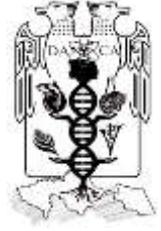




**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**



“Estudio en la duda, acción en la fe”

**RETENCIÓN DE CURCUMINOIDES Y COLOR EN UN
PRODUCTO TIPO BOTANA ELABORADO A BASE DE
BANANO (*Musa AAA Cavendish*)**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

SHARON CAMARILLO PEÑA

DIRECTOR

DRA. ANGÉLICA ALEJANDRA OCHOA FLORES

CODIRECTOR

DRA. ELOÍSA LÓPEZ HERNÁNDEZ

ASESOR EXTERNO

DR. JOSAFAT ALBERTO HERNÁNDEZ BECERRA

VILLAHERMOSA, TABASCO. MARZO DE 2024.



UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica de
Ciencias Agropecuarias

Coordinación de
Estudios Terminales



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO
MÉXICO

Asunto: Autorización de impresión
de Trabajo Recepcional.
Fecha: 11 de marzo de 2024.

LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN Y
TITULACIÓN DE LA UJAT.
P R E S E N T E

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado(a), informo a usted que con base en el artículo 86 del Reglamento de Titulación Vigente en esta Universidad, la Dirección a mi cargo **autoriza** a (la) **C. Sharon Camarillo Peña** con matrícula **182C22003**, egresado(a) de la Licenciatura de **Ingeniería en Alimentos** de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, la impresión de su Trabajo Recepcional bajo la modalidad de **Tesis**, titulado: **"RETENCIÓN DE CURCUMINOIDES Y COLOR EN UN PRODUCTO TIPO BOTANA ELABORADO A BASE DE BANANO (Musa AAA Cavendish)"**.

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

ATENTAMENTE

M.V.Z. JORGE ALFREDO THOMAS TELLEZ
DIRECTOR



U.J.A.T.
DIVISION ACADÉMICA DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS
RECEPCIONAL

C.c.p.- Expediente Alumno.
Archivo

Km 25, Carret. Villahermosa-Teapa
Ra. La Huasteca, 2ª Sección, 86298, Centro, Tabasco, México
Tel. (+52 993) 3581500 ext. 6614
Correo electrónico: terminales.daca@ujat.mx

www.ujat.mx

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el trabajo recepcional titulado: RETENCIÓN DE CURCUMINOIDES Y COLOR EN UN PRODUCTO TIPO BOTANA ELABORADO A BASE DE BANANO (*Musa AAA Cavendish*). Del cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco del trabajo recepcional antes mencionado, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro, autorización que se hace de manera enunciativa mas 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 y la institución.

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

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México a los 11 días del mes de Marzo de 2024.

ATENTAMENTE



Pas. I.A. SHARON CAMARILLO PEÑA

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), por ser la institución formadora de la Licenciatura. A la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB), por haber permitido la realización de diversas actividades relacionadas con el proyecto de investigación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

AGRADECIMIENTOS

Primero y ante todo, quiero expresar mi profunda gratitud a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia para completar este importante capítulo de mi vida académica.

A mi madre, padre y hermano, les agradezco de corazón por su inquebrantable apoyo y amor incondicional; su aliento constante y confianza en mí siendo el motor que me impulsó a superar cada desafío en el camino. Sin ellos, este logro no habría sido posible.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Dra. Angélica, el Dr. Josafat y la Dra. Eloisa por su invaluable orientación, supervisión y paciencia. Sus valiosas enseñanzas, consejos y palabras de apoyo que fueron fundamentales para mi crecimiento tanto académico como profesional. Estoy agradecida por las oportunidades que me brindaron y por las lecciones que llevaré conmigo a lo largo de toda mi vida.

A mis estimados profesores, quiero transmitir mi profunda gratitud por su influencia en mi formación académica. Su compromiso, paciencia y su capacidad para inspirar el aprendizaje fueron fundamentales en mi desarrollo como estudiante.

A todos mis amigos que me acompañaron durante este viaje, gracias por estar a mi lado en los momentos buenos y malos quienes con sus palabras de aliento y apoyo moral fueron vitales para mantener mi motivación y entusiasmo a lo largo de este proyecto.

Finalmente, quiero extender mi gratitud a todos mis familiares que de alguna manera apoyaron a esta tesis, a través de sus consejos, su tiempo y sus recursos.

Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo y estoy verdaderamente agradecida por el apoyo que he recibido a lo largo de este camino. Mi tesis no solo representa mi trabajo, sino también la dedicación y el compromiso de todos los que me han rodeado.

Gracias por ser parte de este importante capítulo de mi vida académica.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras.....	ix
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema.....	3
3. Justificación.....	4
4. Objetivos.....	5
4.1 Objetivo general.....	5
4.2 Objetivos específicos.....	5
5. Hipótesis.....	5
6. Antecedentes.....	6
6.1 Alimentos funcionales.....	6
6.2 Compuestos bioactivos.....	6
6.3 Cúrcuma.....	7
6.3.1 Curcuminoides.....	8
6.4 Oxidación lipídica.....	10
6.5 Antioxidantes en la industria alimentaria.....	10
6.6 Antioxidantes naturales en la industria alimentaria.....	11
6.7 Botanas en la industria alimentaria.....	12
6.8 Banano.....	15
6.8.1 Importancia del estado de maduración y contenido de almidón resistente.....	16
6.8.2 Producción del banano.....	18
7. Materiales y métodos.....	21
7.1. Preparación de las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma.....	21
7.2. Determinación de curcuminoides en las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma.....	22
7.2.1. Extracción de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.....	23
7.2.2. Cuantificación de curcuminoides por espectroscopía UV-Vis.....	24
7.2.3. Cuantificación de curcumina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).....	25
7.3. Determinación del color en las en las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma.....	26
7.4. Determinación de la correlación de color y el contenido de curcuminoides en las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma.....	27
8. Diseño experimental y análisis estadísticos.....	28
9. Resultados y discusión.....	30
9.1. Contenido de curcuminoides en rodajas de banano frito previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma.....	30

9.2. Contenido de curcumina en rodajas de banano frito previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma.....	33
9.3. Análisis de color CIELAB en rodajas de banano frito previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma.....	42
9.4. Correlación entre el color y el contenido de curcuminoides en rodajas de banano frito previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma.....	49
10. Conclusiones.....	52
11. Recomendaciones.....	53
12. Bibliografía.....	54

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides en los extractos y el tiempo de inmersión, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.....	32
Tabla 2. Análisis de varianza del efecto de la concentración, el tiempo de inmersión y su interacción, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.....	36
Tabla 3. Análisis de varianza para los factores concentración de curcuminoides en los extractos, tiempo de inmersión y método de cuantificación, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.....	38
Tabla 4. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y su interacción, en los valores de L* obtenidos para las rodajas de banano fritas.....	43
Tabla 5. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y su interacción, en los valores de a* obtenidos para las rodajas de banano fritas	45
Tabla 6. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y su interacción, en los valores de b* obtenidos para las rodajas de banano fritas	48
Tabla 7. Análisis de correlación entre el color y la concentración de curcuminoides cuantificados por espectrofotometría UV-Visible en las muestras de banano fritas.....	49
Tabla 8. Análisis de correlación entre el color y la concentración de curcumina cuantificada por HPLC en las muestras de banano fritas.....	50

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Estructura química de los curcuminoides.....	9
Figura 2. Estado de madurez del banano según la escala de Von Loesecke.....	17
Figura 3. Importaciones de banana por destino, 2018–2022 (preliminar), millones de toneladas.....	18
Figura 4. Exportación mundial de banano por principales orígenes, 2018-2022 (preliminar), millones de toneladas.....	19
Figura 5. Curva de calibración para la cuantificación de curcuminoides por espectrofotometría UV-Vis	30
Figura 6. Contenido de curcuminoides en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a las concentraciones de 1 (C1), 3 (C2) y 5 (C3) mg de curcuminoides por mL de solución.....	31
Figura 7. Curva de calibración para la cuantificación de curcumina por HPLC.....	33
Figura 8. Cromatograma obtenido por HPLC de la inyección de una solución de curcumina a una concentración de 8 µg/mL.....	34
Figura 9. Cromatograma obtenido por HPLC de la inyección del extracto de una muestra de rodajas de banano fritas inmersas por 9 minutos en una solución de curcumina a una concentración de 1 mg/mL	34
Figura 10. Contenido de curcumina en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a las concentraciones de 1 (C1), 3 (C2) y 5 (C3) mg de curcuminoides por mL de solución.....	35
Figura 11. Contenido de curcuminoides en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a las concentraciones de 1 (C1), 3 (C2) y 5 (C3) mg de curcuminoides por mL de solución.....	39
Figura 12. Influencia del tiempo de inmersión y el método utilizado para la cuantificación de curcuminoides en las rodajas de banano fritas.....	40
Figura 13. Influencia de la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el método utilizado para la cuantificación de curcuminoides en las rodajas de banano fritas.....	40
Figura 14. Análisis de la coordenada L* en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a concentraciones de 1 mg/mL (C1), 3 mg/mL (C2) y 5 mg/mL (C3) en diferentes tiempos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).....	43

Figura 15. Análisis de la coordenada a^* en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a concentraciones de 1 mg/mL (C1), 3 mg/mL (C2) y 5 mg/mL (C3) en diferentes tiempos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).....	45
Figura 16. Análisis de la coordenada b^* en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a concentraciones de 1 mg/mL (C1), 3 mg/mL (C2) y 5 mg/mL (C3) en diferentes tiempos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).....	47

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Resumen

El banano (*Musa AAA Cavendish*), es una de las frutas tropicales más importantes en México y desempeña un papel destacado en la agricultura del país. Sin embargo, cuando se trata de aprovecharlo en formas diferentes a su consumo tradicional, como la fritura, se presenta un desafío interesante, la tonalidad blanca que adquieren los productos elaborados a partir de esta fruta, en marcado contraste con el característico color amarillo de los productos a base de plátano macho (*Musa spp*). Para abordar esta problemática y dar un toque de color y funcionalidad a la fritura de banano, la curcumina emerge como una solución prometedora. Este estudio se enfocó en la posibilidad de enriquecer con curcuminoides, un producto tipo botana elaborado a partir de rodajas de banano, no solo para mejorar su apariencia, sino también para aportarle beneficios funcionales. El objetivo del trabajo fue determinar el contenido de curcuminoides y el color de un producto elaborado a base de rodajas de banano enriquecidas con curcuminoides. Las rodajas de banano de 2 mm de espesor previamente acondicionadas fueron sumergidas en extractos etanólicos de cúrcuma con concentraciones de curcuminoides de 1, 3 y 5 mg/mL durante 1, 3, 5, 7 y 9 min de inmersión. Luego, fueron escurridas y fritas en aceite de canola. Se determinó su contenido de curcuminoides por espectrofotometría UV-visible y curcumina por HPLC, previa extracción con etanol asistida por ultrasonificación, así como su color en coordenadas L^* , a^* y b^* del sistema CIELab. Los resultados mostraron una retención en el contenido de curcuminoides y curcumina a medida que se incrementaban las concentraciones y tiempos de inmersión. La concentración máxima de curcuminoides fue de 378.28 $\mu\text{g/g}$ de producto, y la de curcumina fue de 388.18 $\mu\text{g/g}$ de producto, ambas a los 9 minutos de inmersión en el extracto de 5 mg/mL. En cuanto al color, los valores de b^* aumentaron, indicando una tendencia hacia tonos más amarillos a medida que aumenta la concentración de curcuminoides, mientras que los valores de a^* y L^* se mantuvieron sin cambios. Se encontró una correlación positiva entre el contenido de curcuminoides y la coordenada b^* .

Abstract

The banana (*Musa AAA cavendish*) is one of the most important tropical fruits in Mexico and plays a prominent role in the country's agriculture. However, when it comes to utilizing it in forms other than its traditional consumption, such as frying, an interesting challenge arises—the white hue that products made from this fruit acquire, in stark contrast to the characteristic yellow color of products made from plantain (*Musa spp*). To address this issue and add color and functionality to banana frying, curcumin emerges as a promising solution. This study focused on the possibility of enriching banana slices, a snack product, with curcuminoids, not only to improve their appearance but also to provide functional benefits. The objective was to determine the curcuminoid content and color of a product made from banana slices enriched with curcuminoids. Banana slices, 2 mm thick and preconditioned, were immersed in ethanolic turmeric extracts with curcuminoid concentrations of 1, 3, and 5 mg/mL for 1, 3, 5, 7, and 9 minutes. Subsequently, they were drained and fried in canola oil. Curcuminoid content was determined by UV-visible spectrophotometry, and curcumin by HPLC after ultrasonication-assisted ethanol extraction. Color was assessed using L*, a*, and b* coordinates of the CIELab system. The results showed retention in curcuminoid and curcumin content as concentrations and immersion times increased. The maximum concentration of curcuminoids was 378.28 µg/g of product, and curcumin was 388.18 µg/g of product, both at 9 minutes of immersion in the 5 mg/mL extract. Regarding color, b* values increased, indicating a trend toward more yellow tones with higher curcuminoid concentrations, while a* and L* values remained unchanged. A positive correlation was found between curcuminoid content and the b* coordinate.

1 Introducción

En los últimos años, la búsqueda de una alimentación más saludable y nutritiva ha llevado a un creciente interés en los alimentos funcionales, que van más allá de la nutrición básica y ofrecen beneficios adicionales para la salud (Valenzuela y Pérez, 2016). Una tendencia importante en este campo, es el reemplazo de antioxidantes sintéticos por alternativas naturales, ya que para prolongar la vida útil de los alimentos procesados y minimizar la aparición de reacciones oxidativas, la industria alimentaria emplea antioxidantes, predominantemente de origen sintético (Serpa-Guerra *et al.*, 2020). No obstante, la utilización de estos antioxidantes sintéticos está sujeta a restricciones legales debido a sus potenciales propiedades cancerígenas o su asociación con alergias alimentarias (Field *et al.*, 2007; Ibáñez *et al.*, 2003).

Como respuesta a esta preocupación, se ha intensificado la búsqueda de antioxidantes obtenidos de fuentes naturales y uno de los ejemplos más destacados es la cúrcuma. *Curcuma longa* L., es una de las especies de plantas que puede mejorar la apariencia visual y prolongar el período de almacenamiento de los productos alimenticios (Joe *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2015). El principal compuesto bioactivo encontrado en sus rizomas es la curcumina, pigmento polifenólico de color amarillo que es también el principal responsable de las propiedades biológicas de la cúrcuma (Ghosh *et al.*, 2015).

Por otra parte, Tabasco es un estado rico en recursos agroalimentarios (SADER, 2018). El banano es uno de los productos agrícolas más importantes, su versatilidad culinaria y valor nutricional lo convierten en una fuente clave de alimentos y comercio. En tal sentido, este fruto podría utilizarse como base para desarrollar alimentos enriquecidos con ingredientes que posean propiedades beneficiosas para la salud, además de tener un impacto positivo en la reducción del desperdicio de recursos agrícolas.

A menudo, los productos agrícolas que no cumplen con los estándares de apariencia o tamaño son descartados, lo que resulta en un desperdicio significativo de alimentos y recursos (Céspedes, 2004; González, 2018; Vásquez-Castillo *et al.*, 2019). La utilización de estos bananos "no aptos" para la venta directa, en la creación de alimentos funcionales, podría ser una forma efectiva de aprovechar al máximo los

recursos disponibles. Además, las frutas frescas son ricas en compuestos activos como polifenoles, antioxidantes, fibra dietética, almidones, proteínas, enzimas y minerales, entre otros (Ain *et al.*, 2020).

Por lo expuesto en párrafos anteriores, se pretende evaluar la retención de curcuminoides en un producto de botana frita utilizando técnicas analíticas como HPLC y espectrofotometría UV-visible, para cuantificar la cantidad de curcuminoides presentes en las rodajas de banano fritas, después de diferentes tiempos de inmersión en las soluciones de curcuminoides. Esto permitirá entender ¿cómo la concentración de curcuminoides cambia a medida que el tiempo de inmersión aumenta? y ¿cómo se incorporan en el producto?

También al evaluar el color se podrían identificar patrones de degradación o conservación del color en el producto. Esto es crucial para entender cómo el tiempo de inmersión en las soluciones de curcuminoides afecta la estabilidad del color en el producto. En este escenario, se identificarán los mejores tratamientos, los cuales servirán como referencia para establecer y formular estudios futuros con el propósito de ofrecer un producto de calidad y beneficioso para los consumidores.

2 Planteamiento del problema

La producción de banano en Tabasco enfrenta desafíos relacionados con factores climáticos, normativas, calidad del producto y costos de producción. Estos desarrollos han impactado tanto a los productores como a los actores de la cadena de suministro, lo que ha llevado a una mayor complejidad en la producción y exportación de bananos a nivel global (Uribe *et al.*, 2021; FAO, 2023).

En la situación actual, existen dos mercados para el banano: el mercado externo y el mercado interno. Sin embargo, la sobreproducción ha llevado a la saturación del mercado, ejerciendo una presión significativa sobre los precios. Es así que, en el mercado externo, el precio de una caja de bananos se ha reducido a 3.5 dólares; de manera similar, en el mercado interno en México, los bananos se venden a 25 pesos por caja (Uribe *et al.*, 2021). Sumado a esto, las pérdidas que ocurren durante la selección, el empaque y el transporte son otro aspecto que debe ser abordado. Estas pérdidas equivalen al 35 % del volumen anual de la producción de este producto (Céspedes, 2004; Vásquez-Castillo *et al.*, 2019; FAO, 2023).

En este contexto, se vuelve fundamental buscar soluciones para evitar pérdidas. Esto podría implicar la diversificación de productos, como la conversión del banano en una botana frita. No obstante, esta transformación no está exenta de desafíos. Uno de los principales problemas que surge al convertir este fruto en un producto frito es la oxidación de lípidos, el cual conduce a la rancidez y decoloración del producto, lo que puede disminuir la aceptación de los consumidores (Nanditha y Prabhasankar, 2009).

