

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



T E S I S

“Efecto de diferentes concentraciones de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) y temperatura en el pretratamiento por ultrasonido, en las características texturales de snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) freídos al vacío”

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

JESUS DANIEL SIESQUEN MUÑOZ

Asesor:

Ing. Mtr. MAX EDWIN SANGAY TERRONES


CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Jesus Daniel Siesquen Muñoz
DNI: N° 70289554
Escuela Profesional/Unidad UNC:
INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2. Asesor:
Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CÚRCUMA (*Curcuma longa* L.) Y TEMPERATURA EN EL PRETRATAMIENTO POR ULTRASONIDO, EN LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE SNACK DE PLÁTANO PALILLO (*Musa paradisiaca* L.) FREÍDOS AL VACÍO
6. Fecha de evaluación: 23/03/2026
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 23%
9. Código Documento: oid:::3117:570306134
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 24/03/2026

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>

.....
Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones DNI: 10492305

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los treinta días del mes de junio del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2H - 204** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 291-2024-FCA-UNC, de fecha 17 de julio del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE CÚRCUMA (*Curcuma longa* L.) Y TEMPERATURA EN EL PRETRATAMIENTO POR ULTRASONIDO, EN LAS CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE SNACK DE PLÁTANO PALILLO (*Musa paradisiaca* L.) FREÍDOS AL VACÍO"**, realizada por el Bachiller **JESUS DANIEL SIESQUEN MUÑOZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las ocho horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciocho (18); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y diez minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Jimmy Frank Oblitas Cruz
PRESIDENTE

Dr. José Gerardo Salhuana Granados
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Fanny Lucía Rimarachín Chávez
VOCAL

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar mi camino y darme la fortaleza para enfrentar los desafíos que encontré durante este proceso.

A mis padres, cuyo amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificio han sido el pilar fundamental de mi vida y de este logro académico.

A mi familia, por su constante comprensión, ánimo y alegría que han hecho más llevadero este camino.

A mis amigos, quienes me han brindado su amistad, compañía y apoyo en los momentos difíciles, convirtiendo cada obstáculo en una oportunidad para crecer.

A todos aquellos que de alguna manera han sido parte de este viaje, ya sea con una palabra de aliento, una sonrisa o un gesto de amabilidad, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento y cariño. Sin ustedes, este logro no sería posible.

Jesus Daniel Siesquen Muñoz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su continua guía y por permitirme seguir mis sueños.

Expreso mi gratitud hacia los docentes de la E.A.P. de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca por compartir su sabiduría durante mi formación.

Reconozco el apoyo fundamental del Ingeniero Max Edwin Sangay Terrones como mi asesor de tesis.

Agradezco profundamente a mis padres, Manuel y Esther, por su amor y apoyo incondicional, a mi hermana Yesenia por su consejo y apoyo.

A mi esposa Jemima, le agradezco su constante respaldo y amor incondicional.

Finalmente, agradezco a todos los que me han apoyado durante la elaboración de esta tesis.

Jesus Daniel Siesquen Muñoz

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.5. Hipótesis	5
CAPITULO II.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1. <i>Snack</i>	14
2.2.2. <i>Tipos de snack</i>	14
2.2.3. <i>Elaboración de un snack</i>	16

2.2.4.	<i>Características de un snack frito</i>	17
2.2.5.	<i>Snack de Plátano</i>	18
2.2.6.	<i>Plátano</i>	19
2.2.7.	<i>Cúrcuma (Curcuma longa L.)</i>	23
2.2.8.	<i>Ultrasonido</i>	27
2.2.9.	<i>Fritura al vacío</i>	29
2.2.10.	<i>Textura</i>	30
2.3.	Definición de términos.....	35
CAPITULO III.....		37
MATERIALES Y MÉTODOS		37
3.1.	Ubicación	37
3.2.	Materiales.....	38
3.2.1.	<i>Materia Prima</i>	38
3.2.2.	<i>Insumos</i>	38
3.2.3.	<i>Equipos e Instrumentos</i>	38
3.2.4.	<i>Material de gabinete</i>	39
3.3.	Metodología	39
3.3.1.	<i>Variables</i>	40
3.3.2.	<i>Diseño experimental, arreglos de los tratamientos</i>	40
3.3.3.	<i>Procedimientos</i>	42
3.3.4.	<i>Evaluaciones</i>	47
CAPITULO IV.....		48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		48
4.1.	Análisis de la dureza (N).....	48
4.2.	Análisis para la Fracturabilidad (N).....	53

4.3. Análisis para la Cohesividad.....	58
CAPITULO V.....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones	63
5.2. Recomendaciones	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional, minerales y vitaminas del plátano, valores por 100 g.	21
Tabla 2 Definición de los parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA). 33	
Tabla 3 Tratamientos en estudio.	42
Tabla 4 Análisis de varianza para la dureza del snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.) frito al vacío.	49
Tabla 6 Análisis de varianza para la fracturabilidad del snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.) frito al vacío.	54
Tabla 8 Análisis de varianza para para la cohesividad del snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.) frito al vacío.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de snacks.	16
Figura 2 Snack de plátano frito o “Chifle”.	19
Figura 3 Plátanos y Bananas.	20
Figura 4 Variedad de plátanos y bananos en el Perú.	22
Figura 5 Aspecto de la cúrcuma (<i>Cúrcuma longa</i> L.).	24
Figura 6 Principales productos de la cúrcuma.	25
Figura 7 Diagrama de flujo para la obtención de cúrcuma en polvo.	26
Figura 8 Fenómeno de cavitación y formas de aplicación del ultrasonido.	29
Figura 9 Características texturales primarias y secundarias de varios tipos de alimentos fritos.	31
Figura 10 Análisis del Perfil de Textura.	32
Figura 11 Plano de Ubicación de la investigación.	37
Figura 12 Diagrama del diseño experimental.	41
Figura 13 Flujograma del proceso de elaboración de snack de plátano par fritura a vacío.	43
Figura 14 Efecto de la interacción de la concentración de cúrcuma y la temperatura de pretratamiento por ultrasonido en la dureza del snack de plátano palillo frito al vacío.	50
Figura 15 Efecto de la interacción de la concentración de cúrcuma y la temperatura de pretratamiento por ultrasonido en la fracturabilidad del snack de plátano palillo frito al vacío.	55
Figura 16 Efecto de la interacción de la concentración de cúrcuma y la temperatura de pretratamiento por ultrasonido en la cohesividad del snack de plátano palillo frito al vacío.	60
Figura 17 Recepción del plátano palillo.	81
Figura 18 Selección del plátano palillo.	81
Figura 19 Lavado y desinfectado del plátano.	82

Figura 20 Escaldado del plátano.....	82
Figura 21 Pelado del plátano.	83
Figura 22 Cortado del plátano.	83
Figura 23 Pesado de hojuelas para cada replica.	84
Figura 24 Preparación de soluciones de cúrcuma.....	84
Figura 25 Tratamiento por ultrasonido de las hojuelas de plátano.	85
Figura 26 Escurrido de las hojuelas después del ultrasonido.	85
Figura 27 Fritado de las hojuelas de plátano pretratadas en la freidora a vacío.	86
Figura 28 Escurrido de los snacks de plátano sobre el papel absorbente.	86
Figura 29 Envasado de hojuelas de plátano en bolsas de polietileno.	87
Figura 30 Análisis de las muestras en el texturómetro.	87

RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de distintas concentraciones de cúrcuma y temperaturas en el pretratamiento por ultrasonido sobre las características texturales de snacks de plátano palillo fritos al vacío. Se empleó un diseño de investigación completamente aleatorizado (DCA) con arreglo factorial de 3x3 y 3 repeticiones, que incluyó nueve tratamientos: Tr1 (0.4% cúrcuma, 30°C), Tr2 (0.4% cúrcuma, 40°C), Tr3 (0.4% cúrcuma, 50°C), Tr4 (0.8% cúrcuma, 30°C), Tr5 (0.8% cúrcuma, 40°C), Tr6 (0.8% cúrcuma, 50°C), Tr7 (1.2% cúrcuma, 30°C), Tr8 (1.2% cúrcuma, 40°C) y Tr9 (1.2% cúrcuma, 50°C); se evaluaron la dureza, fracturabilidad y cohesividad de los snacks de plátano 24 horas después de la fritura, analizando tres rodajas por tratamiento con intervalos de tres minutos entre cada una. Los resultados mostraron que la dureza de los snacks disminuye con el aumento de la temperatura de ultrasonido y que las concentraciones medias de cúrcuma resultan en una menor dureza. La fracturabilidad también disminuyó con temperaturas más altas, mientras que las concentraciones medias de cúrcuma produjeron snacks más crujientes. La cohesividad aumentó con concentraciones de cúrcuma de hasta 0.8% y una temperatura de 40°C, disminuyendo a partir de esos niveles. En conclusión, tanto la cúrcuma como la temperatura de ultrasonido impactan significativamente en las características texturales de los chips de plátano fritos a vacío. Las concentraciones de cúrcuma de 0.8% y las temperaturas de ultrasonido entre 40°C y 50°C optimizan la dureza y la fracturabilidad, mientras que una concentración de 0.8% y una temperatura de 40°C maximizan la cohesividad.

Palabras clave: Cúrcuma, ultrasonido, textura, plátano palillo, snacks, fritura a vacío.

ABSTRACT

The research was carried out with the objective of evaluating the effect of different concentrations of turmeric and temperatures in the ultrasound pretreatment on the textural characteristics of vacuum fried plantain snacks. A completely randomized research design (CRD) with a 3x3 factorial arrangement and 3 replicates was used, which included nine treatments: Tr1 (0.4% turmeric, 30°C), Tr2 (0.4% turmeric, 40°C), Tr3 (0.4% turmeric, 50°C), Tr4 (0.8% turmeric, 30°C), Tr5 (0.8% turmeric, 40°C), Tr6 (0.8% turmeric, 50°C), Tr7 (1.2% turmeric, 30°C), Tr8 (1.2% turmeric, 40°C) and Tr9 (1.2% turmeric, 50°C); the hardness, fracturability and cohesiveness of the plantain snacks were evaluated 24 hours after frying, analyzing three slices per treatment with three-minute intervals between each. The results showed that snack hardness decreased with increasing ultrasound temperature and that medium turmeric concentrations resulted in lower hardness. Fracturability also decreased with higher temperatures, while medium turmeric concentrations produced crispier snacks. Cohesiveness increased with turmeric concentrations up to 0.8% and a temperature of 40°C, decreasing from those levels. In conclusion, both turmeric and ultrasound temperature significantly impact the textural characteristics of vacuum fried plantain chips. Turmeric concentrations of 0.8% and ultrasound temperatures between 40°C and 50°C optimize hardness and fracturability, while a concentration of 0.8% and a temperature of 40°C maximize cohesiveness.

Key words: Turmeric, ultrasound, texture, banana stick, snacks, vacuum frying.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

A medida que los peruanos regresaron gradualmente a las rutinas anteriores a la pandemia, se observó un retorno a las calles, las oficinas y el transporte público. Este regreso estuvo influenciado por ciertas tendencias alimenticias, como la sustitución de comidas principales por snacks. Además, los consumidores tomaron conciencia de los problemas de salud relacionados con una mala alimentación y adoptaron un estilo de vida más saludable, prestando mayor atención al valor nutricional de los productos que compraban. Por lo tanto, los snacks saludables elaborados a partir de ingredientes naturales y que mantenían similitudes con los productos a los que estaban acostumbrados se convirtieron en una prioridad para satisfacer las necesidades de los estilos de vida actuales. En esta investigación, se examinó el plátano palillo, una variedad consumida en Perú, sobre la cual había información limitada en cuanto a sus características y procesamiento. Además, se analizó la cúrcuma, conocida por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, y su uso como colorante en la industria alimentaria. Este estudio buscó determinar si la cúrcuma influyó en la textura de los snacks cuando se utilizó como pretratamiento.

El propósito de este estudio fue evaluar cómo diferentes concentraciones de cúrcuma (0.4%, 0.8% y 1.2%) y variaciones en la temperatura (30°C, 40°C y 50°C) durante el pretratamiento con ultrasonido de hojuelas de plátano palillo afectaron las características texturales de los snacks de plátano palillo fritos a vacío. Se esperaba que las variables en estudio tuvieran un impacto positivo y significativo en las propiedades texturales de los snacks.

1.1. Descripción del problema

En primer lugar, el consumo de snacks es una práctica común en la sociedad peruana, pero a menudo estos productos se caracterizan por su bajo valor nutricional y altos contenidos de grasas saturadas y calorías vacías, es por esta razón que la industria se ha esforzado por rediseñar estos productos para que sean más saludables y naturales (Bautista, 2019).

El plátano, como alimento básico en la dieta peruana, ofrece una oportunidad para abordar este problema. Su transformación en snacks es una práctica que ha ganado popularidad, pero se requiere una mejora significativa en su calidad nutricional. La cúrcuma, una especia rica en propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, puede ser un insumo potencial para enriquecer estos snacks en lo que a textura se refiere, pero aún no se ha explorado completamente su potencial en este contexto.

Por otra parte, existe la posibilidad de que la fritura a vacío, utilizada como una técnica para obtener snacks fritos con mejores características texturales y sensoriales debido a que preserva mejor las características iniciales de la materia prima, en conjunto con el proceso de pretratamiento por ultrasonido, una técnica innovadora, puedan mejorar la calidad de los snacks de plátano y optimizar los procesos de producción. Sin embargo, es esencial comprender cómo esta técnica afecta las características texturales y sensoriales de los productos y cómo se relaciona con la concentración de cúrcuma y la temperatura de procesamiento.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es efecto de diferentes concentraciones de cúrcuma y temperatura en el pretratamiento por ultrasonido en las características texturales de snack de plátano palillo freídos a vacío?

1.3. Justificación

Los snacks son productos alimenticios diseñados como una fuente adicional de energía y nutrientes, pero no están destinados a reemplazar las comidas principales. Pueden ser elaborados a partir de una amplia variedad de alimentos y utilizando diversos métodos como la fritura, la extrusión y el horneado (Higuera Rosero & Prado Argoti, 2013). Sin embargo, los snacks suelen tener un perfil nutricional deficiente y un alto contenido de grasa debido a la fritura convencional, lo que los hace calóricos y puede generar compuestos perjudiciales (Banerjee & Sahu, 2017; Quan et al., 2016). Por lo tanto, la industria se ha esforzado por rediseñar estos productos para que sean más saludables y naturales (Bautista, 2019)

En este contexto, la industria se ve obligada a utilizar nuevas técnicas de procesamiento de alimentos para lograr este objetivo, como el freído a vacío, una técnica alternativa que trabaja a temperaturas más bajas (por ejemplo, 130°C). Esto preserva mejor la textura, el color, el sabor y el valor nutricional de los alimentos de forma natural y evita la formación de sustancias perjudiciales presentes en el freído tradicional, como la acrilamida y el exceso de aceite saturado.

