, 45-67
- Bejarano, R., Jairo, J., & Latorre, S. (2015). Algunos peligros químicos y nutricionales del consumo de alimentos de ventas en espacios públicos. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, 349-360.
- Bera, D., Lahiri, D., & Nag, A. (2014). Studies on a natural antioxidant for stabilization of edible oil and comparison with synthetic antioxidants. *Journal of Food Engineering*, 54(2006), 542-545.
- Blasco-López, G., & Gómez-Montaña, F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa* sp). *Revista Médica Universidad Veracruzana*, 1(1), 1-5.
- Blázquez-Abellán, G., López-Torres Hidalgo, J. D., Rabanales-Sotos, J., López-Torres López, J., & Val Jiménez, C. L. (2015). Alimentación saludable y autopercepción de salud. *Elservier Atención Primaria*, 1-8.
- Brat, P., Bugaud, C., Guillermet, C., & Salmonc, F. (2019). Review of banana green life throughout the food chain: From auto-catalytic induction to the optimisation of shipping and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 2(4), 1-13.

CEDRSSA. (2019). La Producción y el comercio del plátano. Ciudad de Mexico: Palacio Legislativo de San Lázaro.

Chaparro-Acuña, S. P. (2017). Producción de pasta alimenticia a partir de residuos de plátano harton pre-fritos. *Revista Ciencia y Agricultura de Colombia*, 14(1), 47-56.

COPLADET. (2018). Programa Sectorial De Desarrollo Agropecuario, Forestal Y Pesquero. Villahermosa, Tabasco: SEDAFO.

Costilla-Rafael , M. y otros, 2018. Caracterización físico-química y capacidad antioxidante de extractos del rizoma de *Curcuma longa* L.. *Revista Peruana de Medicina Integrada*, 3(4), pp. 160-166

Costilla-Rafael , M., Placencia-Medina, M., Retuerto-Figueroa, M., Gorriti-Gutierrez, A., & Tarazona-Huamaní, J. (2018). Caracterización físico-química y capacidad antioxidante de extractos del rizoma de *Curcuma longa* L. *Revista Peruana de Medicina Integrada*, 3(4), 160-166. doi:<http://dx.doi.org/10.26722/rpmi.2018.34.97>

Costilla-Rafael, M., Placencia-Medina, M., Retuerto-Figueroa, M., Gorriti-Gutierrez, A., & Tarazona-Huamaní, J. (2018). Caracterización físico-química y capacidad antioxidante de extractos del rizoma de *Curcuma longa* L. *Revista Peruana de Medicina Integrada*, 3(4), 160-166. doi:<http://dx.doi.org/10.26722/rpmi.2018.34.97>

Das, K. C. & Das, C. K., 2002. Curcumin (diferuloylmethane), a. *Biochem. Biophys. Res.*, pp. 62-66.

Da-Young, O., & Han-Soo, K. (2019). Effects of Turmeric (*Curcuma longa* L.) Bioactivity Compounds and Lipid Peroxidation Inhibitory Action. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, 36(2), 600-608.

Espejo-Pingus, J., Auquiñivin-Silva, E., & Torres Armas, E. A. (2020). Efecto del porcentaje de ácido cítrico sobre los cambios fisicoquímicos de. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(2). doi: <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i2.613>

FAO. (2009). CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP) EN LOS ALIMENTOS. Obtenido de http://www.fao.org/input/download/standards/11257/CXP_068s.pdf

FAO. (2020). Análisis del mercado del Banano: Resultados preliminares 2019. Roma.

Farkas, J., Floros, J., Lineback, D., & Watkins, B. (1997). Oxidation Kinetics of Menhaden Oil with TBHQ. *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*, 62(3), 505-509.

Field, S., Hazelwood, E., & Bourke, B. (2007). Allergic contact dermatitis from tertiarybutylhydroquinone and Laureth 12 in a hair dye. *Contact Dermatitis*, 56(1), 116-117.

Freeborn, R. A., Jefe, A. A., Lui, S., Jin, Y., Brocke, S., Turley, A. E., . . . Rockwell, C. E. (2019). The Immune Response to Influenza is Suppressed by the Synthetic Food Additive and Nrf2 Activator, tert-butylhydroquinone (tBHQ). *The FASE JOURNAL*, 33(1), 505. doi:https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.505.3

Gallinger, Claudia Isabel (2015); Estabilidad oxidativa y calidad sensorial de carne de pollo enriquecida con ácidos grasos n-3 proveniente de fuentes de origen vegetal y animal, protegida con vitamina E y selenio orgánico, *Revista INTA Digital*, 15(2), 26-44

García-Gómez, M. (2007). Potencial del plátano macho verde para la elaboración de botanas saludables. *Revista de la Universidad del Papaloapan*, 3(5), 1-11.