Para abordar este problema, se ha recurrido al uso de antioxidantes sintéticos; estos compuestos químicos tienen la capacidad de retardar o prevenir la oxidación de lípidos, prolongando así la calidad del producto. Sin embargo, la inclusión de antioxidantes sintéticos en alimentos plantea preocupaciones en términos de salud alimentaria. Algunos de estos compuestos pueden tener efectos adversos en la salud como efectos tóxicos y algunas enfermedades como dematitis e incluso cáncer (Field *et al.*, 2007; Ibáñez *et al.*, 2003). Ante esto existe una creciente demanda de alimentos más naturales y saludables por parte de los consumidores (Pankaj *et al.*, 2020).

3 Justificación

En el estado de Tabasco, existe la necesidad de aprovechar de manera adecuada la sobreproducción de banano de la región debido a que afronta importantes pérdidas postcosecha, principalmente en el fruto para exportación, derivadas de las exigencias en la calidad del mismo (Brat *et al.*, 2019). Esto ha originado el estudio de posibles alternativas para su aprovechamiento, en particular del banano de la variedad AAA Cavendish, ya que Tabasco al contar con las condiciones agroclimáticas para este cultivo, es el segundo productor de esta variedad de banano a nivel Nacional (SIAP, 2019; CEDRSSA, 2019).

Dentro de este escenario, se analiza una opción para aprovechar este fruto, la cual se aborda en este estudio: la creación de una botana. Estos productos representan un segmento importante de la industria alimentaria debido a su practicidad, sabor y accesibilidad para los consumidores (Hurtado *et al.*, 2001). Además, el valor agregado que aportan a través de la innovación en sabores y presentaciones puede aumentar su demanda (Bhatawale *et al.*, 2012).

Además, el banano es una fuente de almidón resistente, el que oscila entre el 47 y 57 % del total de almidón en el fruto, siendo un ingrediente valioso en la elaboración de botanas; éste juega un papel importante en las propiedades nutricionales y funcionales de los productos, puesto que influye en la textura, consistencia y estabilidad de los alimentos (Bhatawale *et al.*, 2012).

Sin embargo, la conversión de este producto agrícola en una botana tiene algunos inconvenientes; el proceso de fritura induce a un deterioro físico y químico que afecta su estabilidad de almacenamiento (Fauziah *et al.*, 2000). Es por ello que se desea incluir cúrcuma, la cual podría prevenir el deterioro debido a sus propiedades antioxidantes (Laffita y Castillo, 2011) y mejorar el aspecto visual del producto. Es importante destacar que la cúrcuma se considera segura para el consumo humano, de acuerdo a JECFA (2004) indica que la IDA debe de ser de 0.1 mg/kg de peso corporal y se puede incorporar en los botanas como colorante en un máximo de 200 ppm de acuerdo a la norma Curcumin-INS:1001 del Codex (2001).

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar la retención de curcuminoides y el color en un producto tipo botana elaborado a base de banano.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar por espectrofotometría UV visible y por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) el contenido de curcuminoides en un producto tipo botana elaborado a base de banano.
- Determinar el color en escala CIELAB en un producto tipo botana elaborado a base de banano.
- Determinar la correlación entre el color y el contenido de curcuminoides en un producto tipo botana elaborado a base de banano.

5 Hipótesis

Existe una correlación positiva entre el color y la concentración de curcuminoides presentes en la rodaja.

6 Antecedentes

6.1 Alimentos funcionales

El término de alimento funcional se originó en Japón en los años 80's, con la intención de conocer que otras funciones específicas o efectos tenían los alimentos, además de nutrir (Beltrán, 2016). Esto llevó a este reconocimiento legal en 1991 cuando el Ministerio de Salud y Bienestar de Japón emitió la regulación para los "alimentos para usos específicos de salud" (FoSHU), la cual establece criterios para la identificación y clasificación de estos alimentos, asegurando que cumplan con estándares específicos y que los consumidores puedan confiar en los beneficios atribuidos (Shimizu, 2019).

Para el 2001, los criterios aplicados a los FoSHU se incluyeron en un sistema denominado alimentos con declaraciones de propiedades saludables (FHC) el cual consta de dos categorías: FoSHU y "alimento con declaración de función de nutrientes" (FNFC) (Shimizu, 2019). Los suplementos dietéticos que no entran en estas categorías se denominan legalmente solo "alimentos", independientemente de la forma, el contenido o la función (Patel *et al.*, 2008).

En general los alimentos deben de cumplir tres funciones: la primera es "nutricional", esencial para aportar principalmente energía a los consumidores; la segunda es "sensorial", para que al consumir el alimento se origine una sensación agradable a partir de su sabor, olor, textura, etc.; la última función es "fisiológica" la que indica que más allá de la nutrición, el alimento debe producir un efecto positivo a quien lo consume, en una o varias funciones del organismo, teniendo como resultado la protección contra enfermedades, debido a la presencia de compuestos biológicamente activos (Jiménez-Colmenero, 2013; Yamada *et al.*, 2008).

6.2 Compuestos bioactivos

La naturaleza de los alimentos va mucho más allá de simplemente satisfacer el hambre. En su interior, una amplia gama de compuestos bioactivos se esconde, cada uno con el potencial de ofrecer beneficios únicos para la salud humana. Estos compuestos,

conocidos como bioactivos, son compuestos no esenciales debido a que no se consideran nutrientes, pero tiene un efecto benéfico a la salud. Se encuentran en la naturaleza en productos como frutas, verduras, granos enteros y lácteos, o en alimentos con un elevado contenido de lípidos, los cuales forman parte de la cadena alimentaria (Biesalski *et al.*, 2009; Cortés y Puente, 2005; Herrera *et al.*, 2014). También pueden encontrarse en los alimentos de forma natural, o añadirse para modificarles o mejorarles (Arias *et al.*, 2018).

La diversidad de compuestos biológicamente activos es impresionante, y cada uno tiene un papel único en la promoción de la salud, pueden llegar a reducir el riesgo de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, obesidad, hipertensión o gastrointestinales, entre otras (Herrera *et al.*, 2014; Lutz, 2012). Algunos ejemplos de ingredientes activos son los prebióticos, probióticos, péptidos bioactivos, fitoestrógenos, carotenoides, antioxidantes, vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, flavonoides, fibra dietaria, lípidos o ácidos grasos (Arias *et al.*, 2018; Cortés y Puente, 2005).

6.3 Cúrcuma

En la familia del jengibre se encuentra también la Cúrcuma (*Curcuma longa* L., *Zingiberaceae*), también conocida como turmerico o haldi; es originaria del sur y sudeste del Asia tropical, aunque se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Xu *et al.*, 2015). La planta tiene un tallo de alrededor de un metro de largo y flores blancas. El rizoma, rico en curcuminoides, mide aproximadamente 7.0 cm de largo y 2.5 cm de ancho. La maduración de la planta toma de 8 a 10 meses (González-Albadalejo *et al.*, 2015).

Además de los curcuminoides, se han encontrado otros compuestos bioactivos en la cúrcuma; estos incluyen más de 150 terpenoides, que son compuestos lipofílicos y volátiles que contribuyen al aroma de las plantas al formar parte de sus aceites esenciales. Los terpenoides se han aislado de varias partes de la planta, como las flores, hojas y rizomas, y entre ellos se encuentran diversos sesquiterpenos cetónicos los cuales poseen propiedades antioxidantes (Afzal *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2011; Paramasivam *et al.*, 2009; Saiz de Cos, 2014).

La cúrcuma es una planta que a lo largo de la historia y en diferentes culturas, ha tenido un impacto significativo en diversas áreas; entre sus aplicaciones la encontramos en:

- a) Medicina tradicional: Se le atribuyen propiedades medicinales que abarcan desde aliviar problemas digestivos hasta tratar la fiebre, infecciones, problemas hepáticos, trastornos menstruales, hemorragias, artritis y más (González-Albadalejo *et al.*, 2015).
- b) Industria textil: se ha utilizado para dar un color amarillo-naranja a telas o hilos. Su pigmento natural, la curcumina, ha sido valioso en la producción de tintes textiles en algunas culturas.
- c) Industria alimentaria: se ha utilizado como colorante de bebidas, postres, helados, galletas, gelatinas y salsas (Martins *et al.*, 2016; Saldaña *et al.*, 2020; Serpa-Guerra *et al.*, 2020). Aunque por su capacidad antioxidante también se incluye en alimentos como ingrediente funcional (Rafiee *et al.*, 2019).

Además, ha demostrado ser una alternativa valiosa en productos lácteos como el queso, así como en aceites vegetales, productos fritos, horneados y embutidos, ofreciendo una opción natural para reemplazar antioxidantes sintéticos como el BHA y el TBHQ.

Diversos estudios respaldan la inclusión de cúrcuma en la elaboración de alimentos, evidenciando su capacidad para inhibir el deterioro debido a la oxidación lipídica. Ejemplos notables incluyen un alimento coreano a base de arroz inflado y frito (Seung-Taiky y Jung-Ah, 2015), aceite de semillas de perilla (*Perilla frutescens*) (Lee *et al.*, 2020), galletas (Hefnawy *et al.*, 2016) y salchichas (Carvalho *et al.*, 2020).

6.3.1. Curcuminoides

La cúrcuma es una planta que contiene una variedad de compuestos fenólicos y aceites volátiles, los cuales son producidos en sus rutas metabólicas secundarias. Estos compuestos son responsables de las propiedades medicinales y los beneficios para la salud asociados con la cúrcuma. Entre los compuestos fenólicos, los polifenoles son

especialmente destacados, y dentro de ellos se encuentran los curcuminoides, que son responsables del característico color amarillo anaranjado de la cúrcuma. Los curcuminoides constituyen una parte significativa de la composición química de la planta, representando entre un 2 y un 9 % de su composición (Taylor y Leonard, 2011; Van Hung y Duyen Vo, 2017).

De acuerdo con Taylor y Leonard (2011), los principales curcuminoides presentes en la cúrcuma son los siguientes:

- a) Diferuloilmetano (Curcumina I): Es el más común y comercialmente utilizado. Representa aproximadamente el 77 % del total de curcuminoides en la planta. Su estructura química implica un esqueleto hidroxicarbonado dicetónico con dos grupos fenol, que varían en comparación con otros derivados curcuminoides, como se observa en la Figura 1. Estos grupos funcionales son sensibles a cambios en el pH, temperatura y a interacciones con otras moléculas (Paramasivam *et al.*, 2009; González-Albadalejo *et al.*, 2015).

Su estructura otorga a la curcumina varias propiedades notables, como su habilidad para actuar como antioxidante y su capacidad para inhibir la oxidación lipídica en alimentos y sistemas biológicos, debido a su capacidad para donar electrones y neutralizar radicales libres. También puede interactuar con proteínas y enzimas en el cuerpo, lo que potencialmente contribuye a sus efectos biológicos, como sus propiedades antiinflamatorias (Paramasivam *et al.*, 2009; González-Albadalejo *et al.*, 2015).

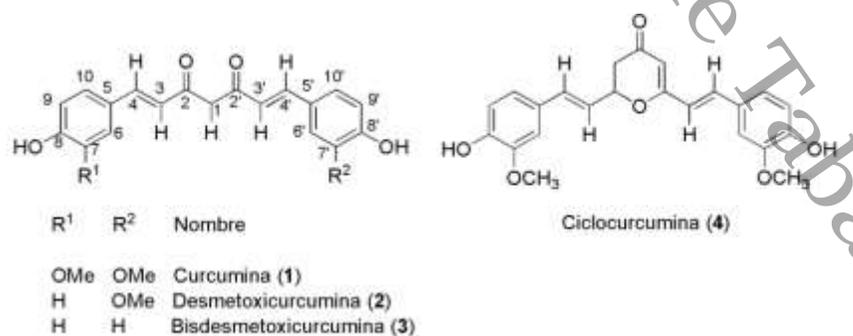


Figura 1. Estructura química de los curcuminoides (González-Albadalejo *et al.*, 2015).

- b) Demetoxicurcumina (Curcumina II): Constituye alrededor del 17% de los curcuminoides presentes en la cúrcuma.
- c) Bisdemetoxicurcumina (Curcumina III): Representa alrededor del 3% del contenido total de curcuminoides.
- d) Ciclocurcumina: Se encuentra en menor cantidad en comparación con los otros curcuminoides.

6.4 Oxidación lipídica

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) son esenciales para el funcionamiento adecuado del organismo y deben obtenerse a través de la dieta, ya que el cuerpo humano no puede sintetizarlos en cantidades suficientes. Sin embargo, estos ácidos grasos son altamente susceptibles a la oxidación debido a la presencia de enlaces dobles en su estructura y por lo tanto, pueden producir sabores y olores desagradables que reducen rápidamente la calidad, funcionalidad y valor nutrimental de los alimentos (Wu *et al.*, 2020; Aires *et al.*, 2005).

El enranciamiento oxidativo es una de las reacciones de deterioro más importantes en los ácidos grasos, especialmente insaturados, afectando a las propiedades y el almacenamiento de los alimentos, creando compuestos que reducen su calidad y, si su consumo es constante, pueden llegar a ser tóxicos. La producción de frituras en la industria alimentaria brinda condiciones ideales para la formación de estos compuestos durante el proceso debido a las altas temperaturas y la presencia de oxígeno en el proceso de cocción (Le *et al.*, 2020; Esquivel-Ramírez *et al.*, 2009). Para abordar este desafío y proteger la calidad de los alimentos que contienen AGPI, se utilizan antioxidantes.

6.5 Antioxidantes en la industria alimentaria

Según los estudios de López-Ramírez y Echeverri (2007), los antioxidantes abarcan una amplia variedad de sustancias naturales, como las vitaminas, algunas enzimas específicas, pigmentos y otros compuestos; así como algunas sustancias sintéticas, incluyendo el butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), galato de propilo (GP)

y terbutilhidroquinona (TBHQ). Estas sustancias tienen la función de neutralizar los radicales libres, contrarrestando de esta manera los efectos vinculados al estrés oxidativo. Entre los efectos perjudiciales que se contrarrestan se encuentran el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, reumáticas y procesos asociados al envejecimiento.

Es importante resaltar que los antioxidantes sintéticos previamente mencionados han sido ampliamente utilizados en la preservación de alimentos. Sin embargo, en la actualidad se han suscitado cuestionamientos en relación a su empleo, debido a su rápida degradación a altas temperaturas, pero principalmente por su potencial toxicidad para la salud, es crucial entonces examinar sus efectos sobre la salud (Mejía *et al.*, 2014). Se han registrado diversos efectos derivados del uso prolongado de estos antioxidantes, incluyendo la dermatitis (Field *et al.*, 2007), y su potencial como desencadenantes de daño al ADN, mutaciones celulares y cáncer de vejiga (Nazhad-Dolatabadi y Kashanian, 2010).

6.6 Antioxidantes naturales en la industria alimentaria

Los antioxidantes naturales se distribuyen en una amplia variedad de alimentos, como cereales, especias, árboles frutales, cultivos hortícolas y semillas oleaginosas (Álvarez y Orallo, 2003; Panchi, 2021). Estos valiosos compuestos pueden presentarse en formas diversas, tales como polifenoles (como ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y ligninas), carotenoides (incluyendo xantofilas y carotenos), tocoferoles, tocotrienoles, e incluso ciertos aminoácidos y péptidos (Serra *et al.*, 2020).

En cuanto a su aplicación, estos antioxidantes se presentan en diversas formas, que abarcan desde el material vegetal en su totalidad o molido, hasta extractos concentrados, oleorresinas o compuestos bioactivos aislados (Serra *et al.*, 2020). Entre los ejemplos notables de antioxidantes empleados en la industria alimentaria, encontramos el licopeno, presente en alimentos como el tomate, sandía, papaya y albaricoque (Vilaplana, 2007), y que ha encontrado aplicación en productos a base de tomate, como el ketchup (Valenzuela *et al.*, 2003).

Por otro lado, los tocoferoles, integrantes de la familia de la vitamina E, se encuentran en alimentos como avellanas, almendras, coco y germen de trigo, entre otros (Vilaplana, 2007). Estos han sido empleados para estabilizar aceites vegetales (Valenzuela et al., 2003). Además, las fracciones de proteína de soja han encontrado utilidad en la estabilización de emulsiones alimentarias (Serra *et al.*, 2020).

El empleo de la cúrcuma como antioxidante en la industria alimentaria está experimentando un notable auge, impulsado por el creciente interés en ingredientes naturales. Esta raíz es una valiosa fuente de antioxidantes polifenólicos y también contiene vitaminas C y E (Laffita y Castillo, 2012). Lean y Mohamed (1999) reportaron que la cúrcuma presenta una mayor actividad antimicótica y antioxidante, en comparación con otras hierbas como el clavo, las hojas de betel y la hierba de limón; demostrando ser aún más eficaz que el BHA y el BHT para extender la vida útil de un pastel.

6.7 Botanas en la industria alimentaria

Las botanas tienen gran relevancia en la industria alimentaria, siendo productos ampliamente consumidos a nivel mundial. Conforme a lo establecido por la NOM-187-SSAI/SCFI-2002 (DOF, 2023), las botanas engloban aquellos "productos hechos de pasta de harinas, cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como granos, frutas, frutos, semillas o leguminosas, con o sin cáscara o cutícula, tubérculos, productos nixtamalizados y piel de cerdo. Estos pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extruidos o tostados. Además, pueden contener o no sal, y otros ingredientes opcionales y aditivos alimentarios".