Además, es posible realizar tratamientos previos y posteriores a esta técnica con el objetivo de reducir la absorción de aceite y mejorar las propiedades físicas, mecánicas y sensoriales del producto, incluyendo aspectos como color, aroma y textura (Moreira et al., 2009; Shyu & Hwang, 2001; Troncoso et al., 2009). En la investigación, se consideró el uso del ultrasonido, que es una forma de energía de vibración mecánica que se utiliza en la industria alimentaria para mejorar la eficiencia de varios procesos.

La textura característica de los snacks fritos es crujiente, resultado de cambios en la composición de los alimentos, especialmente en proteínas y carbohidratos, debido al calor y la evaporación del agua durante la fritura (Fellows, 2000; Pedreschi & Moyano, 2005).

El plátano, uno de los alimentos más consumidos en Perú, es rico en potasio, carbohidratos y vitaminas del complejo B. El plátano palillo, variedad similar al de seda que se distingue por ser más grande y tener una pulpa ligeramente rosada. A nivel académico, la información sobre sus características y formas de procesamiento es limitada, por lo que esta investigación busca contribuir al conocimiento de esta fruta.

Por otro lado, la cúrcuma, conocida por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, se utiliza en la industria alimentaria como colorante (E-100). Aunque su potencial benéfico es reconocido a nivel científico, esta investigación explorará si la cúrcuma puede afectar la textura de los snacks cuando se utiliza como pretratamiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes concentraciones de cúrcuma y temperatura en el pretratamiento por ultrasonido en las características texturales de snack de plátano palillo freídos a vacío.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar efecto de diferentes concentraciones de cúrcuma en el pretratamiento por ultrasonido en las características texturales de snack de plátano palillo freídos a vacío.

Determinar efecto de la temperatura en el pretratamiento por ultrasonido en las características texturales de snack de plátano palillo freídos a vacío.

1.5. Hipótesis

H1: Concentraciones de cúrcuma mayores 0.8 % y temperaturas mayores a 40°C en el pretratamiento con ultrasonido influirán positivamente sobre las características texturales del snack de plátano palillo freídos a vacío.

H0: Concentraciones de cúrcuma mayores 0.8 % y temperaturas mayores a 40°C en el pretratamiento con ultrasonido no influirán sobre las características texturales del snack de plátano palillo freídos a vacío.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Campo et al. (2020) investigó el impacto de la sonicación a 40 KHz y 130W a una temperatura de 30°C durante 10, 20 y 30 minutos en la cinética de secado por convección de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Se utilizó un modelo de difusión para describir la cinética de secado y cuantificar la influencia del ultrasonido en la difusividad efectiva del agua. Los resultados indicaron un aumento significativo ($p > 0.05$) en la velocidad de secado en todas las muestras tratadas, con una reducción promedio del 31% en el tiempo de secado en comparación con el tratamiento de control. La pérdida de peso fue del 77%, reduciendo de 3.8 a 0.9 gramos. El modelo exponencial demostró ser el más adecuado, prediciendo las curvas experimentales y mostrando un aumento tanto en la difusividad efectiva como en el coeficiente de transferencia de masa con el ultrasonido. La aplicación del ultrasonido como pretratamiento resultó en una reducción significativa del tiempo de procesamiento, alcanzando la mayor reducción del 50% para el tratamiento de 30 minutos. Estos hallazgos sugieren que el uso del ultrasonido puede ser una alternativa eficaz para reducir el tiempo de secado de plátanos y otros vegetales, con un importante ahorro de energía. Este estudio sirve como referencia para esta investigación tomando el tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura a fin de analizar su efecto como pretratamiento para la obtención de snacks de plátano palillo freídos a vacío.

En el estudio realizado por Pérez & Pérez (2019) se evaluó el impacto de diferentes tiempos y temperaturas de exposición al ultrasonido a 40 kHz en propiedades del mesocarpio de la "zarzamora" *Rubus floribundus* Kunth (Solanaceae). Utilizando un equipo de ultrasonido de baño, se aplicaron tiempos de exposición de 30 y 45 minutos a temperaturas de 25 y 40 °C.

Se analizaron la acidez titulable, pH, sólidos solubles, vitamina C y recuento de mohos y levaduras. Los resultados indicaron que tiempo y temperatura tuvieron un efecto significativo en acidez, sólidos solubles, vitamina C y recuento de microorganismos, mientras que solo el tiempo afectó significativamente al pH. La combinación óptima fue 30 minutos a 40 °C, mostrando la menor variación en acidez, pH, sólidos solubles y recuento microbiano, mientras que 30 minutos a 25 °C minimizó la variación en contenido de vitamina C. Este estudio destaca la influencia del ultrasonido en propiedades de la zarzamora, proporcionando información relevante para su procesamiento y conservación. Se utilizaron los datos de tiempo de exposición y temperatura obtenidos en este estudio como referencia para una investigación adicional centrada en el efecto de dichos parámetros en la calidad de snacks de plátano palillo freídos a vacío.

Campo Vera et al. (2016) llevaron a cabo un estudio en la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicada en Cúcuta, Colombia. El propósito de su investigación fue evaluar el efecto del pretratamiento con ultrasonido (US) en la extracción de pectina contenida en el albedo del maracuyá. Para alcanzar sus objetivos, las muestras se sometieron a ultrasonido a una frecuencia de 40 KHz a diferentes temperaturas: 30, 45 y 60°C, y durante distintos intervalos de tiempo: 10, 20 y 30 minutos. Posteriormente, las muestras se sometieron a un proceso de extracción por hidrólisis ácida a una relación 1:3 (%p/%v) con calentamiento a 80°C durante 30 minutos, con una agitación a 700 rpm. Finalmente, se procedió a filtrar y precipitar las muestras mediante la adición de etanol al 96% en una relación de 1:1 (%v/%v). Los resultados revelaron que las muestras tratadas a una frecuencia de 40 KHz, a 45°C durante 20 minutos, mostraron un incremento del 40% en el rendimiento de la extracción de pectina en comparación con las muestras no tratadas (control). Estos resultados sugieren que la aplicación del ultrasonido como pretratamiento es una herramienta prometedora en la extracción de compuestos bioactivos, ya que se ha demostrado eficiente en la mejora del rendimiento en

comparación con las técnicas de extracción convencionales. A raíz de este estudio, se consideró el tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura como referencia para analizar su efecto como pretratamiento sobre snacks de plátano palillo freídos a vacío.

Mora (2020), llevó a cabo una investigación en la Universidad Agraria del Ecuador. Su objetivo principal era desarrollar chifles de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) enriquecidos con polvo de cúrcuma (*Curcuma longa*), un ingrediente antioxidante con beneficios para la salud. Para lograr este propósito, obtuvo polvo de cúrcuma y evaluó su contenido de polifenoles totales. Luego, incorporó este polvo a los chifles mediante un diseño experimental aleatorio y creó tres muestras mediante un proceso de inmersión en una solución a base de cúrcuma en polvo. Estas tres muestras se configuraron de la siguiente manera: tratamiento 1 (5% de polvo de cúrcuma + 93% de agua + 2% NaCl), tratamiento 2 (7% de polvo de cúrcuma + 91% de agua + 2% NaCl) y tratamiento 3 (8% de polvo de cúrcuma + 90% de agua + 2% NaCl). Posteriormente, evaluó la capacidad antioxidante de las tres muestras utilizando el método DPPH (IC50). Además, buscó mejorar las características sensoriales de los chifles a través de un diseño de bloques completamente aleatorio (DBCA), en el cual se evaluaron aspectos como el color, el olor, el sabor y la textura por un grupo de 30 panelistas no entrenados. Los resultados del estudio indicaron que el contenido de polifenoles en el polvo de cúrcuma fue del 1.49%. En lo que respecta a la capacidad antioxidante de los chifles, los tratamientos T1 y T3 se destacaron como los más efectivos. El análisis sensorial reveló que la formulación T3 fue la preferida en términos de las características organolépticas. Además, se llevaron a cabo análisis de parámetros fisicoquímicos de acuerdo con las normativas correspondientes, que arrojaron valores de humedad del 5.96%, grasa del 22.95%, valor proteico del 1.33% y valor de cenizas del 2.16%. Se observó que el porcentaje de humedad estaba ligeramente por encima de los límites establecidos. En resumen, el estudio concluyó que la incorporación de cúrcuma en los chifles de plátano representa una innovación, ya que se trata de un producto natural con un

característico color amarillo y un perfil nutricional interesante, lo que lo hace adecuado para el consumo. Los valores óptimos de concentración de cúrcuma obtenidos en este estudio sirvieron como referencia para determinar su influencia en la textura de snacks de plátano palillo fritos a vacío.

En un estudio llevado a cabo por Ribeiro et al. (2020) en Goiás, Brasil, se tuvo como objetivo el desarrollo de snacks extruidos a partir de granos de arroz quebrado (BRG) y polvo de cúrcuma (TP). Se utilizaron diferentes niveles de sustitución de BRG por TP (0%, 2%, 4%, 8% y 10% en peso). Los snacks se procesaron en un extrusor de tornillo único con tres zonas de calentamiento (41, 61 y 84 °C respectivamente), utilizando una matriz de extrusión con estrías helicoidales, una matriz de 4 mm de diámetro, una relación de compresión del tornillo de 3:1, una velocidad de rotación del tornillo de 3600 x g y una velocidad de alimentación de 335 g por minuto. Se evaluaron los snacks en términos de sus características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, así como su composición química, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la fórmula de snack salado seleccionada. El snack seleccionado, que presentó características físicas más similares al producto tradicional de maíz, se obtuvo mediante la sustitución del 6% de BRG por TP y estaba compuesto por un 7.76% de proteína, un 4.78% de lípidos, un 5.84% de fibra dietética, un 75.3% de carbohidratos disponibles, 174.75 mg de equivalente de ácido gálico por 100 g y una capacidad de eliminación del radical DPPH de 6.52%. Concluyendo que este snack seleccionado se demostró factible, ya que el polvo de cúrcuma es un ingrediente que agrega valores sensoriales (color y sabor), nutricionales (fibra dietética y valor energético total) y funcionales (antioxidantes) al snack a base de BRG, ofreciendo una alternativa en la producción de snacks sin gluten. Esta investigación se ha considerado para ayudar a establecer la concentración de cúrcuma a emplear para el estudio del efecto de esta especia como pretratamiento sobre las características texturales de plátano palillo freídos a vacío.

Lim & Han (2016) llevaron a cabo una investigación en Corea del Sur, centrada en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de un aperitivo de arroz frito, yukwa, al incorporar diferentes cantidades de polvo de cúrcuma (*Cúrcuma longa* L.). Variando las proporciones de polvo de cúrcuma en la harina de arroz ceroso (0, 2, 5, 8 y 10 g por cada 100 g de harina, etiquetadas como T-0, T-2, T-5, T-8 y T-10), se realizaron procesos de cocción al vapor, amasado, corte, secado y fritura para obtener pellets de yukwa. Se evaluaron propiedades como contenido de humedad, grado de expansión y se llevó a cabo una evaluación sensorial abordando apariencia, sabor, textura y aceptación general. Los resultados mostraron variaciones en el contenido de humedad (16.47% - 19.84%) y una ligera disminución en el grado de expansión con mayor contenido de cúrcuma. La textura del yukwa se mantuvo constante hasta el 5% de adición de cúrcuma, pero superar el 8% condujo a una disminución en la dureza y un aumento en la textura crujiente. Se concluyó que el 5% de cúrcuma fue la adición más aceptable. El contenido de humedad fue el factor más influyente en la calidad del yukwa según correlaciones. Este estudio proporciona información relevante para definir la cantidad óptima de cúrcuma en snacks fritos a vacío, contribuyendo a mejorar su proceso y calidad.

Martinez et al. (2022) llevó a cabo un estudio en la Universidad de Caldas, Colombia, para investigar el impacto de las variables del proceso de fritura por inmersión a vacío en snacks de plátano recubiertos con goma guar. Utilizando el análisis de superficie de respuesta y el diseño central compuesto rotatable, se evaluaron condiciones de presión, tiempo y temperatura. Los resultados revelaron variaciones en el contenido de agua (0,07% al 11,26%) y contenido de aceite (14,77% al 31,09%) de los snacks. La aceptabilidad sensorial óptima se alcanzó con condiciones específicas de operación (ΔT : 43°C, P: 73 kPa, y t: 341 segundos), reduciendo el contenido de aceite en un 60,73% en comparación con snacks sin recubrimiento. Esta optimización posicionó el producto como "pasabocas reducidos en grasa". El estudio

demuestra que las condiciones de fritura afectan significativamente los parámetros de calidad. Los resultados se considerarán para determinar los parámetros óptimos en la producción de snacks de plátano palillo fritos a vacío, contribuyendo a la creación de productos más saludables con menor contenido de grasa.

En el estudio realizado por Rodríguez (2023), se centró en optimizar el proceso de fritura a vacío para producir chips de banano Pisang Mas utilizando aceite de soya en un equipo piloto discontinuo. Se aplicó el diseño de superficie de respuesta para optimizar tres variables clave del proceso: el tiempo de fritura (en un rango de 360 a 720 segundos), la temperatura (entre 105 y 125 °C) y la velocidad de centrifugación (variando de 106 a 530 r.p.m.) manteniendo constantes la presión de vacío de operación (25 kPa) y el tiempo de centrifugación (200 segundos). El análisis abarcó parámetros como el contenido de humedad, grasa, valor de aw, color, textura y el rendimiento de la fritura. Además, se evaluaron los cambios nutricionales en los chips, incluyendo proteínas, almidón, fibra, azúcares, antioxidantes y percepción sensorial por parte de consumidores. Los resultados identificaron condiciones óptimas de proceso con una temperatura de 121°C, velocidad de centrifugación de 530 r.p.m. y un tiempo de fritura de 433 segundos, logrando chips de banano con bajo contenido de grasa, aspecto atractivo y textura crujiente. Se observaron aumentos en compuestos beneficiosos, como sacarosa, polifenoles y vitamina C, así como disminuciones en fructosa, glucosa, proteínas y almidón. En resumen, este estudio demuestra el potencial de la fritura a vacío para crear snacks saludables a partir de frutas tropicales, en línea con las tendencias del mercado. Los valores óptimos para presión y temperatura obtenidos en este estudio serán útiles para establecer los parámetros de proceso de fritura a vacío en la producción de snacks de plátano palillo freídos a vacío.