García-Mata, R., González-Machorro, F. M., García-Sánchez, R. C., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damian, M. A., & González-Estrada, A. (2017). EL MERCADO DEL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN MÉXICO, 1971-2017. *Agrociencia*, 47, 399-410.

Ghosh, S., Banerjee, S., & C. Sil*, P. (2015). The beneficial role of curcumin on inflammation, diabetes and neurodegenerative disease: A recent update. *Food and Chemical Toxicology*, 83, 111-124.

Gill, B. S., Navgeet, & Qiu, F. (2020). Technologies for extraction and production of bioactive compounds. 0 Elsevier, 1-25.

González-Leiva, E. (2001). Formulación de una confitura a base de banano y otras frutas tropicales, como medio de aprovechamiento de los excedentes y rechazos de frutas frescas de exportación. San José (Costa Rica): Red Nacional de Información Agropecuaria (REDNIA), Costa Rica.

González-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological. *ANUALES DE LA REAL ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA*, 81(4), 278-310.

González-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: chemistry, structural studies and biological. *ANUALES DE LA REAL ACADEMIA NACIONAL DE FARMACIA*, 81(4), 278-310.

Grajek, W., Olejnik, A., & Sipsom, A. (2015). Probiotics, prebiotics and antioxidants as functional foods. *Acta Biochimica Polonica*, 665-671.

Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A Review of Its Effects on Human Health. *Foods*, 6(92), 1-11. doi:doi:10.3390/foods6100092

Holkar, V. V. ; Nirmal, D. R. ; Mistry, S. K., (2015),,Development and validation of UV Spectrophotometric method for the estimation of Curcumin in bulk and pharmaceutical formulation. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences (WJPPS) Vol.4 No.5 pp.1456-1463

Ibañes, F., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). ADITIVOS ALIMENTARIOS. Revista Pública de Navarra, 1(1), 1-10.

İnanç-Horuz , T., & Maskan, M. (2015). Effect of the phytochemicals curcumin, cinnamaldehyde, thymol and carvacrol on the oxidative stability of corn and palm oils at frying temperatures. Journal of Food Science and Technology, 1(1), 1-9.

Kumar, S., Kushwaha, R., & Verma, M. L. (2020). Recovery and utilization of bioactives from food processing waste. Elsevier, 37-57.

Kyong-Im, J., Jae Ha, P., & Mi Jeong , K. (2014). Investigation of Factors on the Sensory Characteristics of Milk Bread with Tumeric Powder (*Curcuma longa* L.) Using Fractional Factorial Design Method. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 43(4), 592-603.

Le, T., Takahashi, K., Okazaki, E., & Osako, K. (2020). Mitigation of lipid oxidation in tuna oil using gelatin pouches derived from horse mackerel (*Trachurus japonicus*) scales and incorporating phenolic compounds. LWT - Food Science and Technology , 1-27.

Lean, L. P., & Mohamed, S. (1999). Antioxidative and antimycotic effects of turmeric, lemon-grass, betel leaves, clove, black pepper leaves and *Garcinia atroviridis* on butter cakes. Journal of the Science of Food and Agriculture, 7(9), 17–22.

Leann, B., & Decker, E. A. (2013). Lipid Oxidation in Low-moisture Food: A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 56(15), 1-17.

López-Ramírez, R., & Echeverri, F. (2007). ¿SON SEGUROS Y EFECTIVOS LOS ANTIOXIDANTES? Scientia et Technical, 33(8), 1207-1211.

Lucas, M., Freitas, M., Xavier, J., Moura, F., Goulart, M., Ribeiro, D., & Fernandes, E. (2021). The scavenging effect of curcumin, piperine and their combination against physiological relevant reactive pro oxidant species using in vitro non cellular and cellular models. Chemical Papers, 75, 5269–5277. doi:10.1007/s11696-021-01710-y

Maldonado Nicolalde, K. P. (2014). Elaboración de jalea de banana para su comercialización en el cantón Quito, provincia de Pichincha (Tesis pregrado). Quito: Universidad de las Américas, 2(1), 1-63.