Debido a la creciente demanda de estos productos, la industria alimentaria ha ajustado tanto sus formulaciones como sus procesos para realzar su sabor, aroma, color y textura, además de prolongar su vida útil. No obstante, todo ello ha conducido muchas veces a la elaboración de productos con un elevado contenido calórico, grasas y carbohidratos, pero con un limitado valor nutritivo, los cuales son comúnmente denominados como "alimentos chatarra" (Hirth *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2018).

Por lo expuesto anteriormente, la industria alimentaria enfrenta el desafío de innovar en la creación de botanas que preserven su contenido nutricional, promuevan la salud y, al mismo tiempo, satisfagan los gustos del consumidor. En respuesta, el sector de las botanas ha emprendido la tarea de desarrollar una variedad de productos, explorando distintos métodos de producción y materias primas, en sintonía con las especificidades del producto deseado y las preferencias de los compradores.

De acuerdo con Delgado (2019) y Gómez (2013), las botanas se han clasificado en tres generaciones, las cuales se describen a continuación:

- a) Primera generación: Comprende los productos elaborados a partir de granos enteros como cacahuates, maíz, pepitas y nueces, entre otros. En la elaboración de este tipo de botanas, es importante controlar la humedad y la temperatura del alimento, ya que son ingredientes perecederos con una vida útil de 1 a 3 meses.
- b) Segunda generación: Incluye la mayoría de las botanas en las que se utiliza un solo ingrediente para formar una masa, como los totopos y las botanas expandidas. Para lograr el producto final, estas botanas requieren procesos de cocción, que pueden ser horneado o fritura (Huber y Rokey, 1990).
- c) Tercera generación: En esta categoría se encuentran los productos intermedios conocidos como "pellets", los cuales están compuestos por múltiples ingredientes. A pesar de ser similares a las botanas de segunda generación, estos productos aún no están listos para el consumo y deben someterse a un proceso de expansión mediante aire caliente o microondas.

Aunque se distinguen tres generaciones de botanas, es la segunda generación la que ha experimentado la demanda más significativa, resultando en una producción considerablemente mayor (Delgado, 2019). Esto abre una ventana de oportunidad para aprovechar una amplia gama de materias primas gracias a su accesibilidad. Al combinar estas materias primas con otras que contienen compuestos bioactivos, es viable crear un producto tipo botana que no solo mejore el estilo de vida, sino que también aporte beneficios a la salud de los consumidores.

La base de esta afirmación proviene de investigaciones que exploran los efectos de impregnar cúrcuma y jengibre en la coloración de la botana elaborada a partir de plátano verde (*Musa paradisiaca*). En el estudio llevado a cabo por Bastidas y Toala (2022), se ha evidenciado que a medida que se aumenta el tiempo de impregnación, se logra una mayor concentración de cúrcuma y jengibre en la botana. Además, se destacó que a lo largo del período de estudio, la cúrcuma presentó la menor variación de color, manteniendo su tono original sin mostrar signos de decoloración. Estos resultados conducen a la conclusión de que la cúrcuma ha demostrado ser la opción más prometedora en este contexto. Adicionalmente, se ha explorado el uso del tratamiento osmótico como un método para infundir curcuminoides en rodajas de coco, con el propósito de desarrollar un alimento funcional. Por medio del análisis de HPLC se confirmó la infusión exitosa de los curcuminoides en la matriz de coco (Bellary *et al.*, 2011).

Por otro lado, la investigación llevada a cabo por Seung-Taik y Jung-Ah (2015) examinó las propiedades de una botana de arroz frito conocida como yukwa, enriquecida con diferentes cantidades de polvo de cúrcuma (*Curcuma longa*). En este estudio, se observó que la cantidad de polvo de cúrcuma utilizada tuvo un impacto significativo en el color del producto final. Además, se demostró que la inclusión de cúrcuma en la botana inhibió eficazmente el proceso de deterioro oxidativo, lo que resultó en una mejora de las propiedades funcionales y la vida útil del producto.

En resumen, existe una prometedora oportunidad para la creación de botanas saludables. Investigaciones previas respaldan la idea de que la cúrcuma puede desempeñar un papel crucial en mejorar tanto la apariencia como las cualidades nutricionales. No obstante, también se debe tener en consideración que los espacios intercelulares presentes en la matriz alimentaria natural determinan el grado de infusión de los compuestos biológicamente activos. En este sentido, aspectos como la cinética y viabilidad de la infusión, la interacción entre los componentes del alimento, la estructura celular y las propiedades mecánicas constituyen algunas de las principales inquietudes en relación con la incorporación de compuestos biológicamente activos en alimentos sólidos (Bellary *et al.*, 2011; Bellary y Rastogi, 2014).

6.8 Banano

La distinción entre el banano y el plátano se fundamenta principalmente en su forma de consumo. Los bananos son ingeridos en estado fresco o crudo, además de ser más pequeños y contar con una piel más delgada y suave. Por otro lado, los plátanos se consumen después de ser cocinados, poseen un tamaño mayor, presentan una piel más gruesa y son más complicados de pelar en comparación con los bananos (Estrella *et al.*, 2013).

En cuanto a su clasificación, los bananos son plantas herbáceas monocotiledóneas de gran tamaño del género *Musa* y pertenecen a la familia Musaceae. Los cultivares más destacados provienen de la hibridación entre *Musa acuminata* Colla (AA) y *Musa balbisiana* Colla (BB). Esta recombinación dio origen a las variedades triploides más relevantes en el comercio, como los bananos (AAA), los plátanos (AAB) y los guineos (ABB) (Arteaga-Alcivar, 2015; Nadal-Medina *et al.*, 2009).

Exhiben una amplia diversidad en términos de formas y colores, contando con más de 1,000 variedades distintas. La variante más extendida, cultivada y recolectada en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, como Asia, África, América Central y del Sur, y que ejerce una influencia crucial en la industria comercial del banano, es la variedad *Cavendish*. Este ejemplar se destaca por ser dulce y carecer de semillas, cualidades que lo vuelven atractivo y adecuado para el consumo. De hecho, este cultivar representa al 95 % de todos los bananos comercializados a nivel mundial (FAO, 2020).

Este fruto es el cuarto cultivo alimentario más relevante en el panorama mundial, superado únicamente por el arroz, el trigo y el maíz. Además, juega un papel esencial en la alimentación humana, siendo considerado tanto un alimento esencial como un artículo para la exportación (Beltrán-García *et al.*, 2009). Con un promedio de consumo per cápita anual de 12 kilogramos en todo el mundo. Asimismo, la creciente demanda del banano como opción de postre ha impulsado un incremento en las exportaciones a nivel global (FAO, 2020).

6.8.1 Importancia del estado de maduración y contenido de almidón resistente

Numerosos estudios han resaltado las múltiples aplicaciones que pueden atribuirse al banano, gracias a su elevado contenido de almidón y su nivel aceptable de proteínas (Guerra *et al.*, 2008; Zamudio *et al.*, 2010). Según la definición de Martínez-Mora (2015), el término "almidón resistente" (AR) abarca tanto la cantidad completa de almidón como sus subproductos degradados que exhiben resistencia a la digestión en el intestino delgado de individuos saludables.

Este tipo de almidón, comparte similitudes en su comportamiento con la fibra dietética, ya que no se descompone por completo en el intestino delgado y, se asemeja a la fibra en términos de su influencia beneficiosa sobre la salud. Entre sus beneficios se encuentran la capacidad de regular los niveles de glucosa en sangre, promover la salud intestinal y prevenir las enfermedades cardiovasculares (Martínez-Mora, 2015). Este componente se encuentra de manera natural en frutas, leguminosas y tubérculos (Jiménez-Domínguez *et al.*, 2015). Se ha reportado que la variedad M. *Cavendish* AAA sin cáscara contiene un 34 % de AR (Ble *et al.*, 2010).

El AR presente en el banano juega un papel significativo al elaborar una botana frita, ya que puede influir en varios aspectos relacionados con la calidad nutricional. Entre estos podemos encontrar (Englyst *et al.*, 1992; Goñi *et al.*, 1996; Dicenta; 2015):

- a) Menor absorción de grasa: Al cocinar una botana frita, el AR puede actuar como una barrera para la absorción excesiva de grasa. A medida que se fríe la botana, parte del almidón resistente puede formar una capa alrededor de la superficie, evitando que la grasa penetre en el alimento.
- b) Sensación de saciedad: La presencia del AR en la botana puede aumentar la sensación de saciedad, lo que puede ayudar a controlar la cantidad de alimento consumido y a evitar el exceso de ingesta calórica.
- c) Efecto en la textura: La presencia de AR puede dar una textura crujiente en el exterior de la botana mientras mantiene cierta suavidad en el interior. Esto puede mejorar la experiencia sensorial al consumirla.

La escala de Von Loesecke (1950), representada en la Figura 2, es una clasificación empleada para describir el nivel de madurez de los bananos, considerando tanto su color como sus características específicas.

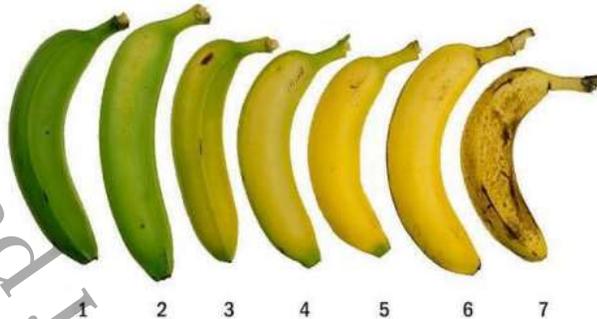


Figura 2. Estado de madurez del banano según la escala de Von Loesecke (1950).

Esta reviste una importancia en la industria alimentaria, ya que contribuye significativamente a la identificación y selección de la fruta en distintas fases de madurez. Así, se toman en consideración factores como el contenido de almidón y la calidad del producto final. Los diversos niveles de maduración, según Von Loesecke (1950), se describen a continuación:

- a) Estado 1 - Verde: Está en una etapa temprana de maduración. El contenido de almidón en esta etapa es alto, y la fruta aún no ha desarrollado azúcares simples como la sacarosa.
- b) Estado 2 - Verde Claro: Comienza a cambiar el color, pasando de un verde intenso a un verde más claro. El contenido de almidón sigue siendo alto, pero los primeros signos de cambio en la maduración son visibles.
- c) Estado 3 - Verde Claro con Trazas de Amarillo Claro: La maduración está en sus primeras etapas y la fruta está lista para ser distribuida en condiciones cálidas.
- d) Estado 4 - Más Amarillo que Verde: El color se inclina más hacia el amarillo que hacia el verde. Se recomienda para la distribución en épocas más frías, ya que la fruta ha avanzado en su proceso de maduración.
- e) Estado 5 - Amarillo con Puntas Verdes: En este estado, la fruta presenta un color amarillo más pronunciado, pero aún conserva puntas o áreas verdes en su superficie. Es considerada la etapa ideal para la distribución comercial.

- f) Estado 6 - Amarillo Total: Se alcanza un color amarillo completo y uniforme. Esto indica que está lista para su venta y consumo, ya que ha alcanzado un punto óptimo de maduración.
- g) Estado 7- Amarillo con Pecas Café: En esta última etapa de maduración, la fruta está completamente madura, lo que a menudo se asocia con un mejor sabor y un alto valor nutricional.

6.8.2 Producción del banano

Los resultados preliminares del comercio mundial del banano en 2022 evidencian desafíos significativos vinculados a factores climáticos, normativas, calidad del producto y costos de producción. Estos acontecimientos han afectado tanto a los productores como a los participantes en la cadena de suministro, generando una mayor complejidad en la producción y exportación de bananos a nivel global (FAO, 2023).

Hasta el momento, estos resultados revelan varios aspectos clave en términos de países importadores, exportadores y producción. Estos hallazgos resaltan la continua importancia de naciones como la Unión Europea, donde países como Alemania, Francia y el Reino Unido mantienen un alto nivel de consumo. En la Figura 3, se pueden observar los países principales importadores.

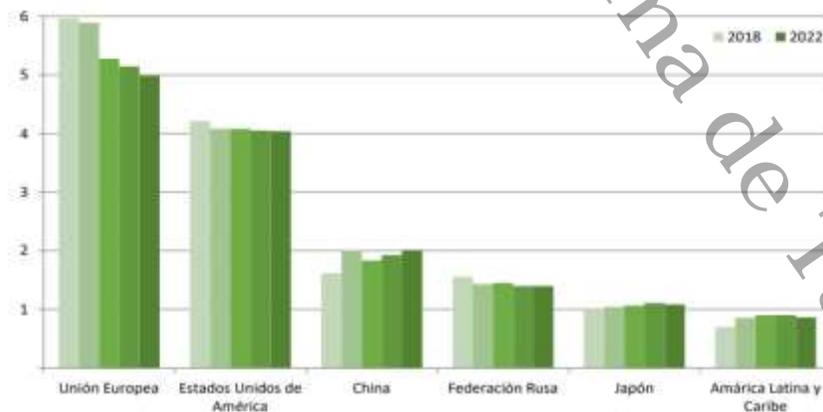


Figura 3. Importaciones de banana por destino, 2018–2022 (preliminar), millones de toneladas (FAO, 2023).

Por el lado de la exportación en la Figura 4, se puede observar como Ecuador, Filipinas, Costa Rica, Guatemala, Colombia y República Dominicana siguen siendo actores clave.

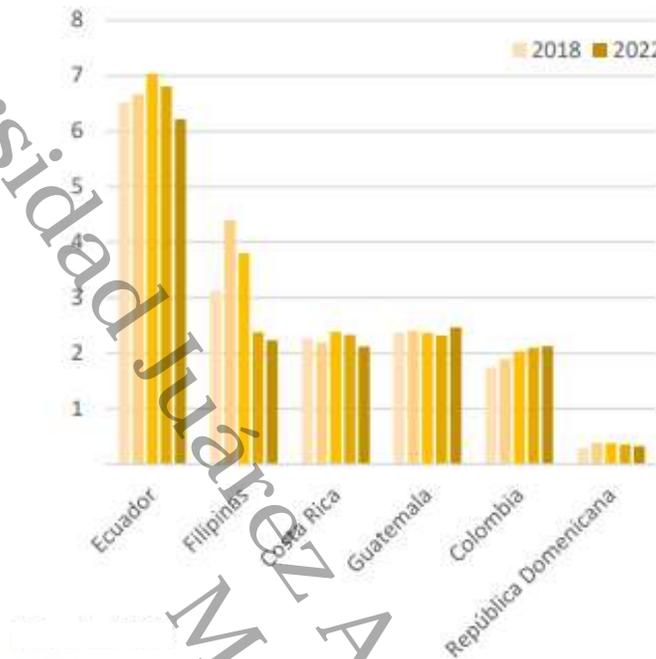


Figura 4. Exportación mundial de banano por principales orígenes, 2018-2022 (preliminar), millones de toneladas (FAO, 2023).

En términos de producción, Ecuador y Filipinas, seguidos por India y China. En cuanto a México, ocupa el 12° lugar a nivel mundial en la producción de este fruto. El 30 % de esa producción es destinado a 43 mercados; entre los principales están: Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Corea del Sur, Rusia, Italia y Nueva Zelanda (SADER, 2021). La variedad más conocida y comercializada es “Cavendish” (*Musa acuminata*, grupo AAA, subgrupo *Cavendish*) que representa el 40-50 % de la producción mundial (FAO, 2023).

A nivel nacional el sector bananero es una fuente de sustento para aproximadamente 1.5 millones de personas, generando alrededor de 100 mil empleos directos y 164 mil empleos indirectos (SADER, 2019). La producción de bananos y plátanos se extiende a lo largo de 16 estados en nuestro país (SADER, 2022).

De acuerdo con la base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), hasta marzo de 2023, Chiapas lidera la producción de banano con

168 mil 899 toneladas, seguido por Tabasco con 146 mil 436 toneladas y Veracruz con una cosecha de 93 mil 728 toneladas (Flores, 2023). Estos tres estados en conjunto representaron el 63.6 % de la superficie sembrada, el 66 % del volumen total producido y el 52 % del valor total generado por la producción de este cultivo a nivel nacional (SADER, 2022). Actualmente, el banano es una de las frutas más consumidas en México, con un consumo promedio per cápita de 14.4 kg al año (SADER, 2021).

A nivel estatal el estado de Tabasco, es el segundo productor de banano en el país. Su clima cálido y húmedo proporciona condiciones ideales para el cultivo de esta fruta tropical. La producción de este fruto en el estado se concentra en varios municipios, y algunos de ellos son especialmente destacados en términos de volumen de producción. Datos del Sistema de la Infografía Agroalimentaria de Tabasco, informan que el cultivo de plátano representa 34.6 % del valor de la actividad agrícola del estado, siendo Teapa el principal municipio productor de plátano, con casi 76 % de la producción estatal, seguido por los municipios de Tacotalpa y Cunduacán que representan 6.81 % y 6.66 % respectivamente de la producción estatal (Uribe *et al.*, 2021).

7 Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la División Académica de Ciencias Agropecuarias, ubicada en la Ranchería La Huasteca 2ª sección, municipio de Centro, Tabasco, km 25 de la carretera Villahermosa-Teapa. La ubicación geográfica es de 17°47'10.8" latitud norte y 92°57'20.5" latitud oeste.

7.1 Preparación de las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron frutos de banano *Musa AAA cavendish* en su fase de maduración verde 1, según la escala Von Loesecke. Los frutos fueron trasladados al área de procesamiento, donde se llevó a cabo el lavado con agua corriente y el pelado de forma manual. Una vez pelados, se cortaron en rodajas de 2 mm de espesor; estas se sumergieron en una solución de ácido ascórbico al 0.3% (p/v) durante un lapso de 20 min esto tenía como objetivo principal preservar su calidad visual al prevenir la oxidación y el pardeamiento enzimático, así como conservar su textura y sabor. Al finalizar el período de inmersión, las rodajas fueron escurridas y dispuestas sobre las charolas de un deshidratador de alimentos de uso doméstico (Hamilton Beach 332100) para su posterior secado. Las condiciones de secado empleadas fueron las siguientes: 70 °C, velocidad de entrada del aire de 1 m/s y un tiempo de secado de 5 h.