Udomkun & Innawong (2018) realizó un estudio cuyo propósito de este estudio consistió en examinar el impacto de diversos métodos de pretratamiento en las propiedades

fisicoquímicas y sensoriales de chips de plátano fritos a vacío (VF) a una temperatura de 120°C y una presión de 41.3 kPa, y compararlos con chips de plátano fritos de manera tradicional a temperatura ambiente (AF) a 170°C. Los métodos de pretratamiento evaluados incluyeron deshidratación osmótica utilizando solución de sacarosa (ODSu), deshidratación osmótica con solución salina (ODSa), calentamiento en microondas (MV) y secado con aire caliente (HD). Los resultados revelaron que todos los chips de plátano sometidos a pretratamiento experimentaron una disminución significativa en su contenido de humedad, contenido de aceite, valores de luminosidad (L^*), tonalidad amarilla (b^*), y firmeza en comparación con los que no fueron pretratados. Por otro lado, los valores de tonalidad roja (a^*), contracción de volumen y dureza aumentaron como resultado del pretratamiento. Entre los diferentes métodos de pretratamiento, se observó que la muestra ODSu presentó el contenido de aceite más bajo, mientras que los tratamientos HD y MV provocaron la mayor contracción de volumen. La evaluación sensorial demostró que los chips VF recibieron calificaciones más elevadas en términos de color, textura crujiente y nivel de aceitosidad en comparación con los chips AF. Además, las muestras ODSu y ODSa influyeron positivamente en las propiedades de color, textura crujiente y sabor. Este estudio subraya la influencia significativa de los procesos de pretratamiento en las características fisicoquímicas y sensoriales de los chips de plátano fritos a vacío, proporcionando información valiosa sobre cómo mejorar la calidad de este tipo de aperitivos.

En Manizales, Colombia, Acosta et al. (2020) llevaron a cabo una investigación en 2020 con el objetivo de analizar las condiciones de operación necesarias para la producción de hojuelas de mango deshidratadas mediante un proceso de inmersión a vacío, después de someterlas a un pretratamiento de deshidratación osmótica en una solución compuesta por sacarosa (28.9%), cloruro de sodio (3.2%) y ácido cítrico (0.3%). Para lograr este propósito, aplicaron un análisis de superficie de respuesta utilizando un Diseño Central Compuesto

Rotable (DCCR). El sistema estadístico identificó que las condiciones óptimas para este proceso eran una temperatura de fritura de 42.4°C, una presión del sistema de 10 kPa y un tiempo de inmersión de 473.5 segundos. Estas condiciones permitieron minimizar los cambios en el color, el contenido de humedad y la cantidad de grasa en las hojuelas de mango. Además, la evaluación sensorial de los productos obtenidos bajo estas condiciones ideales reveló que las hojuelas de mango presentaban una textura crujiente y un sabor agradable que resultaba satisfactorio para el gusto de los consumidores. Los datos de presión y temperatura de fritura obtenidos en esta investigación servirán como referencia para definir las variables de proceso de fritura a vacío a utilizar en la investigación en curso.

El estudio realizado por Trejo et al. (2019), tenía como objetivo evaluar las condiciones de proceso necesarias para la fritura a vacío de chips de papa, específicamente de la variedad Botella Roja. Utilizaron un diseño central compuesto de cara centrada ($\alpha=1$) que consideró las siguientes variables: ΔT (diferencia de temperatura entre el aceite y el punto de ebullición del agua) en el rango de 40-60 °C, la presión de vacío entre 30-70 kPa y el tiempo de fritura entre 3-7 minutos. A través de experimentación y optimización, determinaron las condiciones óptimas del proceso, que resultaron ser las siguientes: ΔT de 40 °C, una presión de 46.70 kPa y un tiempo de 5.04 minutos. Las variables dependientes medidas en este estudio incluyeron contenido de humedad (6.0±0.8% en base húmeda), absorción de aceite (19.9±1.2%), actividad de agua (0.450±0.01), índice de peróxidos (5.1±0.6 meqO₂/kg), actividad antioxidante medida mediante 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) y ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) (49.4±4.1 y 47.8±6.5 meq Trolox/100 g de sólido seco respectivamente), fenoles totales (54.7±7.9 meq de Ácido Gálico/100 g de sólido seco), color (L^* : 66.2±1.2; a^* : 1.4±1.3 y b^* : 5.0±2.1) y fuerza de fractura (5.7±0.8 N). En resumen, los resultados destacan que el proceso de fritura a vacío tiene un impacto significativamente positivo en la calidad fisicoquímica de los chips de papa de la variedad Botella Roja. Esta investigación ha sido

considerada para determinar los parámetros óptimos de fritura que se emplearan para el proceso elaboración de snacks de plátano palillo fritos a vacío.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Snack*

Un snack se define como alimentos listos para comer, comúnmente ricos en aceite y dulces o salados, cuyo propósito es aliviar temporalmente el hambre y proporcionar energía. Aunque se suelen considerar que no son beneficiosos para la salud en su mayoría, existen opciones nutritivas y saludables de snacks que se distinguen por sus ingredientes naturales. (Saldivar, 2016)

Estos snacks son conocidos por su facilidad de preparación y conveniencia, lo que los convierte en una opción popular en las dietas diarias. Los snacks que contienen frutas, leguminosas o cereales se consideran opciones nutritivas, según (Hess & Slavin, 2017).

El Instituto Nacional de Calidad (2016), define a los bocaditos como “Productos alimenticios salados y/o dulces, fritos o extruidos no sometidos a la acción de leudantes químicos o biológicos: que tienen diversas formas de presentación y generalmente son envasados” (p. 3).

2.2.2. *Tipos de snack*

El sector de los bocaditos en Perú es amplio y variado, ya que en el mercado se encuentran numerosos productos tanto dulces como salados, incluyendo marcas reconocidas y opciones artesanales. A pesar de que las hojuelas de papa frita siguen siendo el tipo de snack más consumido, existen snacks peruanos que han logrado una buena aceptación en el mercado,

como el plátano frito, conocido como "chifle", el camote frito, las habas fritas, entre otros (Cruz et al., 2016)

De acuerdo con Pearson et al. (2014), los snacks se dividen en dos categorías: aquellas que son perjudiciales para la salud y las que son beneficiosas. La primera categoría se caracteriza por contener cantidades excesivas de grasas y azúcares, mientras que la segunda comprende alimentos como frutos secos, frutas frescas, verduras, semillas y productos con bajos niveles de azúcar y calorías. Los alimentos menos procesados suelen ofrecer un mayor valor nutricional y ventajas para la salud.

Serna (2016) menciona que existe una categorización básica de snacks, conocidos como snacks de primera generación, que se elaboran utilizando ingredientes como palomitas de maíz, maní, nueces, frutas deshidratadas y productos similares. Sin embargo, la mayoría de los snacks se clasifican como snacks de segunda generación, que incluyen productos simples obtenidos mediante procesos como la extrusión directa (como chips de maíz, productos de maíz expandido, bolas y rizos) o a través de técnicas de corte, laminado y moldeado, como chips de papa, tortillas, papas fritas y pretzels. Por otro lado, los snacks de tercera generación se crean a partir de pellets extruidos que generalmente se someten a procesos de fritura y aromatización.

En lo que respecta a la Norma Técnica Peruana NTP 209.226:1984 (actualizada en 2016) sobre bocaditos, se establece una clasificación basada en el sabor de los productos en salados, dulces y de sabores especiales. También se clasifican según su método de preparación, dividiéndolos en fritos y extruidos (Instituto Nacional de Calidad, 2016).

Figura 1

Clasificación de snacks.



Nota: En la imagen se muestran Snacks de primera generación (a), snacks de segunda generación (b), snacks de tercera generación (c-f) y ejemplo de un producto co-extruido (g) (Riaz, 2015).

2.2.3. Elaboración de un snack

Guy (2002) clasifica los aperitivos según los procedimientos de procesamiento utilizados. Estos incluyen aperitivos vegetales de corte natural, que involucran el corte fino y la fritura de vegetales frescos; productos formados de pasta a partir de derivados de papa, creados mediante extrusión o laminado de pasta de papa y fritura; productos formados de pasta a partir de derivados de maíz, obtenidos a través de la extrusión, laminado y corte de pasta de maíz, seguido de fritura u horneado; productos intermedios o aperitivos aglomerados, que se diferencian por una etapa adicional de secado después del moldeado; aperitivos expandidos directamente, donde las materias primas se funden y expanden al salir del extrusor; y aperitivos co-extruidos, que involucran dos extrusiones simultáneas a través de un solo troquel, aunque

su aplicación en la industria alimentaria a menudo se dificulta debido a cambios en las propiedades reológicas de los fluidos con almidón.

Los snacks son productos alimenticios diseñados para el placer o como fuente adicional de energía y nutrientes, pero no reemplazan las comidas principales. Pueden elaborarse a partir de una amplia variedad de alimentos, como cereales, tubérculos, carne, pescado, y más (Higuera & Prado, 2013), utilizando diversos procesos como la fritura, la extrusión y el horneado. Se dispone de una infinita gama de opciones en términos de colores, formas, tamaños y sabores al fabricar snacks (Fellows & Hilmi, 2011) con la fritura de alimentos, es posible realizar pre y postratamientos, especialmente en la fritura a vacío. Estos tratamientos adicionales son técnicas complementarias que tienen como objetivo reducir la absorción de aceite y mejorar las propiedades físicas, mecánicas y sensoriales del producto, incluyendo aspectos como color, aroma y textura. Estas técnicas pueden aplicarse de manera individual o combinada (Moreira et al., 2009; Shyu & Hwang, 2001; Troncoso et al., 2009).

2.2.4. Características de un snack frito

Los snacks fritos son productos procesados muy populares entre los consumidores debido a sus características sensoriales únicas que provienen de la presencia de grasa, lo que mejora su textura y les otorga un sabor distintivo (Mehrijardi et al., 2012). Sin embargo, tienen un perfil nutricional deficiente y un alto contenido de grasa debido a que se someten a fritura convencional, lo cual tiene una mala reputación debido a su alto contenido calórico y la generación de compuestos perjudiciales (Banerjee & Sahu, 2017; Quan et al., 2016)

La textura resultante después de la fritura se debe a las transformaciones que ocurren en la composición de los alimentos, en particular en las proteínas y los carbohidratos. Estos componentes se ven alterados debido al calor transferido al alimento y a la evaporación del agua contenida en él. Estos procesos conducen a la formación de una capa crujiente que

confiere al alimento su característica textura crujiente distintiva (Fellows, 2000; Pedreschi & Moyano, 2005).

El color dorado es un atributo distintivo de la calidad de los productos fritos y desempeña un papel crucial en su aceptación por parte de los consumidores (Krokida et al., 2001; Sahin, 2000). Varias condiciones del proceso, como el tiempo, la temperatura y el tipo de aceite, así como las características del producto, como su tamaño, variedad y condiciones de almacenamiento previas, influyen en este parámetro (Fellows, 2000; Krokida et al., 2001; Sahin, 2000).

Durante el proceso de fritura, el aceite se convierte en parte integral del alimento al ser absorbido y reemplazar el agua presente. La cantidad de aceite que un alimento absorbe depende de sus características intrínsecas, como la porosidad, la superficie expuesta a la fritura y la humedad del alimento. Además, es importante destacar que, a temperaturas de fritura más bajas, el alimento tiende a retener una mayor cantidad de aceite o grasa en su interior (Levine, 1990).

2.2.5. *Snack de Plátano*

Los snacks fritos se producen mediante la inmersión directa de la materia en aceite vegetal caliente, al que se le añaden ingredientes como sal, azúcar, saborizantes, colorantes y otros aditivos permitidos. Un ejemplo de este proceso son los chifles, que son aperitivos salados hechos a partir de hojuelas de plátano verde que se fríen en aceite vegetal, resultando en un producto deshidratado debido a la fritura (Del Rosario, 2018).

El término "chifle" se refiere a un aperitivo elaborado principalmente a partir de plátanos de la variedad bellaco, que es ampliamente consumida en el Perú, siendo característica de la región de Piura. Estos bocaditos se preparan a partir de plátanos verdes de gran tamaño, que se cortan en hojuelas de aproximadamente 1 a 1.5 centímetros de grosor y se sumergen

directamente en una freidora con aceite vegetal a una temperatura de 150°C durante un período de 3 a 5 minutos, hasta que las hojuelas adquieren un color amarillo. Luego, se espera que enfríen durante un lapso de dos horas (Altez et al., 2020).

Figura 2

Snack de plátano frito o “Chifle”.



Nota. La imagen representa un snack de plátano frito, conocido como chifles. (Arrizabalaga, 2021).

2.2.6. Plátano

a. Definición y características.

Los términos plátano, banano, cambur o guineo se utilizan para referirse a los híbridos cultivables del género *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, que se consideran cultivares genéticamente puros de estas especies. De acuerdo con las reglas establecidas en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica, se mantiene la clasificación vigente, en la que el nombre linneano tiene prioridad, y en la actualidad se denomina *Musa paradisiaca* L., lo que indica que se trata de un híbrido (Cárdenas, 2001).

Los plátanos y los bananos son frutas tropicales altamente nutritivas que son ricas en carbohidratos y calorías. Los bananos típicamente contienen nutrientes como potasio, magnesio y ácido fólico. La distinción entre plátanos y bananos es bastante sutil, si es que existe, en términos de su área de producción. En Perú, se comercializan frutas verdes o maduras bajo la denominación de "banana" en todas sus variedades y genotipos comestibles. La principal diferencia discernible entre plátanos y bananos radica en su contenido de agua: los plátanos tienen un promedio de alrededor del 65% de agua, mientras que los bananos contienen alrededor del 83%. Los plátanos no se consumen crudos; en su lugar, se preparan fritos o asados, ya sea cuando están verdes (en versiones saladas) o maduros (en preparaciones dulces) (Cárdenas, 2001).

Figura 3

Plátanos y Bananas.



Nota. La imagen muestra plátanos y bananos (Rae, 2023).

b. Propiedades nutritivas.

Los plátanos o bananos se distinguen por su considerable cantidad de carbohidratos, lo que se traduce en un contenido calórico significativo. Los nutrientes más destacados del plátano y el banano incluyen potasio, magnesio, ácido fólico y compuestos con propiedades astringentes, además de proporcionar una cantidad sustancial de fibra, específicamente del tipo

fructo-oligosacáridos. Estos últimos componentes hacen que esta fruta sea una elección adecuada para individuos que experimentan episodios de diarrea (Cárdenas, 2001).

Tabla 1

Composición nutricional, minerales y vitaminas del plátano, valores por 100 g.