Mali, P., & Mukherjee, T. (2021). Structure-Function elucidation of antioxidative and prooxidative activities of the polyphenolic compound curcumin. *China Journal Biol*, 2014. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2014/396708>

Malik, P., Inwati, G., Mukherjee, T., Singh, S., & Singh, M. (2019). Green silver nanoparticle and Tween-20 modulated pro-oxidant to antioxidant curcumin transformation in aqueous CTAB stabilized peanut oil emulsions. *Journal of Molecular Liquids*(291). doi:<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111252>

Maqsood, S., Adiamo, O., Ahmad, M., & Mudgil, P. (2019). Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. *Food Chemistry*, pp. 1-57.

Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2).

Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering* 56 (2003) 181–188, 56, 181–188.

Merala, R., Alav, A., Karakas, C., Dertli, E., Yilmaz, M. T., & Ceylan, Z. (2019). Effect of electrospun nisin and curcumin loaded nanomats on the microbial quality, hardness and sensory characteristics of rainbow trout fillet. *LWT - Food Science and Technology*, LWT - Food Science and Technology(113). doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108292>

Mirhafez, S., Farimani, A., Gholam, A., Hooshmand, E., Tavallaie, S., & Nobakht, B. (2019). The effect of curcumin with piperine supplementation on pro-oxidant and antioxidant balance in patients with non-alcoholic fatty liver disease: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Drug Metabolism and Personalized Therapy*. doi:10.1515/dmpt-2018-0040

Mohd-Nor, F., Mohamed, S., Nor Aini, I., & Razali Ismail, I. (2008). Antioxidative Properties of *Curcuma longa* Leaf Extract. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86, 141–147.

Montgomery, D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa, Wiley.

Nadal-Medina, R., Manzo-Sánchez, G., Orozco-Romero, J., Orozco-Santos, M., & Guzmán-González, S. (2009). Diversidad Genética De Bananos Y Plátanos (*Musa Spp.*) Determinada Mediante Marcadores RAPD. *Revista Fitotecnica Mexico*, 32(1), 1-7.

Nagavekar, N., & Rekha, S. S. (2019). Supercritical fluid extraction of *Curcuma longa* and *Curcuma amada* oleoresin: Optimization of extraction conditions, extract profiling, and comparison of bioactivities. *Industrial Crops & Products*, 134-145. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.061>

Nazhad-Dolatabadi, J., & Kashanian, S. (2010). A review on DNA interaction with synthetic phenolic food additives. *Food Research International*, 43, 1223–1230. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.03.026

Octavio-Gómez, D., Sesma, S., Becerril, V., Knaul, F. M., Arreola, H., & Frenk, J. (2018). Sistema de salud de México. *Public Health, Environmental and Occupational*.

Pankaj, K., Shaunak, I., & Verma, M. L. (2020). Biotechnological application of health promising bioactive molecules. *Elsevier*, 165-184.

Paramasivam, M., Poi, R., Banerjee, H., & Bandyopadhyay, A. (2009). High-performance thin layer chromatographic method for quantitative determination of curcuminoids in *Curcuma longa* germplasm. *Food Chemistry*, 113(2), 640-644. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.051

Pei-Yin, Z., Xue-Hua, Z., He-Ming, Z., & Hai-Hang, L. (2011). High-efficient column chromatographic extraction of curcumin from *Curcuma longa*. *Food Chemistry*, 1(129), 700–703.

Pérez- Trueba, G. (2003). Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. *Rev Cubana Invest Bioméd*, 22(1).

Pérez-Muñoz, F. D., Cruz-Villegas, J. A., Ayala-Esparza, V. A., & Zambrano-Oyague, S. R. (2019). Desórdenes alimenticios y su incidencia en la gastritis en adultos de 40 a 60 años. *RECIMUNDO*, 3(2), 801-818.

Prakash, B., Kujur, A., Singh, P., Kumar, A., & Yadav, A. (2017). Plants-Derived Bioactive Compounds as Functional Food Ingredients and Food Preservative. *Nutrition & Food Science*, p.p 1-7.

Rahul Thakur, Penta Pristijono, Michael Bowyer, Sukhvinder, P.Singh Christopher. J.Scarlett Costas E.Stathopoulos, Quan V.Vuonga. A starch edible surface coating delays banana fruit ripening, *LWT*, Vol. 100,

Rege, S. A., Varshneya, M. A., & Momin, S. A. (2021). A Mini-Review: Comparison between curcumin and tetrahydrocurcumin based on their activities. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 12(1), 128-32. doi:DOI: 10.17508/CJFST.2021.13.1.16

Rodríguez-Riera, Z., Robaina-Mesa, M., Jáuregui-Haza, U., Blanco-González, A., & Rodríguez-Chanfrau, J. E. (2014). Empleo de la radiación ultrasónica para la extracción de compuestos bioactivos provenientes de fuentes naturales. Estado actual y perspectivas. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 45, 139-147.