Posteriormente, se tomaron lotes de 40 g de rodajas de banano, previamente acondicionados, que fueron sumergidos inicialmente en una solución de NaCl al 10% durante 5 min esto para ayudar a la preservación del color, textura, inhibición de la actividad enzimática, control microbiológico. Después, se escurrieron y sumergieron en los extractos etanólicos de cúrcuma a las concentraciones de curcuminoides de 1, 3 o 5 mg/mL de extracto, durante 1, 3, 5, 7 o 9 min respectivamente. Los extractos fueron filtrados al vacío, aforados a 25 mL, y un mL de cada extracto aforado fue nuevamente diluido a 25 mL. El contenido de curcuminoides en los extractos etanólicos de cúrcuma se determinó por espectrofotometría UV-Vis, siguiendo la metodología de Holkar *et al.* (2015).

Una vez concluidas las inmersiones, las rodajas se sometieron a un proceso de escurrido y luego se procedió a freírlas en aceite comercial de canola a una temperatura de 150 °C durante un lapso de 10 minutos. Esta fase de fritura se realizó utilizando una freidora eléctrica, manteniendo una relación producto: aceite de 4:100 (p:v).

Finalmente, las rodajas de banano fueron escurridas y enfriadas a temperatura ambiente. Posteriormente, se procedió a su empaque y almacenamiento en bolsas de polipropileno, las cuales, se conservaron a una temperatura de 4°C hasta la realización de los análisis correspondientes.

7.2 Determinación de curcuminoides en las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma

Para la determinación de curcuminoides, se realizó primero la extracción de estos compuestos y, posteriormente su cuantificación, utilizando los métodos analíticos de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y espectrofotometría UV-Visible.

La cromatografía líquida de alta resolución es una metodología analítica que se emplea para separar, identificar y cuantificar compuestos en una muestra. En este sentido, se utilizó para cuantificar curcumina, un compuesto específico presente en la matriz alimentaria objeto de estudio.

En contraste, el método espectrofotométrico UV-Visible es una técnica basada en la absorción de radiación ultravioleta, que se empleó para determinar la concentración de curcuminoides totales en las muestras. Los curcuminoides comprenden un grupo de compuestos, incluida la curcumina.

Empleando ambos métodos, se logró una comprensión más completa del comportamiento de los curcuminoides totales y la curcumina específica en la matriz, lo cual, permitió entender cómo estos compuestos, interactúan y contribuyen a las propiedades funcionales del producto obtenido de la fritura obtenida. En seguida, se

describen los procedimientos de extracción de los curcuminoides y su posterior cuantificación.

7.2.1 Extracción de curcuminoides de las rodajas de banano fritas

La extracción de curcuminoides de las rodajas de banano se realizó de acuerdo con las metodologías de Lim *et al.* (2011) y Rathnayaka *et al.* (2019), con ciertas modificaciones. En primer lugar, se pesó alrededor de 1 g de rodajas de banano previamente molidas con ayuda de un mortero y pistilo. A esta muestra se añadieron 10 mL de etanol absoluto y la mezcla se homogeneizó a 7,200 rpm durante 40 s, utilizando un homogeneizador digital (IKA ULTRA-TURRAX 3720000 T18).

Después de la homogeneización inicial, la mezcla se dejó reposar para recuperar el líquido sobrenadante, que se transfirió por decantación a un tubo de ensayo. Al sedimento de la primera homogeneización se adicionaron 10 mL más de etanol absoluto y se homogeneizó nuevamente a 7,200 rpm durante 40 s; el sobrenadante resultante se transfirió al tubo de ensayo que contenía el sobrenadante de la primera homogeneización.

La tercera homogeneización se realizó con la adición de 10 mL adicionales de etanol, y el sobrenadante resultante se incorporó a los extractos acumulados anteriormente. El sedimento restante de esta tercera homogeneización fue transferido con 15 mL de etanol absoluto al tubo de ensayo que contenía los extractos y posteriormente, esta mezcla fue sometida a sonicación mediante un baño sonicador (Cole-Parmer 08895-39) durante 2.5 horas a una temperatura constante de 50 °C.

La mezcla resultante se transfirió cuantitativamente a un matraz volumétrico de 50 mL y se aforó con etanol absoluto. A continuación, se tomaron 10 mL de esta solución y se colocaron en un tubo cónico de plástico para su centrifugación a 4,000 rpm durante 5 min, utilizando una centrifuga (Cole-Parmer AO-83058-02). Finalmente, las muestras centrifugadas se sometieron a la lectura espectrofotométrica, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible.

7.2.2 Cuantificación de curcuminoides por espectroscopía UV-Vis

Para la lectura de las muestras, se empleó una longitud de onda de 427 nm. Previamente, se realizó una calibración del espectrofotómetro UV-Visible (Orbeco Hellige SP600) utilizando etanol absoluto como blanco. Para ello, se introdujeron 5 mL de etanol absoluto en una celda de vidrio y se llevaron a cabo las mediciones necesarias para ajustar el equipo a cero.

Para construir la curva de calibración, se empleó un estándar de curcuminoides grado analítico con una pureza >98%, (Supelco, 08511) fue disuelto en etanol absoluto para obtener una solución de 10 mg/mL. A partir de esta solución se prepararon diluciones en concentraciones de 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 y 8.0 mg/mL. Los resultados obtenidos permitieron la determinación de la concentración de curcuminoides, expresada en microgramos por mililitro ($\mu\text{g/mL}$). Este cálculo se llevó a cabo utilizando la siguiente fórmula:

$$C_{Cur} = \frac{\left[\frac{L_{Abs} - 0.002}{0.2443} \right] (A.I)}{Pm}$$

Donde:

C_{Cur} = Concentración de curcuminoides

L_{Abs} = Lectura de absorbancia a 427 nm

A.I = Aforo inicial (mL)

Pm = Peso de la muestra (g)

A continuación, se colocaron 5 mL de las soluciones centrifugadas, proveniente de los extractos etanólicos de las muestras, en las celdas espectrofotométricas, para realizar las lecturas correspondientes. Una vez completadas estas mediciones, las muestras se mantuvieron refrigeradas hasta que se procedió a determinar su concentración de curcumina mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

7.2.3 Cuantificación de curcumina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

Para llevar a cabo la cuantificación de curcumina en los extractos etanólicos, se empleó un sistema de HPLC Waters. Dicho sistema comprendía una Bomba binaria Waters 1525 con un degasificador, así como un Detector UV-Visible Waters 2487. El software utilizado fue el Empower® 3 Chromatography Data Software de Waters. La columna empleada para el proceso fue una Waters Econosphere C18 de 5 μm (250 x 4.6 mm).

Para garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados, fue fundamental seguir ciertas condiciones en el equipo de HPLC. Estos requisitos incluyeron la calibración del equipo, que implicó la ajustar los parámetros de detección. Además de esto, se verificó la correcta configuración y calibración del detector. Asimismo, se llevó a cabo un proceso de purgado para eliminar cualquier burbuja de aire que pudiera estar presente en el sistema. Esto se realizó mediante un flujo de 0.20 mL/min, seguido de un flujo continuo de 1.20 mL/min en la fase A (ácido acético al 2%) y de 0.80 mL/min en la fase B (acetonitrilo). En conjunto, estos flujos alcanzaron un total de 2 mL/min. Esta etapa de flujo se mantuvo durante 20 min con el propósito de estabilizar la presión y eliminar impurezas potenciales que podrían haber sido absorbidas por la columna. Finalmente, se permitió un período de equilibrio de 10 min antes de proceder a la inyección de las muestras.

La metodología analítica aplicada siguió el enfoque descrito por Wichitnithad *et al.* (2009). Este método consistió en un ensayo de fase reversa utilizando HPLC, donde se empleó un sistema isocrático a un flujo constante de 2.0 mL/min. La fase móvil estaba compuesta por acetonitrilo y ácido acético al 2% en una proporción de 40:60 (v/v). La columna se mantuvo a temperatura ambiente y la detección del compuesto bioactivo se realizó a una longitud de onda de 427 nm.

Todos los solventes empleados en el proceso fueron de grado HPLC y se sometieron a un filtrado al vacío a través de una membrana de 0.2 μm . Estos solventes se sometieron a un proceso de sonicación durante 30 min para eliminar cualquier burbuja de aire. La cantidad de muestra inyectada fue de 20 μL , y el tiempo total de la corrida

cromatográfica fue de 10 min por cada muestra. La identificación de los picos de la muestra se realizó por comparación de los tiempos de retención de éstos con los tiempos de retención del estándar.

La cuantificación del compuesto bioactivo se basó en curcumina con una pureza $\geq 98\%$ (LKT Laboratories, St. Paul, MN). Se generó una curva estándar a partir de una serie de diluciones de curcumina a concentraciones de 0.125, 0.25, 1, 2,4 y 8 $\mu\text{g/mL}$ en etanol. Utilizando los valores obtenidos de esta curva estándar, se creó una curva tipo en Excel para determinar las concentraciones de curcumina presentes en las muestras.

7.3 Determinación del color en las en las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma

Durante la incorporación de los curcuminoides, resulta esencial evaluar cómo el tiempo de inmersión y la concentración de los mismos influyen en el color que adquieren las rodajas de banano fritas. Esto se debe a que el matiz de color adquirido por las rodajas variará en función de las condiciones de inmersión. Para garantizar la consistencia de las mediciones, se permitió que las muestras alcancen la temperatura ambiente antes de llevar a cabo las evaluaciones, lo que requirió un período de aproximadamente 20 minutos.

El proceso de medición se llevó a cabo de la siguiente manera: se dispuso una hoja blanca como fondo y sobre esta se colocó una caja circular de plástico con un diámetro de 5.7 cm y una altura de 2.5 cm. Dentro de esta caja se dispusieron las rodajas de banano fritas, asegurándose de que no quedara ningún espacio vacío. Con este arreglo, se procedió a realizar el análisis de color superficial de las rodajas de banano tras la fritura.

Este análisis se llevó a cabo utilizando un colorímetro de precisión (PANTONE, ColorCue 2.1). Se tomaron mediciones en cinco puntos distintos de cada muestra experimental para asegurar una representación completa del color.

Para la cuantificación, se empleó el sistema de color CIELAB, el cual se basa en las coordenadas tricromáticas L^* (luminosidad) abarcando desde el valor de cero que

corresponde al color negro, hasta el valor de 100 que corresponde al color blanco; a^* (índice de componente rojo a verde), si el matiz es rojo a^* adoptará un valor positivo, en contraste, si el matiz es verde a^* tendrá un valor negativo; para b^* (índice de componente amarillo a azul), valores positivos señalan la presencia de tonos amarillos, mientras que valores negativos sugieren la aparición de tonos azules (Talens, 2018).

Es importante destacar que no fue necesario aplicar ninguna ecuación de transformación a las lecturas del colorímetro, ya que el equipo proporcionó directamente los valores correspondientes a las coordenadas L^* , a^* y b^* .

7.4 Determinación de la correlación de color y el contenido de curcuminoides en las rodajas fritas de banana tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma

Para llevar a cabo la correlación entre el color y el contenido de curcuminoides, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson. El valor numérico obtenido a través del coeficiente de correlación de Pearson proporcionará información crucial sobre la intensidad y dirección de la relación entre las variables en estudio.

Valores cercanos a 1 o -1 indicarán una correlación fuerte, sugiriendo que a medida que una variable cambia, la otra tiende a cambiar de manera constante en la misma dirección (correlación positiva) o en dirección opuesta (correlación negativa). Por otro lado, valores próximos a 0 apuntarán hacia una relación débil o nula, indicando que los cambios en una variable no están fuertemente asociados con los cambios en la otra (Hernández *et al.*, 2018).

8 Diseño experimental y análisis estadísticos

Con el propósito de analizar el efecto de la inmersión de las rodajas de banano en los extractos etanólicos de cúrcuma, a diferentes concentraciones de curcuminoides y tiempos de inmersión, en la modificación cromática de las rodajas tratadas, se aplicó un diseño experimental factorial completamente aleatorizado de dimensiones 4 x 6, con tres repeticiones por cada tratamiento.

Los factores considerados junto con sus respectivos niveles consistieron en la concentración de curcuminoides en los extractos etanólicos de cúrcuma (0, 1, 3 y 5 mg de curcuminoides por mL) y el tiempo de inmersión en los extractos (0, 1, 3, 5, 7 y 9 minutos). Esto hizo un total de 24 tratamientos, lo que generó 72 corridas experimentales. Las variables de respuesta bajo análisis para cada uno de estos tratamientos incluyeron la concentración de curcuminoides, la concentración de curcumina, así como las coordenadas de color L^* , a^* y b^* en el espacio de color CIELab.

Para analizar la correlación entre el color y la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano fritas, se empleó la prueba estadística de correlación r de Pearson. La interpretación del valor obtenido ha tenido en cuenta tanto la fuerza de la relación como su significancia estadística.

El modelo estadístico a 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} en el error experimental en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento. Las ε_{ij} son independientes, con distribución $N(0, \sigma^2)$ (Montgomery, 2005).

Los resultados obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza (ANOVA) y a la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico Minitab 17v.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

9 Resultados y discusión

9.1 Cuantificación de curcuminoides por espectroscopía UV-Vis

En la Figura 5, se presenta la curva de calibración utilizada para determinar la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano fritas. Se observó un comportamiento lineal, lo que posibilitó la obtención de la ecuación ($y = 0.2443x + 0.0022$). La confiabilidad de este modelo se respalda por el alto coeficiente de correlación obtenido ($R^2 = 0.9998$).

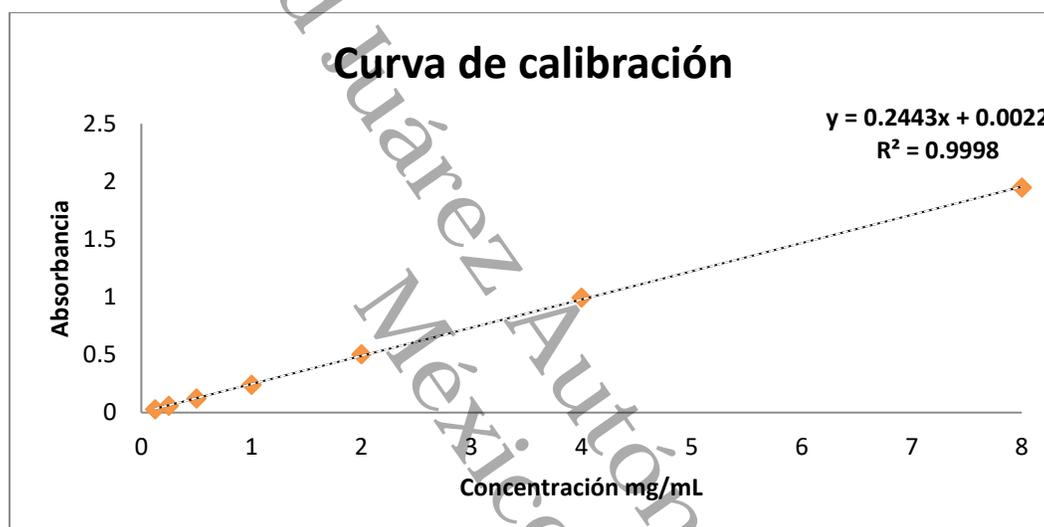


Figura 5. Curva de calibración para la cuantificación de curcuminoides por espectrofotometría UV-Vis.

La interpretación de los resultados obtenidos a través del método espectrofotométrico permite comprender cómo los curcuminoides son incorporados durante el proceso de inmersión, a medida que varía tanto la concentración de curcuminoides en los extractos utilizados, como el tiempo de inmersión de las rodajas en los extractos.

La Figura 6 muestra una relación entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y la cantidad de curcuminoides detectada en las muestras obtenidas de este proceso. A medida que se incrementa la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión, se observa un aumento en los niveles de curcuminoides detectados en las rodajas. Esto sugiere que la disponibilidad y la

cantidad de curcuminoides en los extractos influyen en la cantidad que se incorpora en las muestras durante la inmersión.

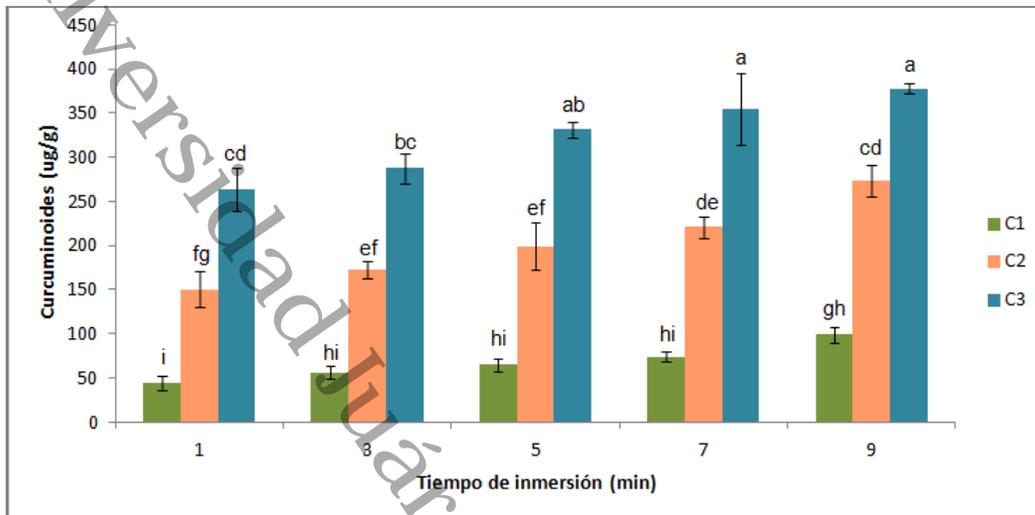


Fig 6. Contenido de curcuminoides en las rodajas de banana fritas previamente tratadas por inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma con concentraciones de curcuminoides de 1, 3 y 5 mg/ml.