Nombre	Valor	Unidad
Agua	61.1	g
Energía	152	kcal
Proteína	1.25	g
Grasa	0.07	g
Ceniza	0.92	g
Carbohidratos	36.7	g
Fibra dietética	2.2	g
Calcio, Ca	2	mg
Hierro, Fe	0.75	mg
Magnesio, Mg	41	mg
Fósforo, P	31	mg
Potasio, K	431	mg
Sodio, Na	2	mg
Zinc, Zn	0.18	mg
Cobre, Cu	0.116	mg
Manganeso, Mn	0.109	mg
Vitamina C, ácido ascórbico total	20.2	mg
Tiamina	0.1	mg
Riboflavina	0.1	mg
Niacina	0.55	mg
Ácido pantoténico	0.53	mg
Vitamina B-6	0.07	mg

Nota. La tabla muestra la composición nutricional del plátano, valores por 100 g (USDA, 2019a).

c. Variedades

El plátano existe en diversas variedades que presentan diferencias en términos de color y consistencia, y son ricos en almidón. Estas variedades pueden ser consumidas tanto en estado verde como maduro. Todas estas variedades de plátano pertenecen a la especie *Musa paradisiaca* L. y se derivan de un cruce entre *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. En Perú, se cultivan variedades como seda, isla y Muquicho, que se suelen consumir cuando están maduros, mientras que el guayabo, Inguiri y bellaco son preferiblemente cocidos o fritos (Rodríguez, 2023).

Figura 4

Variedad de plátanos y bananos en el Perú.



Nota. La imagen muestra variedad de plátanos y bananos que existen en el Perú (Redacción Review, 2022).

d. Formas de Procesamiento

El cultivo y producción de plátanos ofrece diversas oportunidades comerciales e industriales. Estas oportunidades incluyen la fabricación de productos como chifles, harina de plátano, mermelada de plátano, conservas, papillas y concentrados para jugo. Estos productos tienen múltiples usos y se pueden considerar como complementarios o sustitutos entre sí. De

igual manera el plátano verde se utiliza para crear una variedad de productos, como chifles, patacones, harina para consumo humano y banano liofilizado. Los chifles, patacones y harinas se consideran productos elaborados, ya que pasan por un proceso industrial antes de su consumo. Además, los residuos y desechos de la cosecha de plátano encuentran utilidad en la alimentación del ganado, especialmente el ganado vacuno y porcino, y también como materia orgánica para mejorar la calidad del suelo (Cárdenas, 2001).

2.2.7. *Cúrcuma (Curcuma longa L.)*

a. Definición y características

La cúrcuma tiene su origen en la región sur de Asia y es una planta herbácea perenne que puede alcanzar una altura de 50 a 100 cm. Sus hojas son grandes, suaves y de color verde claro, mientras que las flores presentan un tono blanco amarillento. En lo que respecta al rizoma, que es la raíz, puede medir entre 5 y 8 centímetros de grosor y se caracteriza por su tonalidad marrón y aspecto arrugado. Este rizoma guarda similitudes con el del jengibre (*Zingiber officinale*), aunque se distingue por su color amarillo anaranjado en su interior, en contraste con el jengibre (Esparza, 2021; Montaña & Montes, 2004)

La cúrcuma tiene una composición química que incluye tanto compuestos volátiles como no volátiles. Entre los compuestos volátiles más prominentes se encuentran el cariofileno, el ar-curmeno, el zingibereno, el bisaboleno y el sesquifelandrenendreno (Qin et al., 2007), además de tres tipos de turmeronas (Ríos et al., 2009). En cuanto a los compuestos no volátiles más destacados, se encuentra la turmerina, que es un péptido soluble en agua (Kao et al., 2007), y los polifenoles (Sharma et al., 2005).

La *Curcuma longa* L. exhibe un tono que varía entre amarillo y naranja, lo que la hace atractiva para añadir color a los alimentos debido a la presencia de compuestos curcuminoides

en su composición (Esparza, 2021). Estos compuestos incluyen principalmente la curcumina (aproximadamente 75%), la demetoxicurcumina (entre 10-25%) y la bisdemetoxicurcumina (alrededor del 5%) (Patil et al., 2019).

Además, la cúrcuma tiene una composición química que incluye agua (alrededor del 13%), carbohidratos (aproximadamente 70%), proteína (cerca del 10%), grasa (aproximadamente 3%), minerales (alrededor del 3%) y trazas de vitaminas (Rafecas et al., 2020; The United States Department of Agriculture [USDA], 2019). El contenido de curcuminoides en la cúrcuma puede variar entre el 2% y el 9% en peso, dependiendo de su ubicación geográfica y las condiciones de cultivo (Saiz, 2014).

Figura 5

Aspecto de la cúrcuma (Cúrcuma longa L.).



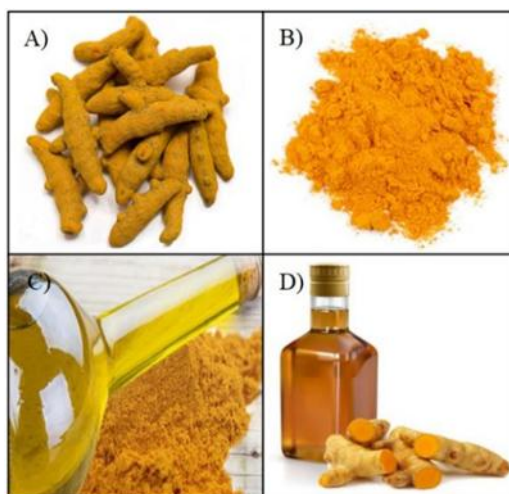
Nota. La imagen ilustra el aspecto de la cúrcuma (Esparza, 2021).

b. Procesamiento de la cúrcuma.

El método tradicional para producir cúrcuma en polvo consiste en someter el rizoma limpio a un tratamiento térmico, secado, molienda y tamizado. Además del rizoma deshidratado en forma de polvo, a partir de la cúrcuma se pueden derivar diversos productos, como oleoresina, aceite de cúrcuma y curcuminoides (Esparza, 2021).

Figura 6

Principales productos de la cúrcuma.



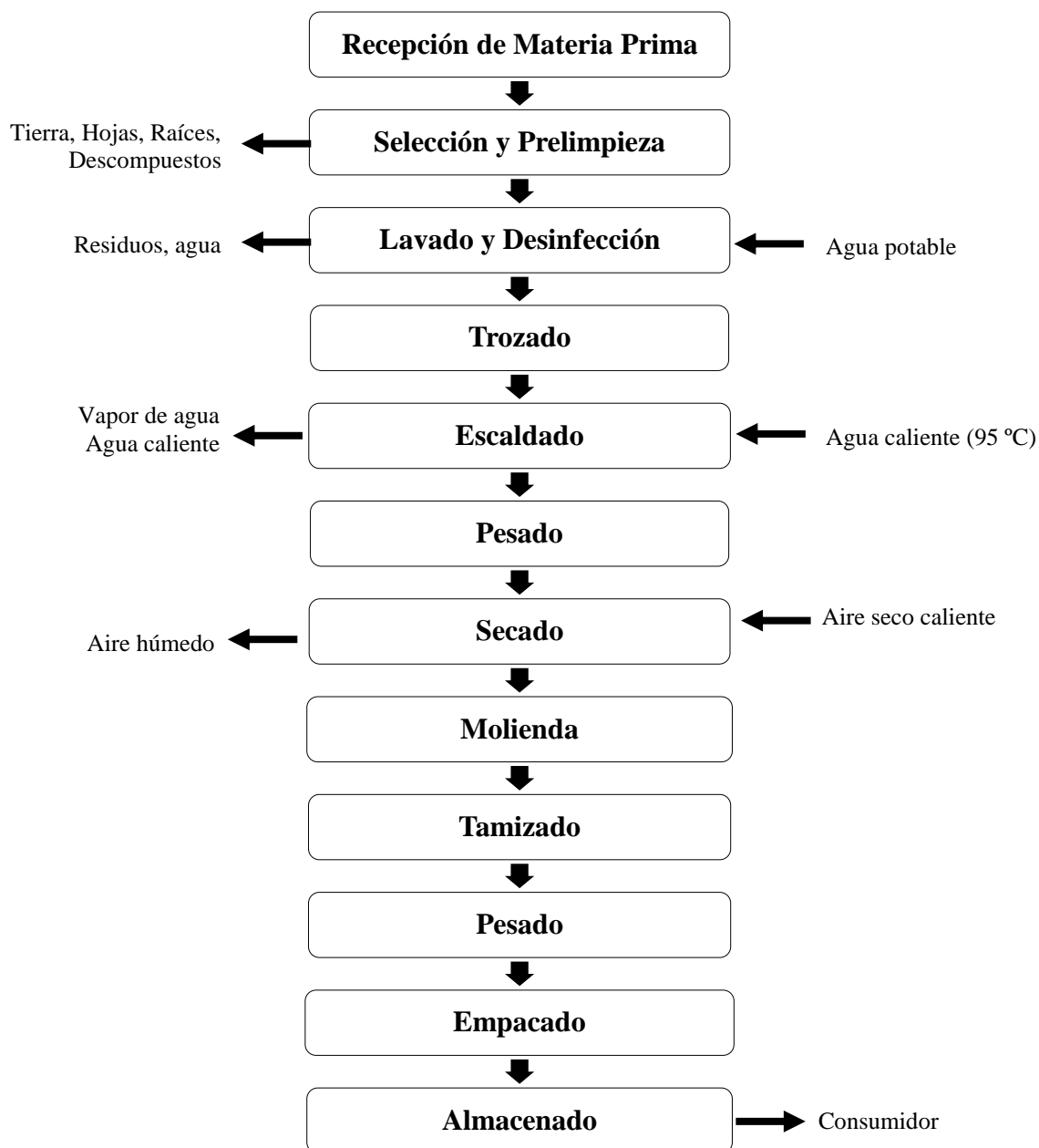
Nota. La imagen presenta los principales productos de la cúrcuma (Esparza, 2021).

c. Obtención de cúrcuma en polvo

Montaño & Montes (2004) señalaron que, para llevar a cabo el procesamiento, es esencial primero lavar y desinfectar los rizomas. Posteriormente, se procede a trocearlos, lo que facilita el proceso de escaldado. Esto se hace con el fin de prevenir el deterioro del material debido al oscurecimiento, al mismo tiempo que se inhibe la acción enzimática y se reduce la contaminación microbiana. Luego, se lleva a cabo el secado en un secador de bandejas, utilizando aire seco caliente como el componente principal para deshidratar el material a una temperatura promedio de 70°C. Una vez que se ha obtenido el rizoma seco, se procede a molerlo en un molino de martillos y se pasa a través de un tamiz para lograr la granulometría adecuada para el mercado. En esta etapa, se obtiene la harina deseada, la cual se empaqueta en bolsas plásticas y se almacena.

Figura 7

Diagrama de flujo para la obtención de cúrcuma en polvo.



Nota. En el esquema se describe el proceso para la obtención de cúrcuma en polvo, Adaptado (Montaño & Montes, 2004).

d. Propiedades

Dentro de la amplia variedad de especias, la cúrcuma se distingue gracias a sus propiedades beneficiosas para la salud, como su capacidad antiinflamatoria y su potencial

efecto anticancerígeno. Estas características hacen que la inclusión de la cúrcuma en la dieta pueda resultar beneficiosa. La cúrcuma es especialmente rica en antioxidantes, siendo la curcumina su componente principal, lo que la convierte en una especia con un alto poder antioxidante que puede proteger las células del daño causado por los radicales libres generados en el organismo. Si bien la curcumina es el componente más destacado, se han identificado otros compuestos biológicamente activos, como los turmerones, que también contribuyen a las propiedades funcionales de la cúrcuma (Esparza, 2021).

e. Usos

La cúrcuma se utiliza en diversas industrias, como la química, farmacéutica, cosmética y alimentaria, y también tiene aplicaciones en la medicina tradicional. En la industria de alimentos, los extractos de cúrcuma se utilizan como colorantes en varios productos, con niveles de uso de curcumina que varían entre 5 y 500 mg/kg, dependiendo de la categoría de alimentos (Stankovic, 2004).

Uno de los usos en crecimiento es su empleo como colorante alimentario en forma de cúrcuma o curcumina, ambos denominados comúnmente como cúrcuma (E-100). Ambos colorantes están autorizados por la FDA para su uso en alimentos (Goel et al., 2008).

2.2.8. Ultrasonido

El uso del ultrasonido en la industria alimentaria implica la emisión de ondas sonoras con frecuencias que oscilan entre 20 KHz y 100 KHz (Bhat et al., 2021; Singla & Sit, 2021). Al aplicar el ultrasonido a productos alimentarios, se generan ondas sonoras y vibraciones mecánicas que resultan en un fenómeno conocido como cavitación (ver Figura 2A). La cavitación involucra ciclos alternos de expansión y compresión en un líquido. Durante la fase de expansión, las ondas ultrasónicas de alta intensidad forman pequeñas burbujas que

gradualmente se fusionan. En la fase de compresión, estas burbujas colapsan violentamente (implosión) debido a su incapacidad para absorber energía adicional. Las burbujas de cavitación y los microchorros generados durante la implosión provocan alteraciones en la estructura celular y los componentes funcionales de la membrana celular. Esto da lugar a la lisis celular, daños significativos en la pared celular y efectos de esterilización localizados, o la creación de pequeños poros en la membrana de la pared celular. La eficacia antimicrobiana del ultrasonido es amplia, pero depende de la frecuencia y amplitud de las ondas ultrasónicas (Asaithambi et al., 2021; Gerschenson et al., 2021; Kaavya et al., 2021).

a. Tipos

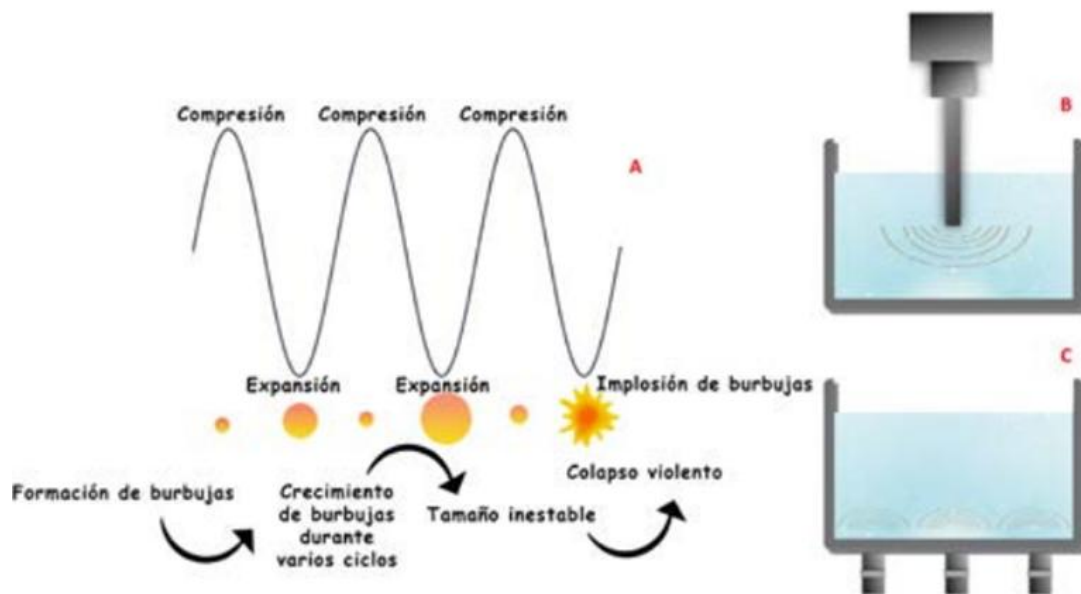
El tratamiento con ultrasonido se divide en categorías según la intensidad del sonido (W/cm^2), la frecuencia (Hz) y la duración (Barba et al., 2018). Generalmente, se utilizan frecuencias bajas de 20-100 kHz con alta intensidad de 10-1000 W/cm^2 , lo que causa cavitación intensa, beneficioso para la preservación de alimentos (Gallo et al., 2018; Ojha et al., 2018; Zinoviadou et al., 2015). Sin embargo, las frecuencias intermedias (100 kHz-1 MHz) con cavitación moderada o frecuencias altas (5 MHz-10 MHz) con baja intensidad apenas afectan la estructura alimentaria según el propósito (Gallo et al., 2018; Ojha et al., 2018)

b. Formas de aplicación

El ultrasonido se emplea de dos maneras en la industria alimentaria: a través de un dispositivo como un sonotrodo o mediante un baño de agua ultrasónica. Con el sonotrodo, la energía acústica se aplica directamente a los alimentos, mientras que, en el baño de agua ultrasónico, se generan ondas de alta frecuencia en el fondo del recipiente donde se sumerge el alimento (Bhargava et al., 2021; Chen et al., 2020).