SADER Y SIAP. (2019). Expectativas Agroalimentarias 2019. Mexico.

SIAP. (2019). Estadística de la Producción Agrícola. Obtenido de INFOSIAP: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

Sibele-Santos, F., Silveira Coelho, M., & de las Mercedes, M. (2019). Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods: Polyphenols, Carotenoids, Peptides From Animal and Plant Sources New. Elsevier, 129-142.

Sook-Hee, M., & Eun-Sun, H. (2017). Quality Characteristics and Antioxidant Activities of Yaksik Containing Various Amount of Turmeric (*Curcuma longa* L.) Powder. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 46(2), 177-184.

Soroushfard, A., Rufejarinejad, L., & Soofi, M. (2021). Effect of turmeric extract (*Curcuma Longa* L.) on acrylamide. Iranian Journal of Food Science and Technology, 18(114), 159-167. doi:DOI: 10.52547/fsct.18.05.14

Soto-Azurduy, V. S. (2010). Cuantificación de almidón total y de almidón resistente en harina de plátano verde (*Musa cavendishii*) y banana verde (*Musa paradisíaca*). Revista Boliviana de Química, 27(2), 94-99.

Sun-Hee, L. (2013). Physicochemical and Sensory Characteristics of Yanggaeng added with Turmeric Powder. The Korean Journal of Food And Nutrition, 26(3), 447-457.

Torres, Á., Lebed, M., & Arcia Cabrera, P. L. (2019). De residuo industrial a ingrediente funcional: el potencial de la cáscara de granada. Revista de Latu, 19, 76-97.

Tuba, A., & Ilhami, G. (2008). Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. Journal of Chemico-Biological Interactions, 174, 27-37.

Valenzuela, A. B., Valenzuela, R., Sanhueza, J., & Morales I, G. (2014). Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? Revista chilena de nutrición., pp. 198-209.

Varzakas, T., Zakyntinos, G., & Verpoort, F. (2016). Plant Food Residues as a Source of Nutraceuticals and Functional Foods. Food, p.p. 5-37.

Vásquez-Castillo, W., Racines-Oliva, M., Viera, W., Moncayo, P., & Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. Revista de la Universidad de las Américas., 10(4), 57-66.

Vázquez-Morales, E., Calderón-Ramos, Z. G., Arias-Rico, J., Ruvalcaba-Ledezma, J. C., Rivera-Ramírez, L., & Ramírez-Moreno, E. (2019). Sedentarismo, alimentación, obesidad, consumo de alcohol y tabaco como factores de riesgo para el desarrollo de diabetes tipo 2. Journal of negative y no positive results, 4(10), 1011-1021.

Vera-Guerrero, L. S., Villarreal Portillo, D., Wesche-Ebeling, P., Toxqui Abascal, L., & Ortega Regules, A. E. (2019). El papel de la nutrigenómica y los nutraceuticos en la

prevención de las enfermedades cardiovasculares; revisión de la literatura. Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular.

Vetal, M. D., Lade, V., & Rathod, V. K. (2013). Extraction of ursolic acid from *Ocimum sanctum* by ultrasound: Process intensification and kinetic studies. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 24-30. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2013.01.011>

Vasant Holkar*, Deepika R. Nirmal and Sonali-Kapse Mistry. 2015. Development and validation of uv spectrophotometric method for the estimation of curcumin in bulk and pharmaceutical formulation. *World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*. Vol 4, 1456-1463.

Weaver, C. M. (2014). *Bioactive Foods and Ingredients for Health*. *Advances in nutrition*, pp. 306-311.

Wu, H., Ghirmai, S., & Undeland, I. (2020). Stabilization of herring (*Clupea harengus*) by-products against lipid oxidation by rinsing and incubation with antioxidant solutions. *Food Chemistry*, 1-37.

WYATT, D. (1981). Simultaneous Analysis of BHA, TBHQ, BHT and Propyl Gallate by Gas Chromatography as Extracted from Refined Vegetable Oil. *Technical*, 4(2), 917-920.

Xu, J., Ji, F., Kang, J., & Wang, Y. (2015). Absolute Configurations and NO Inhibitory Activities of Terpenoids from *Curcuma longa*. *J Agric Food Chem*, 63(24), 1-8.

Yong-Suk, L., Kyoung-Nam, P., & Shin-Ho, L. (2007). Effects of Tumeric (*Curcuma aromatica* Salab.) Extract on Shelf Life of Cooked Rice. *Korean Journal of Food Preservation*, 14(5), 445-450.