Además, se ha identificado una tendencia en relación con el tiempo de inmersión. A medida que se prolonga el período de inmersión, la cantidad de curcuminoides incorporada en las muestras aumenta.

Por esta razón, al someter las rodajas de banana a 9 min de inmersión en los extractos de curcuminoides, se alcanza la concentración máxima de curcumina. En el tratamiento C1 (1 mg/mL), se logra una concentración de $99.17 \pm 9.09 \mu\text{g/g}$; en el tratamiento C2 (3 mg/mL), se obtiene $273.59 \pm 18.03 \mu\text{g/g}$, y finalmente, en el tratamiento C3 (5 mg/mL), se registra la concentración más alta, alcanzando $378.28 \pm 5.28 \mu\text{g/g}$.

El análisis estadístico de los datos obtenidos, reveló hallazgos significativos; los resultados del análisis de varianza se presentan en la Tabla 1. Este análisis mostró diferencias significativas tanto en la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión como en los tiempos de inmersión, así como en su interacción. El mayor efecto sobre el contenido de curcuminoides en las rodajas evaluadas se observó en la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión.

Tabla 1. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides en los extractos y el tiempo de inmersión, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Concentración curcuminoides	2	489981	244990	793.76	0.000
Tiempo de inmersión	4	52023	13006	42.14	0.000
Concentración curcuminoides * Tiempo inmersión	8	6697	837	2.71	0.022
Error	30	9259	309		
Total	44	557960			

Por otro lado, la prueba de Tukey mostró la existencia de diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las tres concentraciones de curcuminoides en los extractos evaluadas (C1, 1 mg/mL; C2, 3 mg/mL y C3, 5 mg/mL), mientras que entre los distintos tiempos de inmersión evaluados (1, 3, 5, 7 y 9 min), no se observaron diferencias significativas entre los tiempos de inmersión de 1 y 3 min, así como entre los tiempos de inmersión de 5 y 7 min.

Al examinar el efecto de la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el tiempo de inmersión, en la concentración de curcuminoides en las rodajas, se observó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de inmersión por 1 min de las rodajas en el extracto de 5 mg/mL y la inmersión por 9 min de las rodajas en el extracto de 3 mg/mL.

Este comportamiento se puede explicar al considerar el fenómeno de saturación gradual en la matriz del banano. A medida que aumenta la concentración inicial y se prolonga el tiempo de inmersión, más moléculas tienden a adherirse a la superficie de manera progresiva. Este proceso continúa hasta alcanzar un valor constante, que representa la capacidad máxima de adsorción de la matriz.

Además, debido que los curcuminoides son compuestos hidrofóbicos, es importante destacar que pueden ocurrir interacciones químicas significativas entre éstos y la superficie de las rodajas (González-Albadalejo *et al*, 2015). Esto implica que los curuminoides tienen una afinidad natural por las regiones hidrofóbicas presentes en las moléculas que conforman la superficie de las rodajas de banano. Estas interacciones podrían dar lugar a la inserción de los curcuminoides en las membranas celulares o en

las regiones hidrofóbicas de proteínas y lípidos que se encuentran en las células, pudiendo formar complejos o asociaciones moleculares. Estos complejos pueden afectar la capacidad de la matriz de las rodajas de banano para absorber más curcuminoides. A medida que se aumenta la concentración inicial de curcuminoides o se prolonga el tiempo de inmersión, es probable que la formación de estos complejos se vuelva más eficiente hasta alcanzar un punto en el que la matriz ya no puede acomodar más curcuminoides.

9.2 Cuantificación de curcumina por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

La Figura 7 muestra la curva resultante para cuantificar el contenido de curcumina en las muestras, la cual demostró un comportamiento lineal. La ecuación de la recta obtenida fue ($y = 117746x + 6524.5$). Esta ecuación se aplicó para calcular las concentraciones de curcumina en las muestras analizadas, respaldada por un coeficiente de correlación significativo ($R^2 = 0.9994$).

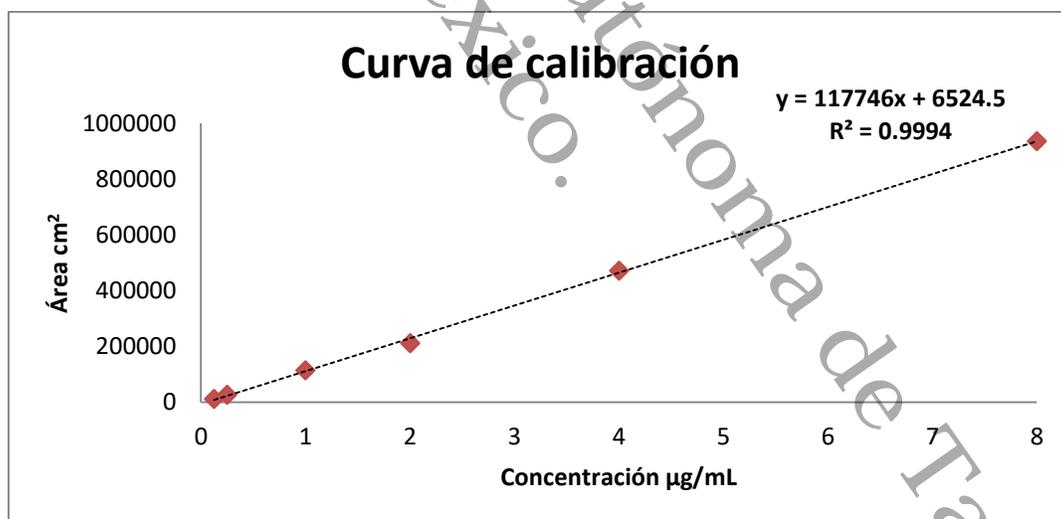


Figura 7. Curva de calibración para la cuantificación de curcumina por HPLC.

En las Figuras 8 y 9 se presentan dos cromatogramas obtenidos para la inyección de una disolución de curcumina (8 µg/mL) y de una muestra problema, respectivamente. En ambos casos, se observa un pico con un tiempo de retención de 2.9 min, el cual corresponde a la curcumina.

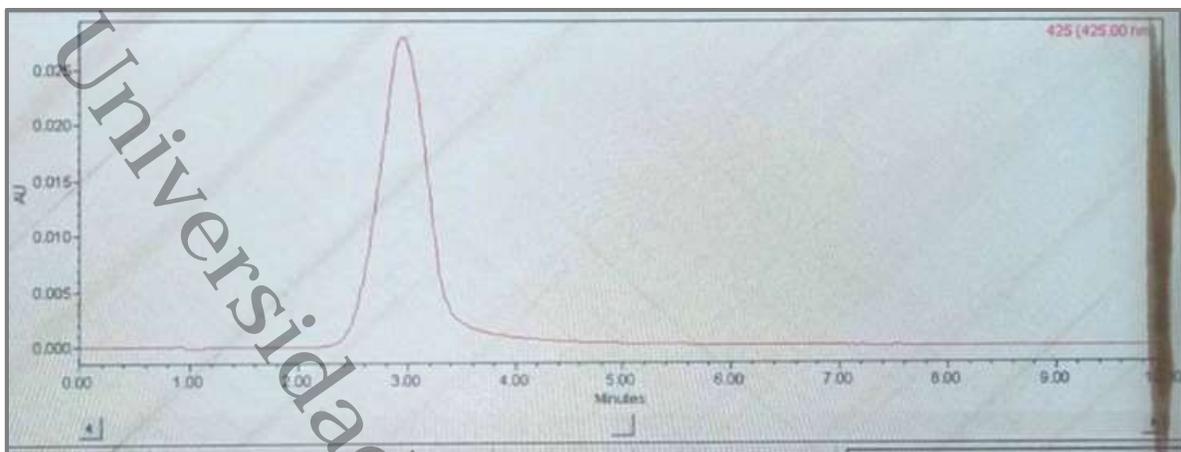


Figura 8. Cromatograma obtenido por HPLC de la inyección de una solución de curcumina a una concentración de 8 $\mu\text{g/mL}$.

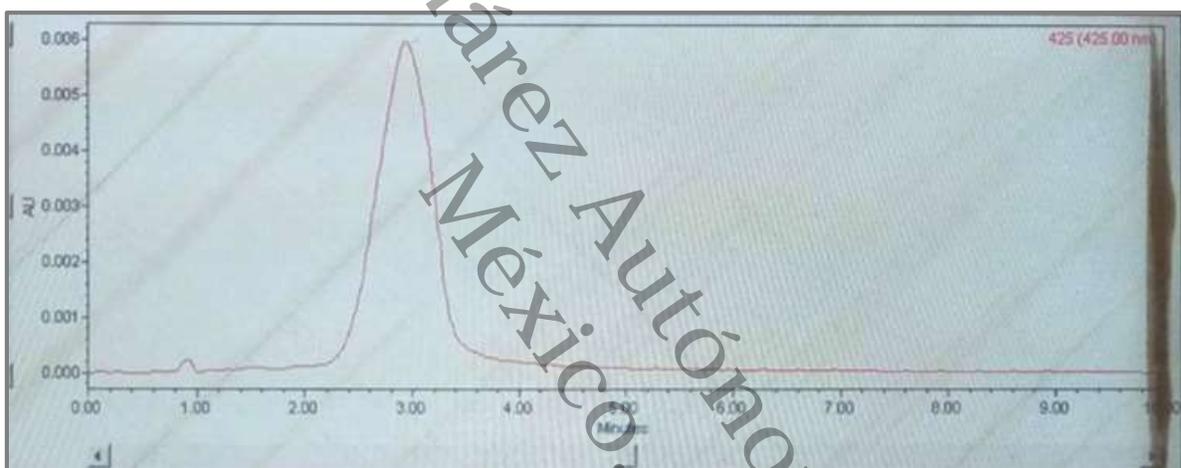


Figura 9. Cromatograma obtenido por HPLC de la inyección del extracto de una muestra de rodajas de banano fritas inmersas por 9 minutos en una solución de curcumina a una concentración de 1 mg/mL .

Los resultados de la cuantificación del compuesto bioactivo curcumina en el producto tipo botana, se presentan en la Figura 10. En la Figura, se destaca cómo varía la concentración de curcumina en las rodajas de banano a medida que se aumenta la cantidad de curcuminoides en los extractos de inmersión. Esta relación directa es evidente, revelando que mayores concentraciones de curcuminoides resultan en incrementos correspondientes en la concentración de curcumina en las rodajas de banano.

Además, se observa que el tiempo de inmersión también influye en la concentración del compuesto de interés en todos los tratamientos evaluados. A medida que progresa el tiempo de inmersión, la concentración de curcumina en las rodajas de banano aumenta. Es por eso el hecho de que, al someter las rodajas de banano a 9 min de inmersión en los extractos de curcuminoides, se obtiene la concentración máxima de curcumina. Para el tratamiento C1 (1 mg/mL) se logra retener una concentración de $83.10 \pm 8.14 \mu\text{g/g}$, para C2 (3 mg/mL) se obtiene $285.76 \pm 8.54 \mu\text{g/g}$, y finalmente, para C3 (5 mg/mL) se alcanza la concentración más alta, registrando $388.18 \pm 18.27 \mu\text{g/g}$.

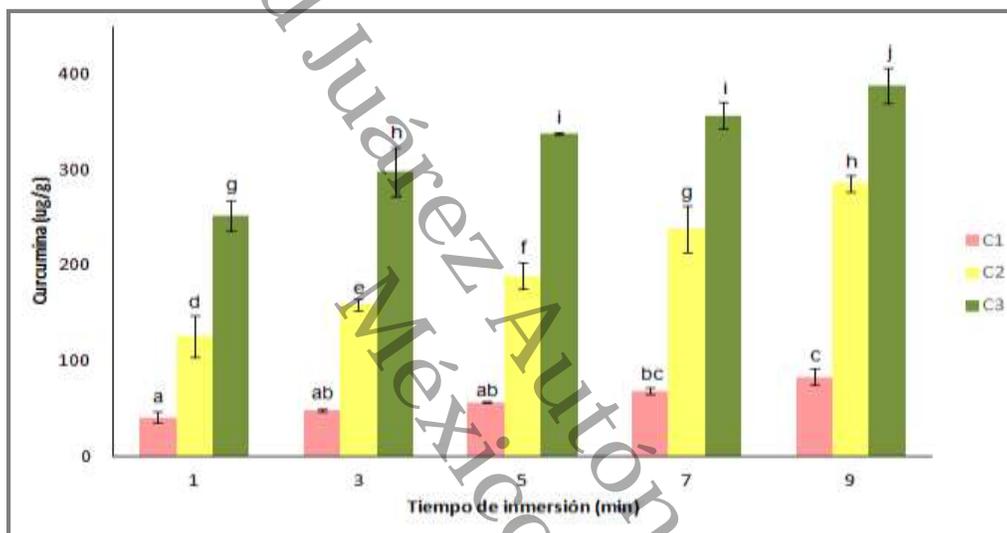


Figura 10. Contenido de curcumina en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a las concentraciones de 1 (C1), 3 (C2) y 5 (C3) mg de curcuminoides por mL de solución.

Estos resultados resaltan la relación entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión, el tiempo de inmersión y la concentración resultante de curcumina en las rodajas de banano. Esta información es crucial para comprender cómo manipular de manera efectiva estos parámetros y optimizar la producción del producto botana enriquecido con curcumina.

A este respecto, Taiky y Jung-Ah (2015) llevaron a cabo un estudio en el que exploraron el efecto de incorporar cúrcuma en un bocadillo coreano frito a base de arroz inflado (yukwa), observando que a medida que se incrementaba la cantidad de polvo de cúrcuma añadido, la presencia de curcuminoides también aumentaba, al tiempo que

permitía mayor actividad de eliminación de radicales libres. Esto a pesar de que los compuestos fenólicos, como la curcumina, son conocidos por ser sensibles al calor y por experimentar degradación durante los procesos térmicos (Cheynier, 2005). Esto indica que, a pesar de la posibilidad de su pérdida, se logró mantener una reserva apreciable de curcuminoides en el producto final.

Estos resultados también son similares a los obtenidos por Bellagy y Rastori (2014), quienes utilizando además una solución de NaCl al 10 % junto con un tratamiento combinado de vacío y sonicación, lograron la incorporación de curcuminoides en el producto; observando que la concentración de curcuminoides aumentó de manera significativa ($p \leq 0.05$), de manera proporcional al aumento del tiempo de inmersión.

En la Tabla 2, se observan los resultados del análisis estadístico de la concentración de curcumina en las rodajas de banano fritas. El análisis de varianza reveló diferencias significativas tanto en la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión como en los tiempos de inmersión, así como en su interacción; presentándose el mayor efecto para la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión, el cual influyó significativamente en el contenido de curcumina en las rodajas evaluadas.

Tabla 2. Análisis de varianza del efecto de la concentración, el tiempo de inmersión y su interacción, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Concentración curcumina (mg/mL)	2	536601	268301	1370.87	0.000
Tiempo de inmersión (min)	4	69968	17492	89.38	0.000
Concentración curcumina (mg/mL) * Tiempo inmersión (min)	8	15673	1959	10.01	0.000
Error	30	5871	196		
Total	44	628114			

Por otro lado, la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mostró diferencias significativas. Estas diferencias se manifestaron tanto entre las tres concentraciones de curcuminoides en los extractos evaluadas (C1, 1 mg/mL; C2, 3 mg/mL y C3, 5 mg/mL), como entre todos los diferentes tiempos de inmersión evaluados (1, 3, 5, 7 y 9 min).

Al examinar el efecto de la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el tiempo de inmersión en relación con la concentración de curcumina en las rodajas de banano fritas, se reveló que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de inmersión de las rodajas en el extracto de 3 mg de curcuminoides por mL por 7 min y la inmersión en el extracto de de 5 mg de curcuminoides por mL por 1 min. Del mismo modo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de inmersión de las rodajas en el extracto de 3 mg de curcuminoides por mL por 9 min y la inmersión en el extracto de 5 mg de curcuminoides por mL por 3 min, como se puede apreciar en la figura 10.

En relación a los resultados previamente presentados, estos pueden ser explicados considerando el efecto de la sobresaturación de la matriz del banano. Un estudio llevado a cabo por Bastidas y Toala (2022) reveló que al incrementar la concentración de cúrcuma, la tasa de absorción mostraba una tendencia a disminuir. Por el contrario, cuando la concentración de cúrcuma se reducía, la tasa de absorción aumentaba. Esto sugiere que a medida que la concentración de curcuminoides en la solución aumenta, la tasa de absorción disminuye debido a la saturación del sistema. No obstante, mientras la matriz conserve su capacidad de absorción, la tasa de absorción continuará en aumento.

Estos hallazgos se alinean con las observaciones realizadas por Bellagy y Rastori (2014), quienes notaron una disminución en la tasa de flujo de curcuminoides con el tiempo en todos los tratamientos de incorporación de curcuminoides. Resultados similares fueron reportados por Ensuncho *et al.* (2015), quienes subrayaron el impacto de las variaciones en la concentración del colorante amarillo-naranja en la tasa de saturación y el tiempo de penetración en carbones. Además de esto, resaltaron la relevancia del área superficial en el proceso de absorción. El área superficial juega un rol directo en la absorción o desorción de los curcuminoides, como lo demuestra la desorción del colorante amarillo-naranja en una solución acuosa mediante el uso de carbones activados.