Figura 8

Fenómeno de cavitación y formas de aplicación del ultrasonido.



Nota. La imagen muestra el A) Fenómeno de cavitación durante la aplicación del ultrasonido en una matriz alimentaria, B) Sonotrodo de ultrasonido y C) baño de ultrasonido. (Caballero et al., 2022).

c. Aplicaciones en alimentos

La tecnología de ultrasonido (US) se considera una opción versátil, innovadora y respetuosa con el medio ambiente, ya que es no tóxica y ahorra energía. Tiene una amplia gama de aplicaciones en la ciencia y tecnología de alimentos, incluyendo análisis y procesamiento como congelación, secado, homogeneización, desgasificación, entre otros. En comparación con tratamientos térmicos, ofrece ventajas como la preservación del sabor, homogeneidad, eficiencia energética y mejor calidad, sin riesgos para la salud (Campo et al., 2018).

2.2.9. Fritura al vacío

La fritura al vacío es una tecnología emergente que permite reducir el contenido de aceite en productos fritos, como los snacks de plátano verde, mejorando su perfil nutricional y

conservando características sensoriales aceptables. A diferencia de la fritura convencional, este proceso se realiza a presiones inferiores a la atmosférica, lo que disminuye la temperatura de ebullición del agua y posibilita freír a temperaturas más bajas. Esta condición reduce la absorción de aceite, minimiza la degradación de nutrientes y preserva mejor el color y sabor del alimento, logrando productos con buena textura, menor humedad y una aceptabilidad sensorial favorable (Martínez et al., 2023).

2.2.10. Textura

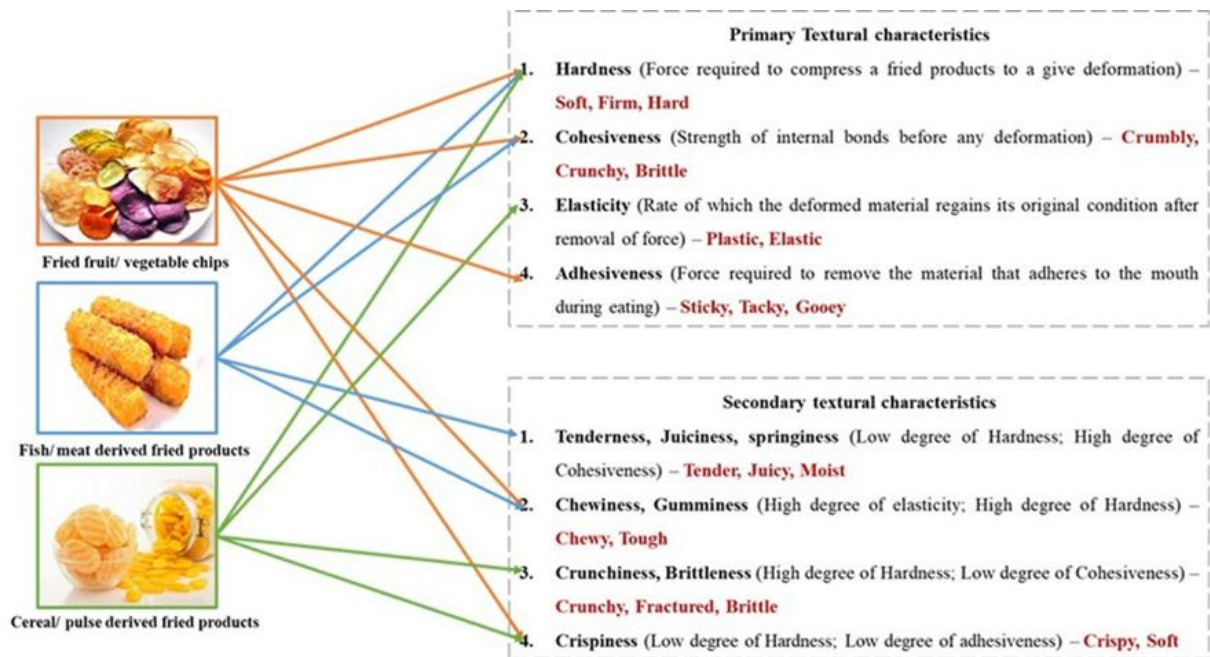
La textura de los alimentos se refiere a cómo los percibimos a través de la vista, el tacto y al masticarlos. Está relacionada con los cambios en su estructura y consistencia que influyen en su atractivo y la preferencia del consumidor (Pandiselvam et al., 2022).

Las propiedades texturales de los alimentos se dividen en características primarias y secundarias. Las características primarias incluyen dureza, cohesión, adherencia, viscosidad y elasticidad, mientras que las características secundarias engloban fragilidad, masticabilidad, gomosidad y untuosidad. De todas estas propiedades, la dureza es un factor crucial que influye en la frescura del alimento (Fang et al., 2021; Lu, 2013; Pandiselvam et al., 2020).

Estas propiedades texturales están relacionadas con la deformación, desintegración y flujo del alimento bajo fuerza, que pueden medirse objetivamente en funciones de masa, tiempo y distancia (Patra et al., 2022).

Figura 9

Características texturales primarias y secundarias de varios tipos de alimentos fritos.



Nota. En la imagen se muestra las características texturales de varios tipos de alimentos fritos. Patra et al. (2022).

Las propiedades texturales se evalúan principalmente de dos maneras: subjetiva y objetiva. Los enfoques subjetivos implican análisis sensoriales para evaluar la textura de los alimentos, mientras que los métodos objetivos utilizan instrumentos para medir las propiedades de textura de dos maneras: enfoques destructivos y no destructivos (Lu, 2013; Lu & Cen, 2013)

Los métodos destructivos brindan información sobre la calidad promedio de lotes de alimentos, pero pueden dañar las muestras. Por otro lado, los métodos no destructivos se utilizan para monitorear, clasificar y garantizar la calidad de los alimentos sin dañarlos (J. Chen & Rosenthal, 2015; Lu & Cen, 2013; Nishinari & Fang, 2018)

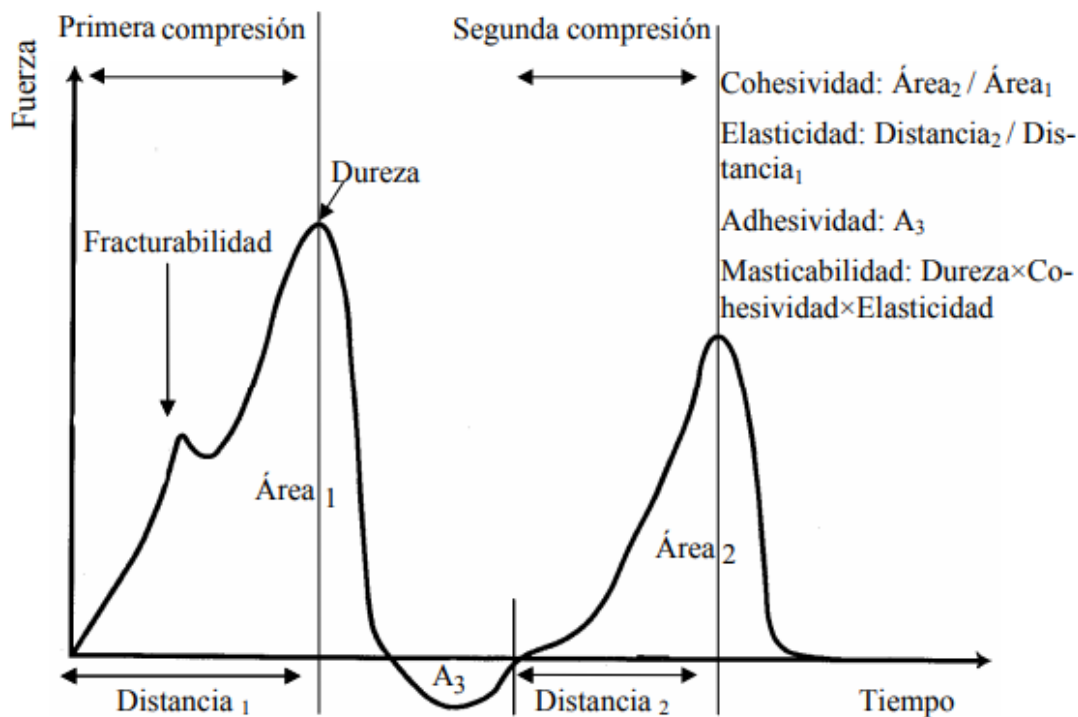
Los enfoques destructivos incluyen pruebas de textura como máquinas de prueba universal, pruebas de penetración, corte y punción. En contraste, tanto las técnicas mecánicas como las ópticas se emplean en el enfoque no destructivo del análisis de textura (García Ramos et al., 2005; Lu & Cen, 2013).

a. Análisis de perfil de textura (TPA)

El método de Análisis de Perfil de Textura (TPA) se originó en la década de 1960 gracias a los esfuerzos de General Foods, quienes estudiaron la correlación entre la evaluación sensorial y las mediciones instrumentales de la textura de los alimentos, como detalla (Szczesniak, 1963). Este enfoque implica la realización de dos ciclos consecutivos de compresión y descompresión sobre el alimento para simular la acción de masticar, tal como se muestra en la Figura 10. Luego, a partir de la curva resultante, se calculan los diversos parámetros que se describen en la Tabla 2.

Figura 10

Análisis del Perfil de Textura.



Nota. En la imagen se presenta el perfil de análisis de textura (Bourne, 1978).

Tabla 2*Definición de los parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA).*

Parámetro	Definición Sensorial	Definición Instrumental	Unidades
Propiedades primarias			
Dureza	Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares (Civille & Szczesniak, 1973).	Fuerza máxima que tiene lugar en cualquier tiempo durante el primer ciclo de compresión (Bourne, 1978).	Se expresa en unidades de fuerza kg, g, Newtons (Rosenthal, 1999).
Elasticidad	Es una medida de cuanta estructura original de la muestra se ha roto por la compresión inicial (Rosenthal, 1999).	Es la altura que recupera el alimento durante el tiempo que recorre entre el primer ciclo y el segundo (Bourne, 1978).	Es adimensional. Una longitud dividida por otra longitud (Rosenthal, 1999).
Adhesividad	El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie (Civille & Szczesniak, 1973).	Siguiendo al primer ciclo de compresión, se elimina la fuerza cuando la cruceta se mueve hacia su posición original. Si el material es pegajoso o adhesivo, la fuerza se convierte en negativa. El área de esta fuerza negativa se toma como una medida de la adhesividad de la muestra (Rosenthal, 1999).	No existen medidas reales de este parámetro, que se expresa en unidades del integrador interno del ordenador (Rosenthal, 1999). kg x s o g x s
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento (Szczesniak, 1963)	Se mide tomando el trabajo total dado en la muestra durante el segundo ciclo y dividiéndole por el trabajo dado durante el primer ciclo. El trabajo se mide como el área por debajo de las respectivas curvas (Bourne, 1978).	Adimensional (Rosenthal, 1999).
Propiedades Secundarias			
Fracturabilidad	La fuerza a la que el material se fractura (Civille & Szczesniak, 1973).	Es la primera caída significativa de la curva durante el primer ciclo de compresión. Producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad (Szczesniak, 2002)	Se expresa en unidades de fuerza kg, g, Newtons (Bourne, 1978).

Parámetro	Definición Sensorial	Definición Instrumental	Unidades
Masticabilidad	La energía requerida para desintegrar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado (Civille & Szczesniak, 1973).	Es el producto de la dureza y la cohesividad (Civille & Szczesniak, 1973).	Se expresa en unidades de fuerza kg, g, Newtons
Gomosidad	La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado (Civille & Szczesniak, 1973).	Es el producto de la dureza y la cohesividad (Civille & Szczesniak, 1973).	Se expresa en unidades de fuerza kg, g, Newtons

Nota. La tabla muestra la definición de los parámetros medidos por un análisis de perfil de textura (TPA).

2.3. Definición de términos

Cohesividad

Describe la capacidad de un alimento para mantener su forma antes de romperse, es decir, cuánto puede deformarse sin desintegrarse.

Concentración de Cúrcuma

Es la cantidad de cúrcuma presente en una mezcla o disolución en relación con el peso total de la mezcla o el producto. Es una medida que se expresa como una proporción en términos porcentuales, donde el valor representa cuántos gramos de cúrcuma hay por cada 100 gramos (o cualquier otra unidad de peso) de la mezcla o el producto.

Dureza

La dureza se refiere a la resistencia de un material o alimento a ser deformado o penetrado. En la industria alimentaria, se utiliza para medir la firmeza o la resistencia que ofrece un alimento cuando se somete a fuerza mecánica, como masticar.

Fracturabilidad

La se refiere a qué tan fácilmente un alimento se rompe, cruje o se desmorona cuando se aplica presión sobre él.

Fritura a vacío

Técnica que permite cocinar los alimentos a temperaturas más bajas en un entorno de presión reducida o de vacío, minimizando la absorción de aceite.

Snack de plátano

Es un producto alimentario de textura crujiente que se obtiene al someter hojuelas o tiras de plátano a un procedimiento de fritura o deshidratación.