Young-Hee, M., La-Young, P., Shin-Ho, L., & Geum-Soon, P. (2007). Physicochemical Quality Characteristics of Tofu Prepared with Turmeric (*Curcuma aromatica* Salab.). *Korean journal of food and cookery science*, 23(4), 502-510.

Anexos

De: Food & Function onbehalfof@manuscriptcentral.com
Asunto: Acknowledgement of your Submission to Food & Function - FO-ART-03-2022-000709
Fecha: 12 de marzo de 2022, 14:34
Para: emmanuel.falcon35@gmail.com
Cc: emmanuel.falcon35@gmail.com, angelica.ochoa@ujat.mx, angelica.ochoa@Ujat.mx, jahernandez.tc@uttab.edu.mx

12-Mar-2022

Dear Dr Emmanuel:

TITLE: Color space analysis (CIE-L*a*b*) on Cavendish Banana (Musa AAA) slices subjected to immersion and dehydration

Thank you for your submission to Food & Function, published by the Royal Society of Chemistry. This is an automatic acknowledgement that you have uploaded your files to our online submission system. Your manuscript ID is: FO-ART-03-2022-000709

While we aim to provide authors with the best service that we can, we are currently experiencing delays in the handling of new submissions, due to the very high volume of submissions currently being received. We anticipate the time from submission to first decision (with reports) to be about two months. Your manuscript will be passed to an editor for initial assessment as soon as possible but please note this may take 2-3 weeks. If there are any problems with your submission we will contact you as soon as possible.

Please indicate the above manuscript ID when you contact us about this submission.

Do you have an ORCID iD? ORCID (Open Researcher and Contributor iD) is a unique researcher identifier that allows you to link your research output and other professional activities in a single record. We therefore encourage each researcher to sign up for their own ORCID account. Please edit your user account to link your ORCID iD or create a new one, ensuring that you have not linked your account to another researcher's ORCID iD. Please note that we are unable to do this on your behalf. If your article is accepted, you may choose to have your ORCID record updated automatically with details of the publication.

We already have the following information for authors of this manuscript: Emmanuel, Falcón - No ORCID iD Available, Ochoa-Flores, Angelica - No ORCID iD Available, Hernández, Josafat - No ORCID iD Available
If this is not how you want your name to appear on an Accepted Manuscript, please amend your ScholarOne account.

The Royal Society of Chemistry is a member of CrossCheck. Your submission may be compared against the CrossCheck database using the iThenticate plagiarism detection software. For further information, please see here: <https://www.rsc.org/journals-books-databases/journal-authors-reviewers/processes-policies/#crosscheck>

This journal has a policy of sharing reviewer reports. Please note that the Editor's decision and copies of the reports will be shared with all reviewers who provide a recommendation on your manuscript.

Please contact us if we can be of any assistance.

Yours sincerely,
Food & Function Editorial Office
food@rsc.org

If you need to contact the journal, please use the email address food@rsc.org

DISCLAIMER:

This communication is from The Royal Society of Chemistry, a company incorporated in England by Royal Charter (registered number RC000524) and a charity registered in England and Wales (charity number 207890). Registered office: Burlington House, Piccadilly, London W1J 0BA. Telephone: +44 (0) 20 7437 8656.

The content of this communication (including any attachments) is confidential, and may be privileged or contain copyright material. It may not be relied upon or disclosed to any person other than the intended recipient(s) without the consent of The Royal Society of Chemistry. If you are not the intended recipient(s), please (1) notify us immediately by replying to this email, (2) delete all copies from your system, and (3) note that disclosure, distribution, copying or use of this communication is strictly prohibited.

Any advice given by The Royal Society of Chemistry has been carefully formulated but is based on the information available to it. The Royal Society of Chemistry cannot be held responsible for accuracy or completeness of this communication or any attachment. Any views or opinions presented in this email are solely those of the author and do not represent those of The Royal Society of Chemistry. The views expressed in this communication are personal to the sender and unless specifically stated, this e-mail does not constitute any part of an offer or contract. The Royal Society of Chemistry shall not be liable for any resulting damage or loss as a result of the use of this email and/or attachments, or for the consequences of any actions taken on the basis of the information provided. The Royal Society of Chemistry does not warrant that its emails or attachments are Virus-free; The Royal Society of Chemistry has taken reasonable precautions to ensure that no viruses are contained in this email, but does not accept any responsibility once this email has been transmitted. Please rely on your own screening of electronic communication.

More information on The Royal Society of Chemistry can be found on our website: www.rsc.org