Después de cuantificar los curcuminoides mediante ambos métodos (HPLC y espectrofotometría UV-Vis), se procedió a realizar el análisis de varianza, tomando en cuenta el método de cuantificación del principio bioactivo, para determinar si existían o no diferencias significativas entre ellos. A continuación, se presentan los resultados. En la Tabla 3, se pueden observar los resultados del análisis estadístico de la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano fritas obtenidos mediante ambos métodos. El análisis de varianza reveló diferencias significativas en la concentración de curcuminoides, en los tiempos de inmersión, así como en la interacción entre el tiempo de inmersión y la concentración de los extractos; no observándose diferencias significativas en cuanto al método de análisis empleado y sus interacciones.

Tabla 3. Análisis de varianza para los factores concentración de curcuminoides en los extractos, tiempo de inmersión y método de cuantificación, en el contenido de curcuminoides de las rodajas de banano fritas.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Concentración curcumina (mg/mL)	2	1026038	513019	2079.64	0.000
Tiempo de inmersión (min)	4	121115	30279	122.74	0.000
Método	1	213	213	0.86	0.357
Concentración curcuminoides (mg/mL) * Tiempo inmersión (min)	8	20666	2583	10.47	0.000
Concentración de curcuminoides*Método	2	544	272	1.10	0.339
Tiempo de inmersión*Método	4	876	219	0.88	0.478
Error	68	16835	248		
Total	89	1186287			

Por otro lado, la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) mostró la existencia de diferencias significativas. Estas diferencias se manifestaron tanto entre las tres concentraciones de curcuminoides en los extractos evaluadas, como entre todos los distintos intervalos de tiempo de inmersión evaluados, mientras que para el método no hay diferencias significativas, lo que sugiere que ambos métodos (HPLC y espectroscopia UV-Vis) pueden ser igualmente efectivos en la medición de los curcuminoides. Además, muestran que la elección entre HPLC y espectroscopia UV-Vis no influye de manera significativa a los resultados obtenidos en este contexto. Esto brinda flexibilidad al

seleccionar la técnica analítica más adecuada para futuros estudios relacionados con curcuminoides en productos alimenticios similares.

Al evaluar la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el tiempo de inmersión en relación con la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano fritas (Figura 11), se obtuvo un efecto significativo tanto de la concentración de curcuminoides como del tiempo de inmersión en la respuesta medida. Estos factores pueden ser agrupados en categorías que muestran diferencias significativas en sus medias, lo que sugiere que la concentración de curcuminoides y el tiempo de inmersión son variables importantes a considerar.

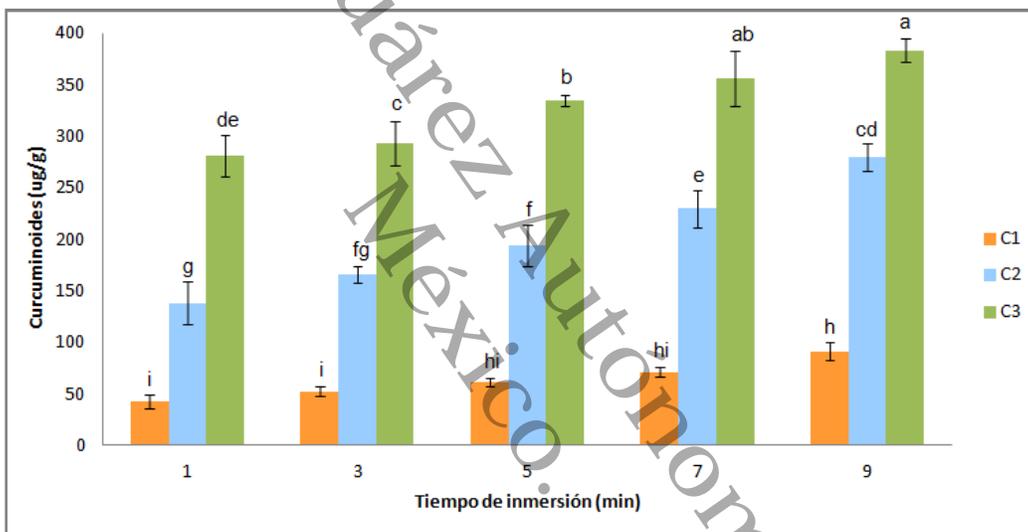


Figura 11. Contenido de curcuminoides en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a las concentraciones de 1 (C1), 3 (C2) y 5 (C3) mg de curcuminoides por mL de solución.

En cuanto a la interacción entre el tiempo de inmersión y el método utilizado para determinar la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano fritas (Figura 12), los resultados indicaron que no existen diferencias significativas en términos de la variable de respuesta. Esto sugiere que, independientemente del método utilizado, el tiempo de inmersión no afecta de manera significativa la concentración de curcuminoides en las muestras analizadas.

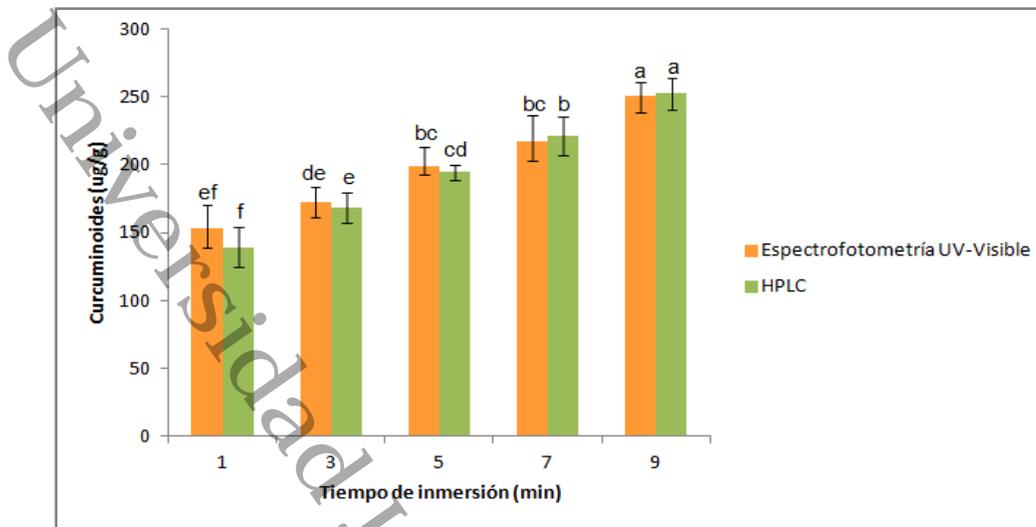


Figura 12. Influencia del tiempo de inmersión y el método utilizado para la cuantificación de curcuminoides en las rodajas de banano fritas.

Al examinar la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el método utilizado para determinar la concentración de curcuminoides en las rodajas de banano fritas (Figura 13), no se observaron diferencias significativas en la variable de respuesta entre las diferentes combinaciones de concentraciones de curcuminoides y métodos. Esto indica que la elección del método analítico no influye de manera significativa en los resultados cuando se considera la concentración.

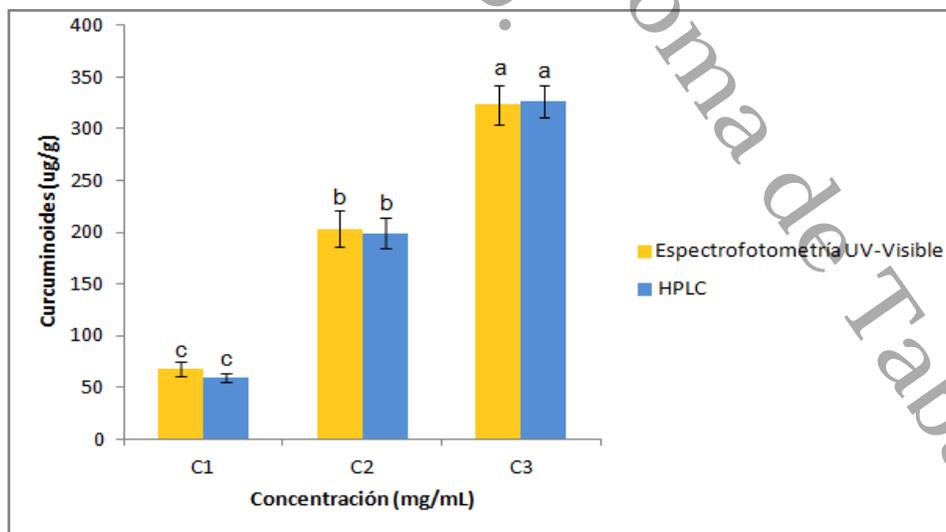


Figura 13. Influencia de la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el método utilizado para la cuantificación de curcuminoides en las rodajas de banano fritas.

Los resultados de nuestro estudio, que indican que no hay diferencias significativas en la cuantificación de curcuminoides mediante los dos métodos empleados (UV-Vis y HPLC), coinciden con investigaciones previas realizadas por Kadam *et al.* (2018). En su estudio, desarrollaron y validaron un método simple de UV-Visible y HPLC para estimar cuantitativamente la presencia de curcumina en la cúrcuma longa. Los resultados obtenidos revelaron que los porcentajes de curcumina eran similares entre las dos técnicas analíticas, respaldando la consistencia en la cuantificación de este compuesto, independientemente del método utilizado.

Este hallazgo de similitud entre dos métodos analíticos es consistente con otra investigación realizada por Salunkhe y Patil (2014). En su estudio, estos autores desarrollaron un método espectrofotométrico UV-Visible y uno de HPLC para cuantificar tanto la quercetina como la curcumina en churna polihierbal. Los resultados obtenidos fueron del 0.132% p/p de churna para la quercetina y del 0.25% p/p de churna para la curcumina mediante espectroscopía UV-Visible. Con la ayuda de HPLC, encontraron que la cantidad de quercetina y curcumina era del 0.1347% p/p y del 0.208% p/p de churna, respectivamente, reflejando similitudes a través de ambos métodos.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que los métodos seleccionados en nuestro estudio son efectivos y confiables para la cuantificación de curcuminoides, respaldando así la validez de nuestros resultados en el contexto de la determinación de la concentración de curcuminoides en el producto. Además, es importante tener en cuenta la elección del método, ya que puede depender de varios factores, incluso cuando los resultados son comparables: los costos asociados con cada método pueden variar significativamente. El HPLC generalmente implica costos más altos en términos de equipos, columnas de cromatografía y reactivos en comparación con el espectrofotómetro UV-Vis, que podría ser una opción más económica.

También, el tiempo necesario para completar un análisis puede ser un factor importante. El espectrofotómetro UV-Vis tiende a ser más rápido en comparación con el HPLC. Si la muestra es especialmente compleja y contiene múltiples componentes que pueden interferir con la cuantificación, el HPLC podría proporcionar una mayor

resolución y selectividad para separar y cuantificar específicamente el analito de interés.

9.3 Determinación del color en las en las rodajas fritas de banano tratadas con los extractos etanólicos de cúrcuma

A continuación, se presentan los resultados de las coordenadas L^* , a^* y b^* en el espacio CIElab, y cómo influye en las rodajas de banano fritas.

En la Figura 14, se destaca la variación en la coordenada L^* en las rodajas de banano a medida que aumenta la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión, así como el tiempo de inmersión. Este estudio revela que a medida que la concentración de curcuminoides aumenta, la luminosidad también aumenta, mientras que, al aumentar el tiempo de inmersión, no se observan cambios significativos, ya que esta permanece constante. En la figura 14 puede verse que la diferencia significativa para la coordenada L^* , se debe a una mayor luminosidad en el tratamiento de inmersión a la mayor concentración de cúrcuma en el extracto. La importancia de estos resultados radica en su contribución al entendimiento de cómo la concentración de curcuminoides afecta la luminosidad de las rodajas de banano durante el proceso de inmersión. Esta información puede ser valiosa en la industria alimentaria, especialmente en la preparación de alimentos fritos, donde el tono dorado es una característica particular (Alvis *et al.*, 2008).

Para un tiempo de inmersión de 9 min y una concentración de curcuminoides de 5 mg/mL, se obtiene un valor de luminosidad en las rodajas de 61.34 ± 2.04 . En comparación, las concentraciones de curcuminoides de 1 mg/mL y 3 mg/mL muestran valores de luminosidad de 50.54 ± 6.26 y 52.89 ± 0.81 , respectivamente. Por otro lado, el tratamiento testigo (rodajas de banano fritas sin inmersión previa en una solución de curcuminoides) presenta un valor de luminosidad de 28.25 ± 5.65 . Estos resultados respaldan la observación de Bravo Vásquez (2008), quien señala que la luminosidad aumenta significativamente debido a la fritura, ya que esta acción conlleva la absorción de aceite, una característica común en alimentos fritos. Sin embargo, también es

importante considerar cómo se dispersa y distribuye la curcumina en el producto, ya que esto podría influir en su efecto en el color y la luminosidad.

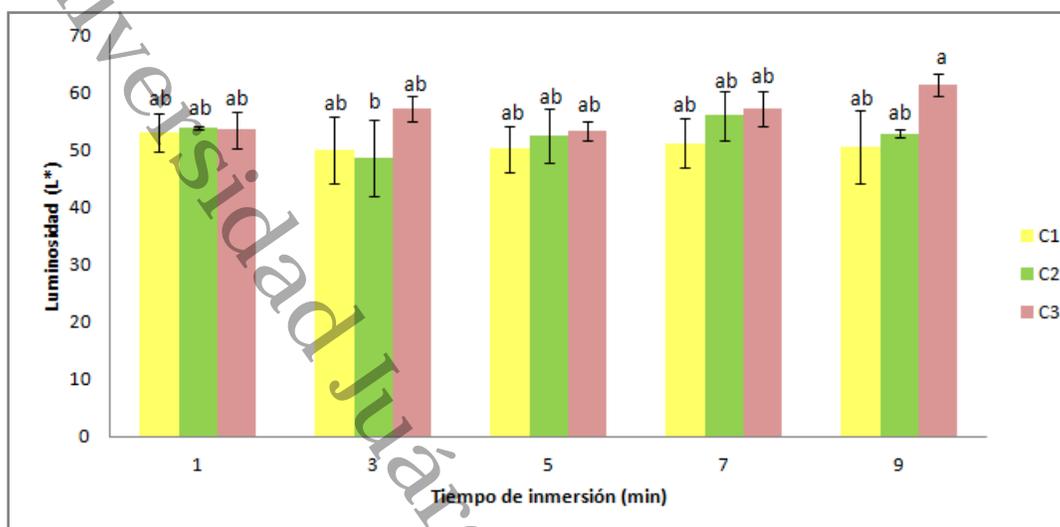


Figura 14. Análisis de la coordenada L* en las rodajas de banano fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a concentraciones de 1 mg/mL (C1), 3 mg/mL (C2) y 5 mg/mL (C3) en diferentes tiempos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).

En la Tabla 4 se presenta el análisis de varianza correspondiente a los resultados obtenidos en el parámetro de color (L*) de las rodajas sumergidas previamente en los extractos etanólicos de cúrcuma a las concentraciones de 1, 3 y 5 mg/mL, durante intervalos de inmersión de 1, 3, 5, 7 y 9 min. Los resultados del análisis estadístico indican un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en función de la concentración de curcuminoides. En contraste, no se observaron diferencias significativas en relación al tiempo de inmersión ni en la interacción entre la concentración de curcuminoides y el tiempo de inmersión.

Tabla 4: Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y su interacción, en los valores de L* obtenidos para las rodajas de banano fritas.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Concentración de curcuminoides	2	204.13	102.07	9.67	0.001
Tiempo de inmersión	4	67.55	16.89	1.60	0.200
Concentración de curcumina*Tiempo de inmersión	8	114.52	14.32	1.36	0.255
Error	30	316.62	10.55		
Total	44	702.83			

Asimismo, la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), mostró que la concentración de 5 mg/mL de curcuminoides difiere significativamente de las concentraciones de 1 mg/mL y 3 mg/mL. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tiempos de inmersión evaluados.

En el análisis del efecto de la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos y el tiempo de inmersión con respecto a la coordenada L^* en las rodajas de banano fritas, se encontraron diferencias significativas únicamente entre dos condiciones: el uso del extracto de curcuminoides de 3 mg/mL durante 3 min y la inmersión en el extracto de 5 mg/mL durante 9 min. Estos resultados sugieren que la luminosidad no presenta cambios significativos en las demás condiciones, ya que las diferencias se limitaron a estas dos situaciones particulares.

En la Figura 15, se presenta la variación de la coordenada a^* en las rodajas de banano en relación con el aumento de la cantidad de curcuminoides en los extractos de inmersión, así como el incremento en el tiempo de inmersión. Para un periodo de inmersión de 9 minutos y una concentración de curcuminoides de 5 mg/mL, se registra un valor de a^* en las rodajas de 11.86 ± 1.54 . En comparación, las concentraciones de curcuminoides de 1 mg/mL y 3 mg/mL presentan valores de la coordenada a^* de 9.49 ± 1.64 y 7.50 ± 1.46 , respectivamente.

Por otro lado, el tratamiento testigo (rodajas de banano fritas sin inmersión previa en una solución de curcuminoides) muestra un valor de a^* de 5.68 ± 3.44 . Es relevante señalar que, aunque visualmente los valores pueden parecer diferentes, al aplicar el análisis estadístico, la coordenada a^* se mantiene sin cambios significativos.