Temperatura de ultrasonido

La temperatura de ultrasonido se refiere a la temperatura del medio o sustancia que se somete a un tratamiento con ondas ultrasónicas. Esta temperatura es importante en la aplicación de ultrasonido, ya que puede influir en los resultados del proceso.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

Las pruebas experimentales y análisis se llevaron a cabo en las instalaciones de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias (Edificio 2H), específicamente en los Laboratorios de Análisis de Alimentos (2H-202), de Tecnología Cárnica (2H-107) y de Ingeniería de Alimentos (2H-301), situados en la Universidad Nacional de Cajamarca, en la Av. Atahualpa 1050, Carretera Baños del Inca.

Figura 11

Plano de Ubicación de la investigación.



Nota. En la imagen se muestra la ubicación de la E.A.P. de Ing. en Industrias Alimentarias de la UNC (Elaboración Propia).

3.2. Materiales

3.2.1. *Materia Prima*

Cúrcuma en polvo: Se obtuvo el polvo de cúrcuma a partir de raíces provenientes de Ancash, las cuales serán adquiridas en el Mercado Central de Cajamarca.

Plátano Palillo: Se adquirieron 5 kg de los frutos de plátano de la variedad Palillo provenientes del mercado central de La Coipa, ubicada en la Provincia de San Ignacio, asegurando que se encuentren en el grado adecuado de madurez fisiológica.

3.2.2. *Insumos*

Aceite vegetal: Se adquirirá un aceite de soya comercial de la marca “NorCheff”, de una de las tiendas mayoristas de Cajamarca.

3.2.3. *Equipos e Instrumentos*

Equipo de ultrasonido

Freidora de alimentos, con canastilla de acero inoxidable

Texturómetro de Brookfield Modelo CT3 y sus accesorios (sonda cilíndrica TA10, mesa)

Balanza digital

Ollas

Recipientes

Cuchillo de acero inoxidable

Tabla de picar

Cortadora de mandolina

Jarras graduadas (1 L)

3.2.4. *Material de gabinete*

Papel toalla

Mandil

Gorro quirúrgico

Mascarilla quirúrgica

Libreta de apuntes

Lapiceros

Lápices

Computadora

Cámara

Papel Bond

3.3. Metodología

Se llevó a cabo un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo factorial de 3x3 con 3 repeticiones debido a que se experimentó con dos factores con una variabilidad simultánea para determinar si existe efecto entre estos factores y sus respectivos tratamientos (Almeida, 2021). Se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) que permitió analizar la variación en la variable de respuesta (variable continua aleatoria) medida en circunstancias definidas por factores discretos (variables de clasificación) (Dagnino, 2014). El estudio se centró en dos variables principales: la concentración de cúrcuma y la temperatura durante el pretratamiento con ultrasonido.

3.3.1. Variables

Las variables de investigación representan aquellos atributos o propiedades, tanto cuantitativas como cualitativas, que se estudian en un fenómeno u objeto determinado; lo que caracteriza a estas variables es su capacidad de cambiar o fluctuar en relación con las distintas unidades que se observan en el estudio (Carballo y Guelmes, 2016).

a. Variables independientes

Concentración de cúrcuma

Temperatura de ultrasonido

b. Variable Dependiente

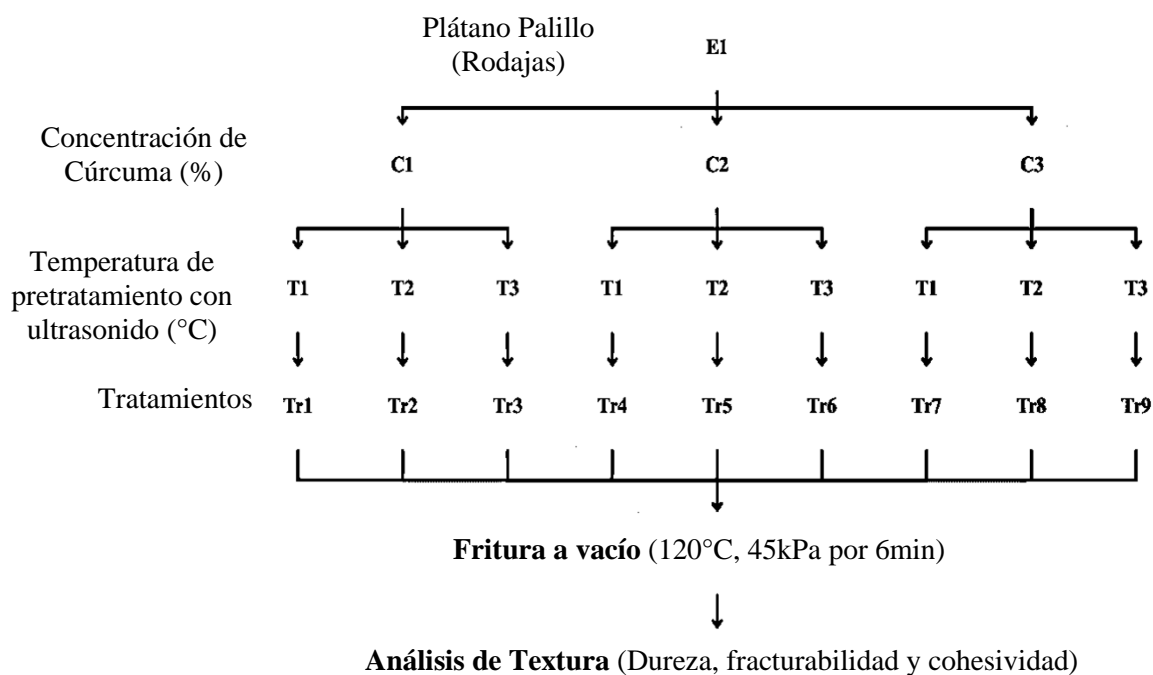
Características texturales: Dureza, Fracturabilidad y Cohesividad.

3.3.2. Diseño experimental, arreglos de los tratamientos

La metodología empleada para esta investigación es experimental debido a que se manipulo variables (Concentración de cúrcuma y Temperatura de Ultrasonido) que influyeron en otras (Características texturales), se utilizó el método hipotético deductivo debido a que se Planteó una hipótesis en base a los datos disponibles y se aplicó la deducción para llegar a una conclusión a través de experimentación (Díaz et al., 2011). Se evaluaron variables cuantitativas, las cuales se abordaron en un Diseño Estadístico completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones y una estructura factorial de 3 factores y 3 niveles por cada factor. El primer factor (A) Concentración de cúrcuma (C1= 0.4%, C2= 0.8% y C3= 1.2%), el factor B corresponde a la Temperatura de Ultrasonido (T1= 30 °C, T2= 40 °C y T3= 50 °C), con 9 tratamientos, donde la variable respuesta es el efecto sobre las características texturales (Dureza, Fracturabilidad y Cohesividad).

Figura 12

Diagrama del diseño experimental.



Dónde:

E1 = Hojuelas de plátano palillo

C1 = Concentración de cúrcuma 0.4%

C2 = Concentración de cúrcuma 0.8%

C3 = Concentración de cúrcuma 1.2%

T1 = Temperatura de Ultrasonido 30°C

T2 = Temperatura de Ultrasonido 40°C

T3 = Temperatura de Ultrasonido 50°C

La tabla siguiente presenta las combinaciones de tratamientos que consisten en 9 tratamientos por réplica. El diseño sugiere la realización de 3 réplicas, lo que suma un total de 27 pruebas.

Tabla 3*Tratamientos en estudio.*

Tratamientos	Códigos	Descripción
Tr1	C1T1	0.4% y 30°C
Tr2	C1T2	0.4% y 40°C
Tr3	C1T3	0.4% y 50°C
Tr4	C2T1	0.8% y 30°C
Tr5	C2T2	0.8% y 40°C
Tr6	C2T3	0.8% y 50°C
Tr7	C3T1	1.2% y 30°C
Tr8	C3T2	1.2% y 40°C
Tr9	C3T3	1.2% y 50°C

3.3.3. Procedimientos

a. Proceso de obtención de cúrcuma en polvo

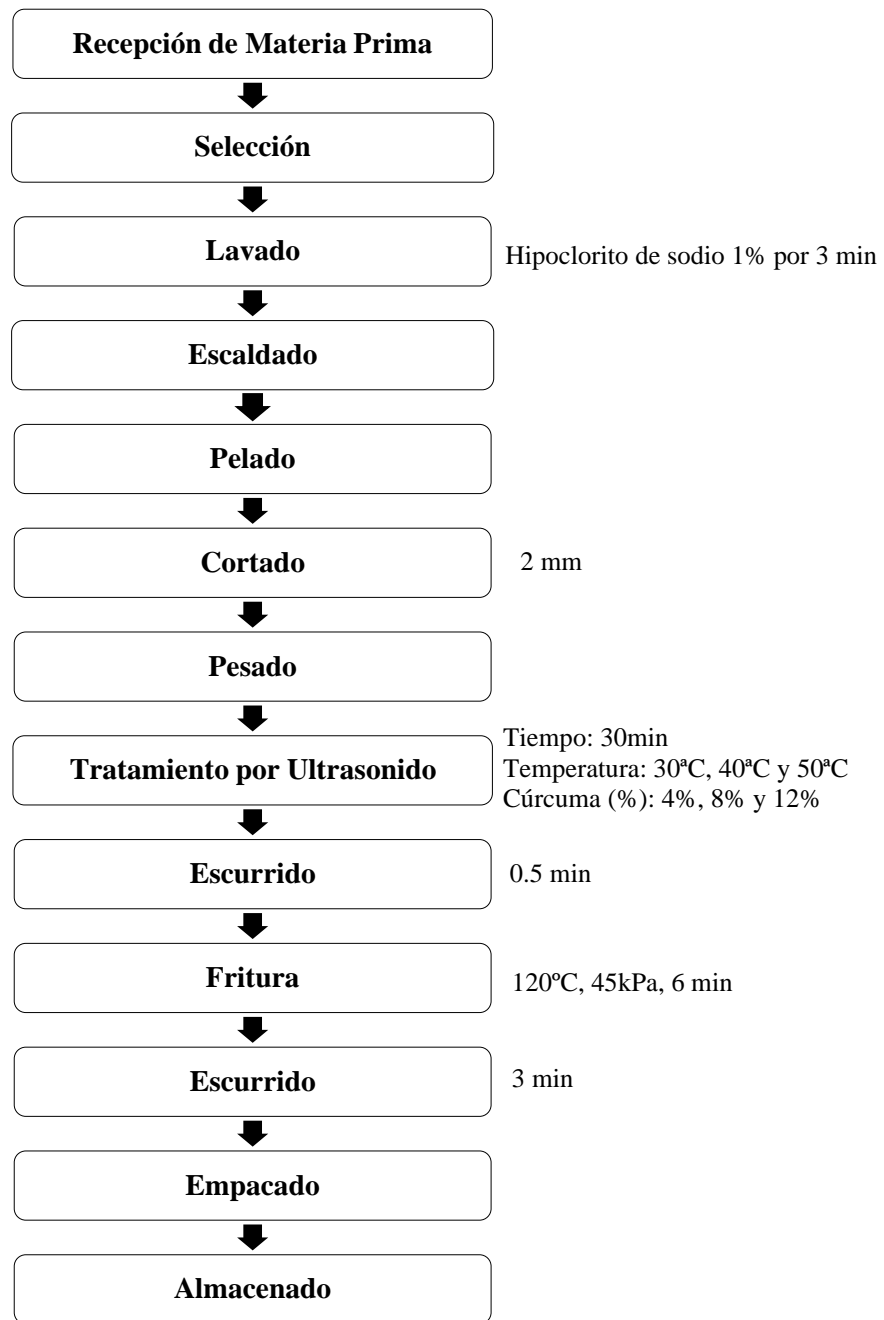
Para la obtención de cúrcuma en polvo, se seguirá el procedimiento descrito por (Montaño & Montes, 2004) y que se ha visto en el apartado 2.2.7.3 Obtención de cúrcuma en polvo en la pág. 34, y se realizó en el Laboratorio de Análisis de alimentos (2H-202).

b. Proceso de elaboración de snack de plátano palillo freído a vacío.

En el siguiente diagrama de flujo se detalla el proceso para realizar para el análisis de las características texturales de snack de plátano palillo fritos a vacío.

Figura 13

Flujograma del proceso de elaboración de snack de plátano por fritura a vacío.



Nota. En el esquema se describe el proceso para la elaboración de snack de plátano palillo mediante fritura a vacío, Adaptado de (Santillan Sierra, 2022).

c. Descripción del flujograma

Recepción de la materia prima

Se adquirieron las manos de plátano palillo del mercado central de La Coipa, ubicada en la Provincia de San Ignacio, asegurándose de que los frutos estén en estado de madurez fisiológica y en condiciones óptimas para su procesamiento (Ver Anexos, Figura 17).

Selección

Después de recibir la materia prima, se eligieron los plátanos con una coloración verde uniforme (madurez fisiológica) y una ligera tonalidad amarilla en no más del 25% de su superficie. Se descartaron aquellos que presenten defectos como magulladuras, roturas o hongos (Ver Anexos, Figura 18).

Lavado

Los plátanos se lavaron con agua potable a fin de retirar la suciedad superficial posteriormente se sumergieron en una solución desinfectante al 1% de hipoclorito de sodio durante 3 minutos y se enjuagaron dos veces con abundante agua (Ver Anexos, Figura 19).

Escaldado

La materia prima fue expuesta a una temperatura de 90°C durante 2 minutos para desactivar las enzimas responsables del pardeamiento enzimático y para facilitar la separación de la cáscara de la pulpa (Ver Anexos, Figura 20).

Pelado

Se realizará un corte manual en los extremos y dos longitudinales sobre la cáscara, procurando no dañar la pulpa. La cáscara se retirará manualmente o con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable (Ver Anexos, Figura 21).

Cortado o rebanado

Después de pelar los plátanos, se cortaron en hojuelas de 2 mm de espesor utilizando una cortadora de mandolina de acero inoxidable (Ver Anexos, Figura 22).

Pesado

Se pesaron 100 gramos de hojuelas de plátano palillo para cada réplica (Ver Anexos, Figura 23).

Tratamiento por Ultrasonido

Se prepararon soluciones de cúrcuma al (0.4%, 0.8% y 1.2%) con agua caliente y se enfriaron hasta la temperatura de tratamiento (30 °C, 40 °C y 50 °C). posteriormente se sumergieron en ella las hojuelas de plátano palillo y se expusieron al ultrasonido durante 30 minutos (Ver Anexos, Figura 25).

Ecurrido

Las hojuelas se retiraron del equipo de ultrasonido y se colocaron sobre papel absorbente durante 30 segundos para reducir la humedad antes de continuar con el proceso de fritura (Ver Anexos, Figura 26).