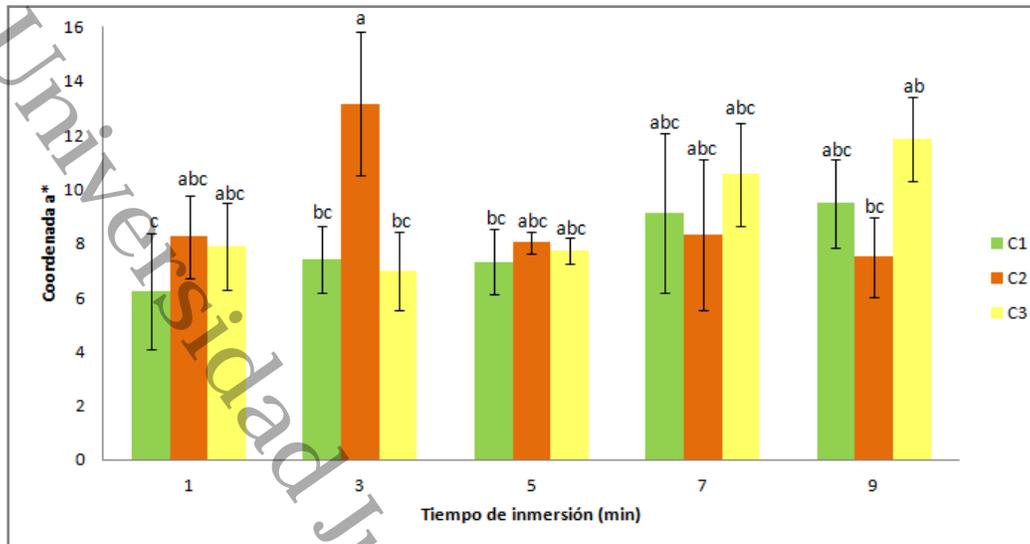


Figura 15. Análisis de la coordenada a* en las rodajas de banana fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a concentraciones de 1 mg/mL (C1), 3 mg/mL (C2) y 5 mg/mL (C3) en diferentes tiempos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).

En la Tabla 5 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en los parámetros de color (a*) en rodajas de banana previamente tratadas con extractos etanólicos de cúrcuma con concentraciones de 1, 3 y 5 mg de curcuminoides por ml, a diferentes intervalos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).

Los resultados del análisis estadístico (Tabla 5) revelan hallazgos significativos ($p \leq 0.05$) en dos aspectos clave: el tiempo de inmersión y la interacción entre la concentración de curcumina y el tiempo de inmersión. Es importante destacar que el mayor efecto se observa en la interacción entre la concentración de curcuminoides y el tiempo de inmersión. Sin embargo, en lo que respecta a la concentración de curcuminoides, no mostró diferencia significativa.

Tabla 5. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y su interacción, en los valores de a* obtenidos para las rodajas de banana fritas.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Concentración de curcuminoides	2	13.47	6.736	2.95	0.068
Tiempo de inmersión	4	44.56	11.140	4.88	0.004
Concentración de curcuminoides*Tiempo de inmersión	8	78.03	9.754	4.27	0.002
Error	30	68.53	2.284		
Total	44	204.60			

Por otro lado, según los resultados de la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), no se evidenciaron diferencias significativas en relación a la concentración de curcuminoides ni en los distintos intervalos de tiempo de inmersión analizados (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).

Al analizar el efecto de la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el tiempo de inmersión en relación con la coordenada a^* en las rodajas de banano fritas, se observó un impacto significativo en su tonalidad rojiza en ciertas condiciones específicas. Por ejemplo, cuando se utilizó una concentración de curcumina de 5 mg/mL y se sumergieron las rodajas durante 9 min, se clasificaron en la categoría "A" (grupo con la concentración más alta), mientras que en el caso de 1 mg/mL y 1 min de inmersión, se ubicaron en la categoría "C" (grupo con la concentración más baja). Estos resultados se visualizan en la figura 15. No obstante, en la mayoría de las demás condiciones analizadas, no se observaron diferencias significativas en la tonalidad medida a través de la coordenada a^* . En resumen, la tonalidad medida por la coordenada a^* no mostró cambios significativos en la mayoría de las condiciones estudiadas.

En la Figura 16, se observa cómo la coordenada b^* en las rodajas de banano varía en función de la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el tiempo de inmersión. Un aumento en esta coordenada indica un desplazamiento hacia tonalidades más amarillas a medida que la concentración de curcumina se incrementa.

Específicamente, para una concentración de 5 mg/mL de curcuminoides en la solución, se obtiene un valor de 46.50 ± 1.68 en la coordenada b^* . En contraste, las concentraciones de curcumina de 1 mg/mL y 3 mg/mL generaron valores de 33.61 ± 4.03 y 37.04 ± 2.08 , respectivamente. Finalmente, el tratamiento testigo, que implica rodajas de banano fritas sin inmersión previa en una solución de curcuminoides, presenta un valor de 11.19 ± 2.79 en la coordenada b^* .

Esto concuerda con lo que Seung-Taik y Jung-Ah (2015) observaron, donde el aumento en la cantidad de cúrcuma en polvo agregada a la yukwa resultaba en un incremento en la coordenada b^* . Además, estos hallazgos se respaldan con los resultados obtenidos en el estudio llevado a cabo por Young y Cho (2010) quienes evidenciaron que a

medida que se incrementaba la cantidad de cúrcuma en polvo, el valor b^* aumentaba. Además, destacaron que el incremento en la tonalidad amarilla se debe a la presencia del pigmento curcumina contenido en la cúrcuma, el cual se encuentra en las oleorresinas que son responsables del matiz amarillo-naranja opaco.

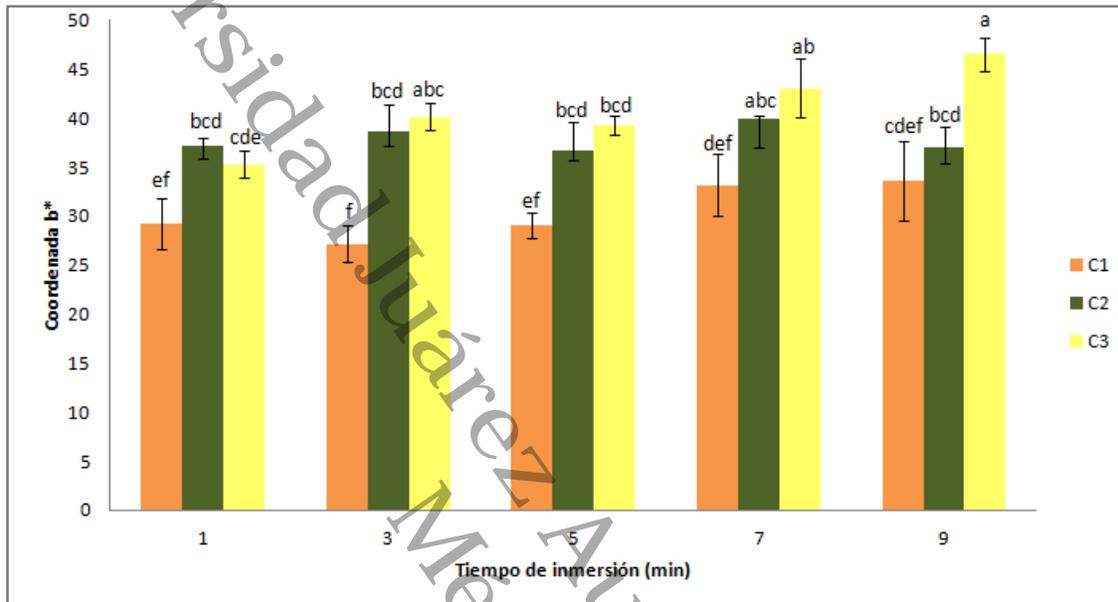


Figura 16. Análisis de la coordenada b^* en las rodajas de banana fritas previamente tratadas por inmersión en soluciones de curcuminoides a concentraciones de 1 mg/mL (C1), 3 mg/mL (C2) y 5 mg/mL (C3) en diferentes tiempos de inmersión (1, 3, 5, 7 y 9 minutos).

Se llevó a cabo un análisis de varianza (Tabla 6), para examinar los resultados relacionados con la coordenada b^* en las rodajas de banana previamente sumergidas en extractos etanólicos de cúrcuma con concentraciones de curcuminoides de 1, 3 y 5 mg/mL durante 1, 3, 5, 7 y 9 min de inmersión. Los resultados del análisis estadístico revelaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en relación con la concentración de curcuminoides, el tiempo de inmersión y la interacción entre la concentración de curcuminoides y el tiempo de inmersión, presentándose el mayor efecto para la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión.

Tabla 6. Análisis de varianza del efecto de la concentración de curcuminoides, tiempo de inmersión y su interacción, en los valores de b^* obtenidos para las rodajas de banano fritas.

Fuente	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Concentración de curcumina	2	898.87	449.436	145.77	0.000
Tiempo de inmersión	4	208.06	52.016	16.87	0.000
Concentración de curcumina*Tiempo de inmersión	8	107.04	13.380	4.34	0.001
Error	30	92.50	3.083		
Total	44	1306.47			

Por otro lado, la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) reveló diferencias significativas en las concentraciones de curcuminoides. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos intervalos de tiempo de inmersión evaluados, específicamente entre 1, 3 y 5 min, así como entre 7 y 9 min.

Al examinar el efecto de la interacción entre la concentración de curcuminoides en los extractos de inmersión y el tiempo de inmersión en relación con la coordenada b^* en las rodajas de banano fritas, se encontró un impacto significativo en su tonalidad amarilla.

Por ejemplo, al emplear curcumina a una concentración de 5 mg/mL y al sumergir las rodajas durante 9 min, se clasifican en la categoría "A". En cambio, al utilizar 3 mg/mL y 1 min de inmersión, se sitúan en la categoría "B". Se observa que concentraciones más elevadas de curcumina y tiempos de inmersión más prolongados generan colores de tono amarillo más intenso. Las categorías de agrupación se derivan del análisis de Tukey realizado sobre los datos proporcionados, donde las letras indican grupos estadísticamente diferentes. Estos resultados se visualizan en la figura 16.

En otro caso, al usar curcumina a una concentración de 1 mg/mL y 7 minutos de inmersión, se clasifican en la categoría "D", en contraste con 5 mg/mL y 3 minutos de inmersión, que pertenecen a la categoría "C". Estas diferencias confirman la influencia significativa de la concentración de curcumina y el tiempo de inmersión en la tonalidad amarilla de las rodajas de banano.

9.4 Correlación entre el color y el contenido de curcuminoides en las rodajas de banano fritas previa inmersión en extractos etanólicos de cúrcuma

Se realizó un análisis de correlación de Pearson con el fin de investigar la relación entre el color y la concentración de curcuminoides y curcumina en las muestras. Este análisis se basó en datos obtenidos a través de espectrofotometría UV-Vis y HPLC, junto con los datos de color representados por los valores L^* , a^* y b^* .

Los resultados del análisis de correlación, presentados en la tabla 7, revelaron relaciones significativas entre el color y la cantidad de curcuminoides presentes en las rodajas de banana fritas. Se encontró una correlación positiva moderadamente fuerte entre la coordenada L^* y la concentración de curcuminoides.

Además, se observó una correlación positiva más débil entre la coordenada a^* y la concentración de curcuminoides, aunque no alcanzó significancia estadística. Esto indica que puede existir cierta tendencia a medida que cambia la componente de color rojo-verde, pero esta relación no es lo suficientemente sólida como para ser considerada.

Por último, se identificó una correlación positiva muy fuerte y altamente significativa entre la coordenada b^* y la concentración de curcuminoides. Estos resultados indican que a medida que aumenta la intensidad del color amarillo en las muestras, la concentración de curcumina aumenta de manera notable.

Tabla 7. Análisis de correlación entre el color y la concentración de curcuminoides cuantificados por espectrofotometría UV-Visible en las muestras de banano fritas.

Coordenada y curcuminoides ($\mu\text{g/mL}$)	Coefficiente de correlación	Valor de P
L^*	0.574	0.000
a^*	0.240	0.112
b^*	0.845	0.000

Ahora bien, en relación a los resultados del análisis de correlación entre el color y la cantidad de curcumina determinada mediante HPLC, se observaron diferencias significativas en las rodajas de banano fritas. Estos resultados se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de correlación entre el color y la concentración de curcumina cuantificada por HPLC en las muestras de banana fritas.

Coordenada y Curcumina (ug/mL)	Coefficiente de correlación	Valor de P
L*	0.556	0.000
a*	0.224	0.140
b*	0.827	0.000

El análisis de correlación revela varias relaciones entre el color y la concentración de curcumina. En primer lugar, se encuentra una correlación moderadamente positiva entre la luminosidad del color y la concentración de curcumina, lo que indica que a medida que aumenta la concentración de curcumina, el color tiende a volverse más claro o brillante. Esta correlación es estadísticamente significativa.

Por otro lado, se observa una correlación positiva más débil entre el componente de color rojo-verde (a*) y la concentración de curcumina. Esto sugiere que a medida que aumenta la concentración de curcumina, el color tiende a mostrar una ligera tendencia hacia los componentes rojo o verde, reflejado en valores más altos de a*. Sin embargo, en este caso, el valor de P es más alto, lo que indica que la correlación no es tan fuerte y no alcanza significancia estadística. Por lo tanto, no podemos hacer una afirmación sólida sobre la relación entre la concentración de curcumina y el componente rojo-verde, que podría considerarse neutral o insignificante en términos de la influencia de la curcumina en este aspecto del color.

Finalmente, se identifica una fuerte correlación positiva entre el componente de color amarillo-azul (b*) y la concentración de curcumina. Esta relación indica que a medida que aumenta la concentración de curcumina, el color tiende a intensificarse en tonos de amarillo, lo que se refleja en valores más elevados de b*. La importancia de esta correlación es respaldada por investigaciones previas, como las de Bellary y Rastogi (2014), que indican que los mayores cambios se observan en los valores de b* (color amarillo) debido a la infusión de curcuminoides, mientras que el valor de a* no experimenta cambios significativos ($p \leq 0.05$).

Adicionalmente, el estudio de Hernández-Aguilar *et al.* (2022) menciona que la presencia de la cúrcuma cambia el color de los panes a una tonalidad más amarillenta,

debido a la curcumina. Esto refuerza la idea de que existe una relación entre la concentración de curcumina y la tonalidad amarilla del color. Estas investigaciones respaldan de manera coherente la influencia de la curcumina en el color, confirmando la importancia de esta correlación en el análisis.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

10 Conclusiones

Basándonos en los resultados obtenidos a través de técnicas analíticas como espectrofotometría UV-visible y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), así como la medición de las coordenadas de color, podemos extraer las siguientes conclusiones:

Efecto del Contenido de Curcuminoides y Tiempo de Inmersión: La evaluación del contenido de curcuminoides revela que a medida que aumenta la concentración de curcuminoides y el tiempo de inmersión en las rodajas de banano fritas, se observa una mayor retención de estos compuestos. La concentración óptima para lograr la máxima retención de curcumina en las rodajas de banano fritas es de 5 mg/mL durante 9 minutos.

Efecto Significativo en el Color Final del Producto: Tanto la concentración de curcuminoides como los tiempos de inmersión ejercen una influencia significativa en el color final del producto. Concentraciones más altas y tiempos más prolongados generan tonalidades amarillas más intensas, evidenciando la capacidad de estos factores para modular la apariencia visual del producto final.

Correlación Positiva entre Color y Concentración de Curcuminoides: Se establece una correlación positiva entre el color y la concentración de curcuminoides en el producto. A medida que la concentración de curcuminoides aumenta, se observa una tendencia clara hacia un color más claro e intensificación en tonos de amarillo, reforzando la relación directa entre estos factores.

Estos hallazgos resaltan la importancia estratégica de la cúrcuma como agente intensificador del color en el producto frito. Además, respaldan la viabilidad de su uso para mejorar la apariencia del producto, sugiriendo que la manipulación precisa del contenido de curcuminoides puede ser una herramienta eficaz para ajustar la tonalidad y el brillo del color en las rodajas de banano fritas.