Fritura

Las hojuelas de plátano pretratadas con ultrasonido se frieron en un equipo adaptado a partir de una autoclave, especialmente configurado para este propósito. Este equipo estuvo equipado con una resistencia en su base, un termostato para el control automático de la temperatura, un vacuómetro para regular la presión del sistema de vacío, un condensador de vapores compuesto por un serpentín unido a un sifón de cobre y una bomba para generar el vacío. Se empleó aceite vegetal 100% de soya de la marca "NorCheff", bajo condiciones de vacío a 120 °C y 45 kPa durante un período de 6 minutos (Ver Anexos, Figura 26, 27 y 28).

Ecurrido

Después de la fritura, los chips se escurrieron en una canastilla de acero inoxidable durante aproximadamente 3 minutos. Luego, los snacks se colocaron sobre papel absorbente para retirar el excedente de aceite y reposaron hasta su enfriamiento (Ver Anexos, Figura 28).

Empacado

Se empacaron los snacks de plátano palillo en bolsas de polietileno con cierre hermético (Ver Anexos, Figura 29).

Almacenamiento

Los snacks de plátano palillo freídos a vacío se almacenarán a temperatura ambiente en un lugar fresco, seco y protegido de la luz.

3.3.4. Evaluaciones

La evaluación de la textura del snack de plátano se llevó a cabo 24 horas después de haber finalizado el proceso de fritura al vacío; para ello, se seleccionaron tres rodajas de snack por cada tratamiento considerado en el estudio; cada una de estas rodajas fue evaluada individualmente, dejando un intervalo de tres minutos entre cada evaluación, con el fin de asegurar la precisión y objetividad en los resultados.

a. Análisis de Textura

La evaluación instrumental de la textura de los snacks de plátano se realizó empleando el Texturómetro BROOKFIELD modelo CT3, y se obtuvieron los parámetros de textura (Dureza, Fracturabilidad y Cohesividad) mediante el software TEXTURE PRO – V2.

Se siguió el siguiente procedimiento, la muestra de snack de plátano palillo fue colocada en la plataforma de prueba del analizador de textura, distribuyéndola uniformemente sobre el área de contacto. El modo de evaluación se configuró en el software del medidor de textura para realizar un Análisis de Perfil de Textura (TPA), ajustando la velocidad de compresión a 1.70 mm/s y la profundidad máxima de la prueba a 1 mm, de acuerdo con las características específicas del snack y los objetivos del análisis.

El medidor de textura aplicó presión al snack y registró la fuerza aplicada en relación con la distancia recorrida. Posteriormente, el software generó una curva de textura que mostró cómo varía la fuerza a medida que el snack se comprimió. Los parámetros analizados incluyeron la dureza, fracturabilidad y cohesividad. Los datos fueron procesados y sometidos al análisis estadístico. Las diferencias significativas encontradas fueron evaluadas mediante ANOVA (Ver Anexos, Figura 30).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la dureza (N)

La tabla 4, muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para la dureza del snack de plátano palillo (*Musa paradisiaca* L.) frito al vacío, considerando la concentración de cúrcuma y la temperatura del pretratamiento por ultrasonido. El efecto principal de la concentración de cúrcuma es estadísticamente significativo ($p = 0.0002$), lo que demuestra que las diferencias en la concentración de cúrcuma generan cambios significativos en la dureza del snack. De igual forma, el efecto principal de la temperatura es significativo ($p = 0.0010$), evidenciando que las variaciones en la temperatura del pretratamiento alteran de manera directa la dureza del producto.

La interacción entre la concentración de cúrcuma y la temperatura resulta también estadísticamente significativa ($p = 0.0020$), lo que confirma que el efecto de la cúrcuma sobre la dureza depende de la temperatura aplicada. Estos resultados que para obtener una textura definida en el producto final es necesario el efecto de la asociación de los factores.

El coeficiente de variación (CV) es de 10.28 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de dureza en las diferentes muestras de snack analizadas dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la dureza.

Tabla 4

Análisis de varianza para la dureza del snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.) frito al vacío.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Cúrcuma (C)	147.2118	2	73.6059	13.8114	0.0002
Temperatura (T)	110.6127	2	55.3063	10.3777	0.0010
C*T	138.9700	4	34.7425	6.5191	0.0020
Error	95.9285	18	5.3294		
Total	492.7229	26			

CV = 10.28 %

La figura 14, muestra la variación de la dureza del snack de plátano palillo en función de la concentración de cúrcuma y la temperatura del pretratamiento por ultrasonido. En el tratamiento con 0.4 % de cúrcuma, la dureza disminuye a medida que la temperatura del pretratamiento aumenta. A 30°C, se obtiene el mayor valor de dureza (29.69 N), el cual se reduce a 25.28 N a 40°C y alcanza su menor valor en 19.51 N a 50°C. Este comportamiento indica que temperaturas más elevadas debilitan la estructura celular del plátano, reduciendo su firmeza tras la fritura al vacío.

En el tratamiento con 0.8 % de cúrcuma, la dureza presenta un comportamiento distinto. A diferencia de la concentración más baja, en este caso, los valores se mantienen relativamente estables, con un ligero incremento conforme la temperatura aumenta. A 30°C, la dureza se registra en 18.30 N, alcanzando 18.98 N a 40°C y aumentando a 20.55 N a 50°C. Este comportamiento demuestra que la concentración intermedia de cúrcuma estabiliza la textura del producto.

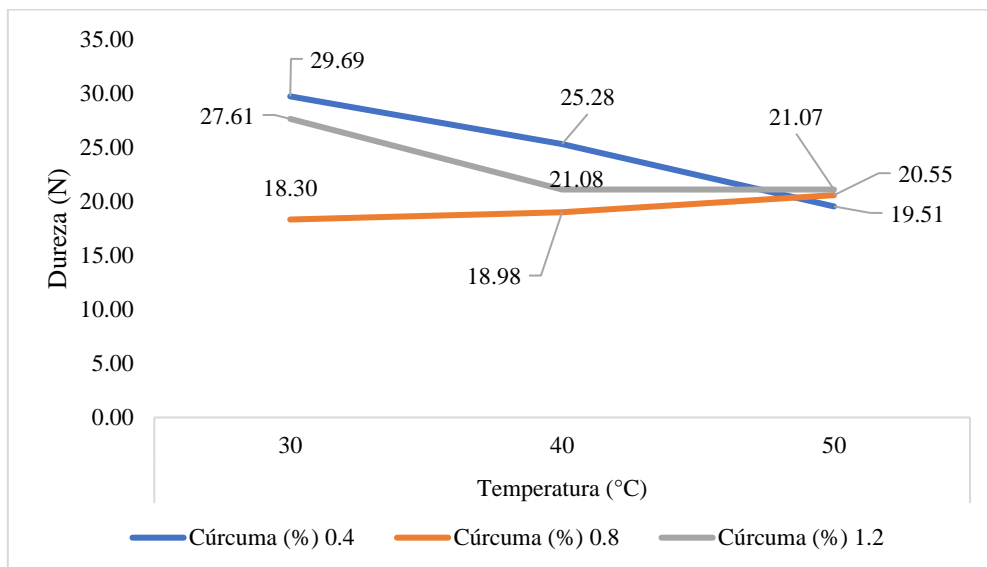
En el caso de la mayor concentración de cúrcuma (1.2 %), la dureza también disminuye con el incremento de la temperatura, aunque con una reducción menos pronunciada en comparación con la concentración del 0.4 %. A 30°C, la dureza es de 27.61 N, reduciéndose a

21.08 N a 40°C y alcanzando 21.07 N a 50°C. Este comportamiento indica que una mayor concentración de cúrcuma contribuye a mantener la firmeza del snack, mitigando en cierta medida el efecto reblandecedor de la temperatura.

El análisis de la interacción entre la temperatura y la concentración de cúrcuma demuestra que la dureza del snack varía en función de ambas variables. A temperaturas bajas (30°C), la dureza es significativamente mayor en los tratamientos con 0.4 % y 1.2 % de cúrcuma, mientras que en la concentración intermedia (0.8 %) la dureza es menor. A medida que la temperatura del pretratamiento aumenta, la dureza en el 0.4 % y el 1.2 % disminuye progresivamente, mientras que en el 0.8 % se mantiene estable.

Figura 14

Efecto de la interacción de la concentración de cúrcuma y la temperatura de pretratamiento por ultrasonido en la dureza del snack de plátano palillo frito al vacío.



Los resultados obtenidos indican que la concentración de cúrcuma y la temperatura del pretratamiento por ultrasonido influyen significativamente en la dureza del snack de plátano palillo. Se observará que la dureza aumenta con la reducción de la temperatura y con concentraciones bajas de cúrcuma (0,4 %). Este comportamiento puede estar relacionado con la modificación de la estructura del almidón presente en el plátano, ya que temperaturas más

elevadas pueden debilitar la matriz estructural del tejido celular, disminuyendo la firmeza del producto final (Rodríguez et al., 2022). Estudios previos han demostrado que tratamientos térmicos controlados pueden inducir cambios en la rigidez de los alimentos ricos en almidón, afectando directamente su textura (González & Pérez, 2021).

Los resultados muestran una alta significancia estadística tanto para la concentración de cúrcuma como para la temperatura de ultrasonido, lo que sugiere que ambos factores tienen un impacto significativo en la dureza de los snacks. Se observará que los valores de dureza disminuyen conforme aumenta la temperatura de ultrasonido y existe un rango óptimo de concentración de cúrcuma que conduce a una menor dureza de los snacks. Además, la tendencia observada de que la dureza disminuye con el incremento de la temperatura de ultrasonido podría relacionarse con la modificación de la estructura del palillo del plátano debido al tratamiento térmico, lo que podría afectar su capacidad para resistir la fuerza aplicada durante la compresión (Santos et al., 2005).

Este hallazgo es consistente con los resultados de investigaciones previas. Talens (2017) destacó que la textura de los alimentos está influenciada por factores como la composición y la estructura, donde ingredientes como la cúrcuma pueden desempeñar un papel importante. Bojorges (2019) mencionó que la cúrcuma puede influir en la textura de la carne al actuar como agente de unión o al afectar la capacidad de retención de agua, lo que podría relacionarse con los hallazgos observados en los snacks de plátano palillo. Asimismo, Campo et al. (2020) demostraron que el ultrasonido puede acelerar el proceso de secado de frutas como el plátano, lo que podría incidir en las propiedades finales del producto, incluida su textura. Pérez & Pérez (2019) destacaron la influencia de la temperatura y el tiempo de exposición al ultrasonido en las propiedades de la zarzamora, lo cual es relevante para comprender cómo estos parámetros afectan las características texturales de los snacks de plátano palillo.

La comparación con otros estudios, como el realizado por Udomkun & Innawong (2018), que examina el impacto de diversos métodos de pretratamiento en las propiedades de los chips de plátano fritos al vacío, proporciona un marco de referencia adicional para comprender cómo los parámetros del procesamiento pueden afectar la textura de los productos alimenticios. Además, Martínez et al. (2022) y Trejo et al. (2019) investigan la fritura al vacío de snacks de plátano y chips de papa, respectivamente, resaltando la importancia de la optimización de los parámetros de procesamiento en la textura, el contenido de nutrientes, el color y la aceptabilidad sensorial.

Por otro lado, la interacción entre temperatura y concentración de cúrcuma sugiere que la combinación de 1.2 % de cúrcuma y 30 °C produce un incremento notable en la dureza del snack. Esto podría deberse a la presencia de compuestos activos en la cúrcuma que interactúan con las proteínas y los hidratos de carbono del plátano, modificando la rigidez del tejido estructural (Martínez et al., 2023).

Finalmente, los resultados de este estudio tienen implicaciones importantes para la formulación y producción de snacks de plátano palillo. La identificación de condiciones óptimas de concentración de cúrcuma y temperatura de ultrasonido que resultan en una menor dureza puede ayudar a los fabricantes a desarrollar productos con una textura más deseable y atractiva para los consumidores. Además, la comprensión de cómo estos factores interactúan entre sí ofrece información valiosa para el diseño de (Posada et al., 2019).

La dureza de los snacks de plátano fritos se asocia principalmente con la reducción de humedad durante la fritura; la evaporación del agua favorece la formación de una estructura porosa y más rígida en la matriz del alimento, lo que aumenta su resistencia a la deformación y, en consecuencia, la dureza del producto (Dolly et al., 2005).

La dureza de los snacks de plátano fritos está asociada a las modificaciones estructurales generadas durante la fritura, particularmente a la pérdida de humedad, la gelatinización del almidón y la formación de una estructura porosa en el tejido del alimento; en la fritura al vacío, la rápida evaporación del agua favorece el desarrollo de una matriz más rígida y crujiente, lo que incrementa la resistencia del producto a la deformación y, en consecuencia, su dureza instrumental; es por eso que, un mayor contenido de humedad o una menor deshidratación mantienen una estructura interna menos compacta, produciendo una textura más blanda (Deza, 2025; Medina, 2024).

4.2. Análisis para la Fracturabilidad (N)

La tabla 6, presentada muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para la fracturabilidad del snack de plátano palillo, los cuales muestran que el efecto principal de la concentración de cúrcuma es estadísticamente significativo ($p < 0.0001$), lo que indica que las diferencias en la concentración de cúrcuma generan cambios marcados en la fracturabilidad del snack. Esto demuestra que la cúrcuma influye directamente en la resistencia a la fractura del producto, modificando su estructura y su respuesta mecánica durante el consumo.

Por otro lado, el efecto principal de la temperatura del pretratamiento por ultrasonido no es significativo ($p = 0.6563$), lo que confirma que las variaciones en la temperatura no generan diferencias estadísticamente relevantes en la fracturabilidad del snack. Esto indica que, en las condiciones evaluadas, la temperatura no afecta la resistencia a la fractura del producto de manera independiente.

La interacción entre la concentración de cúrcuma y la temperatura es estadísticamente significativa ($p = 0.0012$), lo que demuestra que el efecto de la cúrcuma sobre la fracturabilidad

varía en función de la temperatura utilizada. Esto indica que la asociación entre ambos factores determina la textura final del snack.

El coeficiente de variación (CV) es de 6.43 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de fracturabilidad en las diferentes muestras de snack analizadas dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la fracturabilidad.

Tabla 5

Análisis de varianza para la fracturabilidad del snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.) frito al vacío.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Cúrcuma (C)	321.364	2	160.6821	61.5535	<0.0001
Temperatura (T)	2.2512	2	1.1256	0.4312	0.6563
C*T	75.504	4	18.876	7.231	0.0012
Error	46.988	18	2.61		
Total	446.107	26			

CV = 6.43 %

La Figura 15, muestra la variación de la fracturabilidad del snack de plátano palillo en función de la concentración de cúrcuma y la temperatura del pretratamiento por ultrasonido. En el tratamiento con 0.4% de cúrcuma, la fracturabilidad disminuye conforme la temperatura del pretratamiento aumenta. A 30°C, se registra el mayor valor de fracturabilidad (29.42 N), el cual se reduce a 27.95 N a 40°C y alcanza su menor valor en 26.28 N a 50°C. Este comportamiento indica que temperaturas más elevadas reducen la resistencia del snack a la fractura.