11 Recomendaciones

Se sugiere realizar una evaluación sensorial específica para el atributo del color, a las rodajas que mostraron la concentración máxima de curcumina, por inmersión en el extracto etanólico de curcuminoides a la concentración de 5 mg/mL durante 9 min. Esto permitiría determinar el nivel de aceptación por parte de los consumidores con respecto a las rodajas de banana tratadas con esta concentración de curcumina, proporcionando información valiosa sobre la aceptabilidad y preferencias del consumidor en términos de apariencia visual del producto.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

12 Bibliografía

- Afzal, A., Oriqat, G., Akram Khan, M., José, J., & Afzal, M. (2013). Chemistry and Biochemistry of Terpenoids from Curcuma and Related Species. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 3(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/22311866.2013.782757>
- Ain, H. B. U., Saeed, F., Barrow, C. J., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2020). Food Processing Waste: A Potential Source for Bioactive Compounds. *Reference Series in Phytochemistry*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30182-8_45
- Aires, D., Capdevila, N., & Segundo, M. J. (2005). Ácidos grasos esenciales. *Offarm*, 24(4), 96–102. <http://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-acidos-grasos-esenciales-13073447>
- Álvarez-Castro, E & Orallo-Cambeiro, F. (2003). Actividad biológica de los flavonoides (I). Acción frente al cáncer. *Offarm*, 22(10). <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-actividadbiologica-los-flavonoides-i-13054406>
- Alvis, A., Villada, H. S., & Villada, D. C. (2008). Efecto de la Temperatura y Tiempo de Fritura sobre las Características Sensoriales del Ñame (*Dioscorea alata*). *Información Tecnológica*, 19(5). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642008000500004>
- Arias P., Dankers C., Liu P., & Pilkauskas P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. Roma, Italia: Publicaciones FAO.
- Arias-Lamos, D., Montañó-Díaz, L. N., Velásco-Sánchez, M. A., & Martínez-Girón, J. (2018). *Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria*. *Tecnura*, 22(57), 55–68. doi:10.14483/22487638.12178
- Arteaga-Alcivar, F. J. (2015). Origen y evolución del Banano. *SEDE PALMIRA*, 21(3), 50-62.
- Bastidas-Zambrano R. y Toala-Mendoza A.(2022). Efecto de la impregnación de cúrcuma (*cúrcuma longa*) y jengibre (*zingiber officinale*) sobre el color de un snack de plátano verde (*musa paradisiaca*). [Tesis Licenciatura]. *Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. Quevedo – Los Ríos – Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6883>
- Bellary, A. N., & Rastogi, N. K. (2014). Effect of Selected Pretreatments on Impregnation of Curcuminoids and Their Influence on Physico-chemical Properties of Raw Banana Slices. *Food and Bioprocess Technology*, 7(10). <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1312-z>

- Bellary, A. N., Sowbhagya, H. B., & Rastogi, N. K. (2011). Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. *Journal of Food Engineering*, 105(3). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.002>
- Beltrán, M. (2016). Nutrición: Alimentos funcionales. *Farmacia Profesional*, 30(3).
- Beltrán-García, M. J., Manzo-Sánchez, G., Orozco-Santos, M. y Ogura, T. (2009). Sigatoka negra: El cáncer de la producción de banano. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 35(232), 58-63
- Bhatawale, S. P., Mohammad, U. I. A., Mirza, R. S. S., Mohammed Zafar, I. M., Siddiqui, A. N., & Fatema, M. (2012). Effect of unripe banana flour incorporation on resistance starch content of rice papad. *J Nutr Food Sci*, 2(143), 2.
- Biesalski, H. K., Dragsted, L. O., Elmadfa, I., Grossklaus, R., Müller, M., Schrenk, D., Walter, P., & Weber, P. (2009). Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. *Nutrition*, 25(11–12). <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>
- Ble, J. L., Aparicio, M. A., Francisco, M. U., Córdova, R., Rodríguez, A., Méndez, J.D. y Díaz, J. C. (2010). Effects of native banana starch supplementation on body weight and insulin sensitivity in obese type 2 diabetics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(5), 2-11.
- Brat, P., Bugaud, C., Guillermet, C., & Salmond, 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), <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109054>
- Bravo-Vásquez, J. E. (2008). Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana. [Tesis doctoral]. *Universidad Politécnica de València*. <http://doi.org/10.4995/Thesis/10251/3401>
- Calvo, C. y Durán, L. (2002). Propiedades físicas II. ópticas y color. En: J.M. Aguilera (Ed.), México: *Temas en tecnología de alimentos* (pp. 261-288). *Instituto Politécnico Nacional*.
- Carvalho, P. I. N., Osorio-Tobón, J. F., Rostagno, M. A., Petenate, A. J., & Meireles, M. A. A. (2015). Techno-economic evaluation of the extraction of turmeric (*Curcuma longa* L.) oil and ar-turmerone using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 105, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.03.020>
- CEDRSSA. (2019). *La Producción y el comercio del plátano*. Ciudad de México: Palacio Legislativo de San Lázaro.
- Céspedes, C. M. (2004). *Calidad de frutas en bananos de exportación: algunas implicaciones de manejo*. Instituto Dominicano de investigaciones Agropecuarias

y forestales (IDIAF). Santo Domingo, DO. Primera edición.
<http://190.167.99.25/digital/calidadbananoidiaf.pdf>

- Codex (2001). Informe de la 33° reunión del Comité del codex sobre Aditivos y Contaminantes. La Haya, Países Bajos.
- Cortés, M., Chiralt, A., & Puente, L. (2005). Alimentos funcionales: una historia con mucho presente y futuro. *Vitae Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 12(1).
- Delgado-Murillo S. A. (2021). *Utilización de subproducto de la industria de noni (Morinda citrifolia L) para la elaboración de una botana con alto valor nutrimental. Estudio de optimización*. [Tesis de maestría]. Universidad de Autónoma de Sinaloa.
- Dicenta, S. (2015). Almidones resistentes, importancia funcional, fundamentos de su determinación. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 65 (1), 77-78
- DOF (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba. [Versión electrónica]. *Diario Oficial de la Federación*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691995&fecha=18/08/2003#gsc.tab=0
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46.
- Ensuncho, A. E., Robles, J. R., & Carriazo, J. G. (2015). Adsorción del colorante amarillo anaranjado en solución acuosa utilizando carbones activados obtenidos a partir de desechos agrícolas. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 81 (2) <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000200006&lng=es&nrm=iso>.
- Esquivel-Ramírez, A., Castañeda-Ovando, A., & Ramírez-Godínez, J. (2014). Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura. Riesgos en la salud. *PADI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 2(3). <https://doi.org/10.29057/icbi.v2i3.526>
- Estrella-Hernández, F., & Huevo-Alcaraz, A. (2013). Estudio de factibilidad para la exportación de plátano del estado de Colima – México a Japón. *Tesis Colectiva de la Licenciado en Comercio Internacional del Instituto Politécnico Nacional*.
- FAO. (2020). Análisis del mercado del Banano 2019. FAO. <http://www.fao.org/3/cb0168es/cb0168es.pdf>

- FAO. (2023). Banano. Análisis del Mercado. Resultados preliminares 2022. Roma.
- Fauziah, A., Razali, I., & Nor-Aini, S. (2000). Frying performance of palm olein and high oleic sunflower oil during batch frying of potato crisps. *Oil Palm Development in Cameroon*, 3, 1-7.
- Field, S., Hazelwood, E., Bourke, B., & Bourke, J. F. (2007). Allergic contact dermatitis from tertiary-butylhydroquinone and Laureth 12 in a hair dye. *Contact dermatitis*, 56(2), 116-117. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.2007.00963.x>
- Flores, R. (2023). La entidad, líder en producción nacional de café y plátano. *Cuarto Poder*. <https://www.cuartopoder.mx/chiapas/la-entidad-lider-en-produccion-nacional-de-cafe-y-platano/449013>
- Ghosh, S., Banerjee, S., & C. Sil, P.C. (2015). The beneficial role of curcumin on inflammation, diabetes and neurodegenerative disease: A recent update. *Food and Chemical Toxicology*, 83, 111-124. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.05.022>
- Gómez, L. P. (2013). Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3ª generación a base de chíá y almidón de maíz resistente AR4. [Tesis de maestría]. *Universidad Veracruzana*.
- González G. C. G. (2018). Frutas y verduras perdidas y desperdiciadas, una oportunidad para mejorar el consumo. In *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182018000400198>
- González-Albadalejo, J., Sanz, D., Claramunt, R. M., Lavandera, J. L., Alkorta, I., & Elguero, J. (2015). Curcumin and curcuminoids: Chemistry, structural studies and biological properties. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, 81(4).
- Goñi, I., García-Díaz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4), 445-449. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00222-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00222-7)
- Guerra-Dellavalle, D., Bello-Pérez, L. A., González-Soto, R. A., Solorza-Ferial, J., & Arámbula-Villa, G. (2008). Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 7(3).
- Hefnawy, H. T., El-Shourbagy, G. A., & Ramadan, M. F. (2016). Phenolic extracts of carrot, grape leaf and turmeric powder: antioxidant potential and application in biscuits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(3), 576–583. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9339-7>
- Herrera Chalé, F., Betancur Ancona, D. & Segura Campos, M. R. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas

con sobrepeso y obesidad; péptidos biológicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*, 29(1), 10-20.

- Hernández, D., Espinosa, J., Peñaloza, M., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carrillo, S., & Bermúdez, V. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones On the proper use of the Pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5).
- Hirth, M., Leiter, A., Beck, S. M., & Schuchmann, H. P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125(1). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034>
- 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*, 4(5), 1456-1463. <https://doi.org/10.1080/10408690490424702>
- Huber, G.R., & Rokey, G.J. (1990). Extruded Snacks. In: Booth, R.G. (eds) *Snack Food*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1477-6_7
- Hurtado P. M. L., Escobar A. B., & Estévez A. A. M. (2001). Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frejol para consume "snack." *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3).
- Ibáñez, F. C., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). Aditivos alimentarios. *Área de Nutrición y Bromatología, Universidad Pública de Navarra*, 1(1), 1-10.
- JECFA (2004). Evaluation of certain food additives and contaminants. Sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. *World Health Organization technical report series*, 922, http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_922.pdf
- Jiménez-Colmenero, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria*, 28(5), 1413-1421.
- Jiménez-Domínguez, G., Ble-Castillo, J. L., Aparicio-Trápala, M. A., Juárez-Rojop, I. E., Tovilla-Zárate, C. A., Ble-Castillo, D. J., GarcíaVázquez, C., Olvera-Hernández, C. Pérez-Pimienta, C., Diaz-Zagoya, J. C. y Mendez J. D. (2015). Effects of acute ingestion of native banana starch on glycemic response evaluated by continuous glucose monitoring in obese and lean subjects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7491-7505
- Joe, B., Vijaykumar, M., & Lokesh, B. R. (2004). Biological Properties of Curcumin- Cellular and Molecular Mechanisms of Action. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(2).

- Kadam, P. V., Yadav, K. N., Bhingare, C. L., & Patil, M. J. (2018). Standardization and quantification of curcumin from *Curcuma longa* extract using UV visible spectroscopy and HPLC. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(5).
- Kumar, R., Xavier, K. A. M., Lekshmi, M., Balange, A., & Gudipati, V. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.050>
- Laffita C. O., & Castillo, A. A. (2012). Avances en la caracterización farmacotológica de la planta medicinal *Curcuma longa* Linn. *MEDISAN*, 16(1).
- 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*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109533>
- 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*, 79, 1817–1822.
- Lee, S., García, C. V, Hong, S. J., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2019). Production of turmeric extract-loaded nanoemulsions at the laboratory-scale and pilot-scale: Comparison of processing conditions and properties. *Journal of Food Engineering*, 261, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.00>
- Li, S., Yuan, W., Deng, G., Wang, P., & Aggarwal, B. (2011). Chemical composition and product quality control of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Pharmaceutical Crops*, 28–54. <https://doi.org/10.2174/2210290601102010028>
- Lim, H. S., Park, S. H., Ghafoor, K., Hwang, S. Y., & Park, J. (2011). Quality and antioxidant properties of bread containing turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in South Korea. *Food Chemistry*, 124(4), 1577–1582. [doi:10.1016/j.foodchem.2010.08.016](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.016)
- López Ramírez, R., & Echeverri, F. (2007). ¿Son seguros y efectivos los antioxidantes? *Scientia Et Technica*, 1(33). <https://doi.org/10.22517/23447214.5829>
- Lutz R., M. (2012). ¿Podemos hablar de alimentos funcionales en Chile? *Revista Chilena de Nutrición*, 39(2), 211-216.
- Martínez-Mora, E. O. (2015). Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 19(3). <https://doi.org/10.14306/renhyd.19.3.161>

- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. In *Trends in Food Science and Technology* (52). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
- Mejía B, D. P., Pérez J, M. C., & Nexticapa, M. R. (2014). ¡Alerta! TBHQ en alimentos con grasa. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de La Universidad Veracruzana*, XXVII (3).
- Montgomery D. C. (2005). *Diseño y análisis de experimentos (2a. ed.)*. México: 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 Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 1-7. <https://doi.org/10.35196/rfm.2009.1.1-7>
- Nanditha, B., & Prabhasankar, P. (2009). Antioxidants in bakery products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(1). <https://doi.org/10.1080/10408390701764104>
- Nazhad-Dolatabadi, J., & Kashanian, S. (2010). A review on DNA interaction with synthetic phenolic food additives. *Food Research International*, 43(5), 1223–1230. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.03.026>
- Panchi-Quinatoa, M. S. (2021). *Estudio fitoquímico y cuantificación de polifenoles totales de los rizomas de cúrcuma (Curcuma longa L.) provenientes de Perú y Ecuador*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Central del Ecuador.
- 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). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.051>
- Patel, D., Dufour, Y., & Domigan, N. (2008). Functional food and nutraceutical registration process in Japan and China: Similarities and differences. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 11(4). <https://doi.org/10.18433/j32s3n>
- Rafiee, Z., Nejatian, M., Daeihamed, M., & Jafari, S. M. (2019). Application of curcumin-loaded nanocarriers for food, drug and cosmetic purposes. In *Trends in Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.017>

- Rathnayaka, R. M. M., Madhusankha, G. D. M., & Perera, O. D. A. (2019). Curcumin Ethanol Extraction and Its' Stability in Food Applications. 2019. *From Innovation to Impact (FITI)*. doi:10.1109/fiti49428.2019.9037640
- SADER (2018). Responde el campo Tabasco. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/tabasco/articulos/responde-el-campo-atabasco?idiom=es>
- SADER. (2019). Exportación de plátano a China, logro de los productores que fortalece al sector agrícola nacional. Villahermosa, Tabasco, México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/exportacion-de-platano-a-chinalogro-de-los-productores-que-fortalece-al-sector-agricola-nacional-201487>
- SADER (2022). *Plátano, fruta tropical de alta importancia en nuestro país*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/platano-fruta-tropical-de-alta-importancia-en-nuestro-pais>
- SADER. (2021). *Aumentó 2.9 por ciento producción de plátano mexicano en 2020*. gov.mx. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumento-2-9-por-ciento-produccion-de-platano-mexicano-en-2020#:~:text=10.1%20por%20ciento.-,La%20producci%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1tano%20en%20M%C3%A9xico%20la%20fruta%20tropical%20m%C3%A1s,en%20mercados%20globales%20como%20China>
- Saiz de Cos, P. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.). *Reduca (Biología)*, 7(2).
- Saldaña, M. D. A., Silva, E. K., Cornejo, J. E. O., & López, C. L. O. (2020). Green Processes in Foodomics: Biorefineries in the Food Industry. In *Comprehensive Foodomics*.
- Salunkhe, V. R., & Patil, S. J. (2014). UV Spectrophotometric and HPLC Method Development of Quercetin and Curcumin in Polyherbal Churna and It's Validation. In *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research*, 4(1).
- Serpa-Guerra, A. M., Gómez-Hoyos, C., Velásquez-Cock, J. A., Vélez Acosta, L., Gañán Rojo, P., Velásquez Giraldo, A. M., & Zuluaga Gallego, R. (2020). The nanotech potential of turmeric (*Curcuma longa* L.) in food technology: A review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(11), 1842-1854. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1604490>
- Serra-Bisbal, J. J., Melero Lloret, J., Martínez Lozano, G., & Fagoaga, C. (2020). Especies vegetales como antioxidantes de alimentos. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, 12. https://doi.org/10.46583/nereis_2020.12.577

- Seung-Taik, L., & Jung-Ah, H. (2015). Improvement in antioxidant functionality and shelf life of yukwa (fried rice snack) by turmeric (*Curcuma longa* L.) powder addition. *Food Chemistry*, 590–596
- Shimizu, M. (2019). History and current status of functional food regulations in Japan. In *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816467-9.00022-8>
- SIAP. (2019). *Estadística de la Producción Agrícola*. INFOSIAP. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Talens Oliag, P. (2018). *Descripción del color en el espacio Ciel* a* b*. <http://hdl.handle.net/10251/102415>
- Taylor, R. A., & Leonard, M. C. (2011). Curcumin for inflammatory bowel disease: A review of human studies. In *Alternative Medicine Review.*, 16(2).
- Uribe, F., Ávalos J., & Rubio J. (2021). Precio del plátano, en su nivel más bajo de la historia. *Novedades de Tabasco*. <https://novedadesdetabasco.com.mx/2021/08/18/precio-del-platano-en-su-nivel-mas-bajo-de-la-historia/>
- Valenzuela B, A., Sanhueza, J., & Nieto, S. (2003). Natural antioxidants in functional foods: from food safety to health benefits. *Grasas Y Aceites*, 54(3), 295–303. <https://doi.org/10.3989/gya.2003.v54.i3.245>
- Valenzuela V., C., & Pérez M., P. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista Chilena de Nutrición.*, 43(2). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200012>
- Van-Hung, P., & Duyen-Vo, T. N. (2017). Structure, physicochemical characteristics, and functional properties of starches isolated from yellow (*Curcuma longa*) and black (*Curcuma caesia*) turmeric rhizomes. *Starch/Staerke*, 69(5–6). <https://doi.org/10.1002/star.201600285>
- 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
- Vilaplana-Batalla, M. (2007). Antioxidantes presentes en los alimentos: vitaminas, minerales y suplementos. *Elsevier*, 26(10). <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-antioxidantes-presentes-alimentos-vitaminas-minerales-13112893>

- Von Loesecke, H. (1950). Bananas. 2nd ed. Interscience, New York.
- Wichitnithad, W., Jongaroonngamsang, N., Pummangura, S., & Rojsitthisak, P. (2009). A simple isocratic HPLC method for the simultaneous determination of curcuminoids in commercial turmeric extracts. *Phytochemical Analysis* 20(4): 314-319
- 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*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126337>
- Xu, J., Ji, F., Kang, J., Wang, H., Li, S., Jin, D. Q., Zhang, Q., Sun, H., & Guo, Y. (2015). Absolute configurations and no inhibitory activities of terpenoids from *curcuma longa*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(24). <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01584>
- Yamada, K., Sato-Mito, N., Nagata, J., & Umegaki, K. (2008). Health claim evidence requirements in Japan. *Journal of Nutrition*, 138(6). <https://doi.org/10.1093/jn/138.6.1192s>
- Young M. y Cho Y. (2010). Quality characteristics of jelly containing added turmeric (*Curcuma longa* L.) and beet (*Beta vulgaris* L.). *Korean Journal Food Cookery Science*, 26(4).
- Zamudio P., Vargas A., Gutiérrez F, Bello L. (2010). Caracterización fisicoquímica de almidones doblemente modificados de plátano. *Agrociencia.*, 44(3).

Retención de curcuminoides y color en un producto tipo botana elaborada a base de banano (Musa AAA Cavendish)

INFORME DE ORIGINALIDAD

1 %

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	novedadesdetabasco.com.mx Internet	57 palabras — < 1 %
2	Carlos Alberto Núñez-Colín. "Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla", Acta Agrícola y Pecuaria, 2019 Crossref	42 palabras — < 1 %
3	biblioteca.ecosur.mx Internet	28 palabras — < 1 %
4	poscosecha.com Internet	22 palabras — < 1 %
5	repositorio.uchile.cl Internet	21 palabras — < 1 %

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 20 PALABRAS