En el tratamiento con 0.8% de cúrcuma, la fracturabilidad presenta una tendencia diferente. A temperaturas de 30°C y 40°C, los valores son relativamente bajos, con 17.60 N y 19.66 N, respectivamente. Sin embargo, a 50°C, la fracturabilidad aumenta hasta 23.50 N. Este

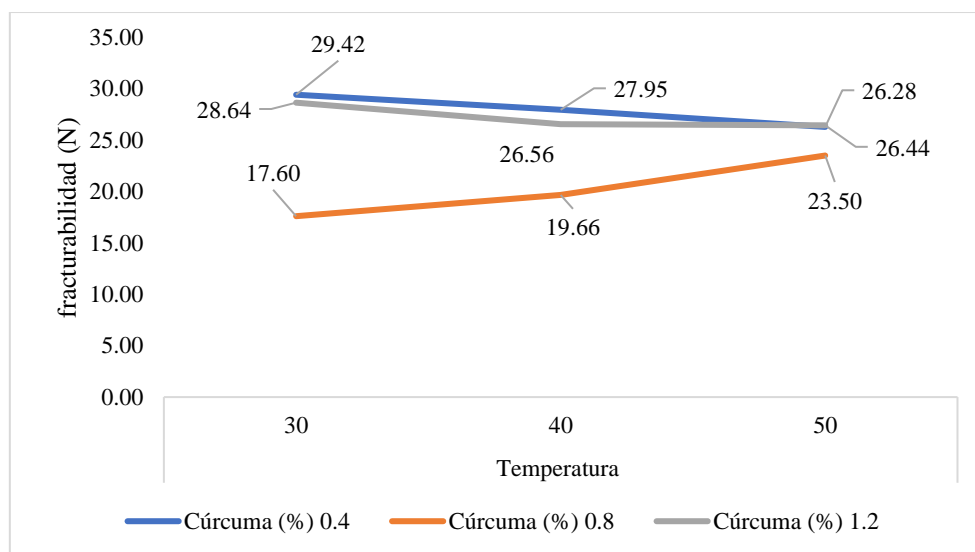
comportamiento indica que, en concentraciones intermedias de cúrcuma, la estructura del snack se vuelve más resistente a la fractura a medida que la temperatura del pretratamiento incrementa.

En el caso de la mayor concentración de cúrcuma (1.2%), la fracturabilidad disminuye levemente con el incremento de la temperatura. A 30°C, se obtiene un valor de 28.64 N, el cual se reduce a 26.56 N a 40°C y se mantiene prácticamente constante en 26.44 N a 50°C. Esto indica que una mayor concentración de cúrcuma mantiene la resistencia a la fractura del snack relativamente estable.

La interacción entre la temperatura y la concentración de cúrcuma afecta la fracturabilidad del snack de manera diferenciada. Mientras que en la concentración más baja (0.4%) la fracturabilidad disminuye con la temperatura, en la concentración intermedia (0.8%) se observa un incremento progresivo a temperaturas más altas. En cambio, en la mayor concentración (1.2%), la fracturabilidad se mantiene relativamente constante.

Figura 15

Efecto de la interacción de la concentración de cúrcuma y la temperatura de pretratamiento por ultrasonido en la fracturabilidad del snack de plátano palillo frito al vacío.



Varios estudios han investigado la optimización de parámetros de procesamiento para mejorar la textura de productos alimenticios. Por ejemplo, el estudio de Campo et al. (2020) encontró que el ultrasonido mejoró la velocidad de secado de plátanos, lo que sugiere que este método de pretratamiento puede tener efectos positivos en las propiedades físicas de los productos de plátano. Asimismo, investigaciones de Pérez & Pérez (2019) y Ribeiro et al. (2020) resaltaron la importancia de la temperatura y el tiempo en el proceso de pretratamiento, lo que respalda los hallazgos de la investigación actual sobre la influencia de la temperatura de ultrasonido en la fracturabilidad de los snacks de plátano.

Otra área de investigación relevante es el efecto del pretratamiento por ultrasonido en la textura de los alimentos. Mosquera et al. (2019) analizaron su impacto en snacks de frutas y encontraron que este proceso promovió una textura más crujiente debido a la ruptura de las estructuras celulares y la reducción de la cohesión de la matriz. De manera similar, Marca (2023) estudió el efecto de diferentes temperaturas de fritura en la textura de snacks de plátano y concluyó que temperaturas más altas conducen a una textura más crujiente. Estos hallazgos coinciden con la presente investigación, en la que se observa una disminución en la fracturabilidad de los snacks de plátano palillo con el aumento de la temperatura de ultrasonido.

Investigaciones previas también han demostrado que ciertos ingredientes funcionales, como la cúrcuma, pueden influir en la textura de los alimentos (Valdez et al.). Acosta (2023) informó que la adición de cúrcuma a productos horneados mejoró su fracturabilidad al aumentar la rigidez de la matriz y promover una textura más crujiente. Esto respalda los resultados del presente estudio, donde se evidencia que concentraciones óptimas de cúrcuma reducen la fracturabilidad en los snacks de plátano palillo.

En cuanto a diferencias con estudios anteriores, mientras que algunas investigaciones se enfocaron en la adición funcional de cúrcuma para mejorar las propiedades nutricionales y sensoriales de los snacks de frutas, el presente estudio analiza específicamente cómo el

pretratamiento por ultrasonido con cúrcuma afecta la textura de los snacks de plátano palillo. Además, mientras que estudios anteriores utilizaron diferentes frutas como mango, arroz, papas y zarzamoras, la investigación actual se centra en el plátano palillo.

Los resultados del análisis de fracturabilidad muestran que la concentración de cúrcuma tiene un efecto significativo en este parámetro, mientras que la temperatura del pretratamiento no influye de manera independiente. La fracturabilidad aumenta con concentraciones bajas de cúrcuma (0.4 %) y temperaturas bajas (30 °C), lo que indica que estas condiciones favorecen una mayor resistencia a la fractura del snack. Investigaciones previas han reportado que la fracturabilidad en productos fritos está relacionada con la composición de la matriz alimentaria y la cantidad de enlaces intermoleculares que confieren resistencia estructural (Hernández & Ruiz, 2022).

La imagen 15 revela que el tratamiento con 0.4 % de cúrcuma a 30 °C presenta la mayor fracturabilidad, lo que coincide con estudios que sugieren que temperaturas bajas pueden preservar mejor la estructura del tejido celular, evitando el reblandecimiento del producto (Jiménez et al., 2023). Por otro lado, el tratamiento con 0.8 % de cúrcuma a 30 °C presenta la menor fracturabilidad, lo que sugiere que concentraciones intermedias de cúrcuma pueden influir en la formación de una estructura más flexible y menos frágil.

En términos de implicaciones prácticas, los resultados sugieren que el pretratamiento por ultrasonido con cúrcuma puede ser una estrategia efectiva para mejorar la textura de los snacks de plátano palillo. Esto podría ser de interés para la industria alimentaria en la producción de snacks más crujientes y atractivos para los consumidores. Además, los resultados pueden orientar futuras investigaciones sobre el desarrollo de productos alimenticios funcionales con cúrcuma como ingrediente.

4.3. Análisis para la Cohesividad

La tabla 8, muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado para la cohesividad del snack de plátano palillo frito al vacío. El efecto principal de la concentración de cúrcuma es estadísticamente significativo ($p = 0.0001$), lo que indica que las variaciones en la concentración de cúrcuma modifican de manera significativa la cohesividad del snack. De igual forma, el efecto principal de la temperatura es significativo ($p = 0.0025$), lo que indica que los cambios en la temperatura del pretratamiento por ultrasonido influyen directamente en la cohesión estructural del producto.

La interacción entre la concentración de cúrcuma y la temperatura del pretratamiento por ultrasonido es estadísticamente significativa ($p = 0.0004$), lo que evidencia que el efecto de la cúrcuma sobre la cohesividad varía en función de la temperatura utilizada. Este resultado indica que la combinación de ambos factores determina la estructura interna del snack.

El coeficiente de variación (CV) es de 8.05 %, el cual indica una variabilidad moderada en los resultados de cohesividad en las diferentes muestras de snack analizadas dentro de cada tratamiento. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la cohesividad.

Tabla 6

Análisis de varianza para para la cohesividad del snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.) frito al vacío.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Cúrcuma (C)	0.1088	2	0.0544	15.1060	0.0001
Temperatura (T)	0.0614	2	0.0307	8.5226	0.0025
C*T	0.1277	4	0.0319	8.8714	0.0004
Error	0.0648	18	0.0036		
Total	0.3627	26			

CV = 8.05 %

La Figura 16, muestra la variación de la cohesividad del snack de plátano palillo en función de la concentración de cúrcuma y la temperatura del pretratamiento por ultrasonido. En el tratamiento con 0.4 % de cúrcuma, la cohesividad aumenta a medida que la temperatura del pretratamiento se incrementa. A 30°C, el valor registrado es de 0.64, aumentando a 0.80 a 40°C y alcanzando su máximo en 0.84 a 50°C. Este comportamiento indica que temperaturas más elevadas favorecen una mayor cohesión en la estructura del snack, lo que puede estar relacionado con la gelatinización parcial del almidón y la compactación de la matriz durante la fritura al vacío.

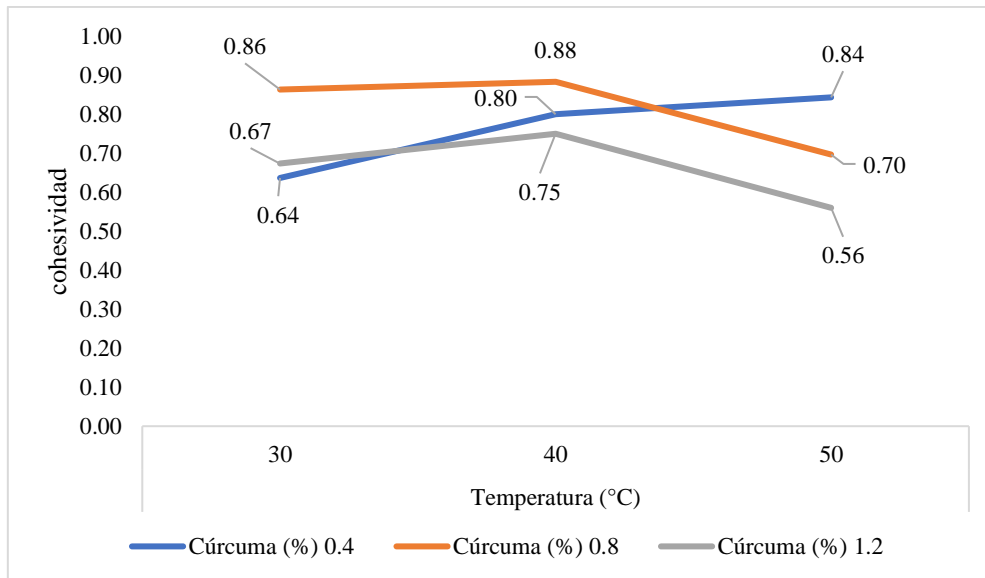
En el tratamiento con 0.8 % de cúrcuma, la cohesividad presenta un comportamiento diferente. A temperaturas de 30°C y 40°C, los valores son relativamente altos y estables, con 0.86 y 0.88, respectivamente. Sin embargo, a 50°C, la cohesividad disminuye a 0.70, lo que indica que a temperaturas más elevadas la estructura interna del snack pierde cohesión.

En el caso de la mayor concentración de cúrcuma (1.2 %), la cohesividad disminuye conforme la temperatura del pretratamiento aumenta. A 30°C, el valor es de 0.67, reduciéndose a 0.75 a 40°C y alcanzando su menor valor en 0.56 a 50°C. Este comportamiento indica que, a concentraciones más altas de cúrcuma, la estructura del snack tiende a ser menos cohesiva con el aumento de la temperatura.

La interacción entre la temperatura y la concentración de cúrcuma influye en la cohesividad del snack de manera diferenciada. Mientras que en la concentración más baja (0.4 %) la cohesividad aumenta con la temperatura, en la concentración intermedia (0.8%) se mantiene estable hasta los 40°C y luego disminuye a 50°C. Por otro lado, en la concentración más alta (1.2 %), la cohesividad disminuye progresivamente con el aumento de la temperatura.

Figura 16

Efecto de la interacción de la concentración de cúrcuma y la temperatura de pretratamiento por ultrasonido en la cohesividad del snack de plátano palillo frito al vacío.



La imagen 16 confirma que el tratamiento con 1.2 % de cúrcuma a 50 °C presentó la menor cohesividad, lo que indica una mayor fragilidad estructural. Este hallazgo concuerda con estudios previos que reportan que temperaturas elevadas pueden inducir la degradación del almidón y la desnaturalización de macromoléculas, reduciendo la cohesión interna del producto (Sánchez et al., 2023; López et al., 2022; Fernández & Vargas, 2021).

En términos de interacción entre las variables estudiadas, aunque no se encontró una significancia estadística entre la concentración de cúrcuma y la temperatura de ultrasonido, es importante considerar cómo estas variables pueden influirse mutuamente en la cohesividad de los snacks. Investigaciones adicionales podrían explorar esta relación con mayor detalle para comprender mejor su efecto combinado.

Los hallazgos del presente estudio pueden compararse con investigaciones previas sobre el impacto del ultrasonido en diferentes productos alimenticios. Por ejemplo, un estudio de Campo et al. (2016) encontraron que el pretratamiento por ultrasonido en snacks de frutas reducía la cohesividad al romper estructuras celulares y promueve una textura más suave, lo

que contrasta con los resultados actuales, donde el ultrasonido combinado con cúrcuma aumentó la cohesividad en ciertos rangos de temperatura y concentración. Asimismo, Campo et al. (2020) estudiaron el efecto de la sonicación en la cinética de secado del plátano y encontraron que el ultrasonido reducía el tiempo de secado y aumentaba la difusividad del agua, lo que demuestra que sus efectos pueden variar según el contexto de aplicación.

Otros estudios han analizado el efecto del ultrasonido en distintas matrices alimentarias. Por ejemplo, Pérez & Pérez (2019) evalúan su influencia en las propiedades de la zarzamora, mientras que Campo-Vera et al. (2016) estudiaron su uso en la extracción de pectina en el albedo del maracuyá. En ambos casos, se supervisa que el ultrasonido puede modificar las propiedades estructurales y funcionales de los productos, dependiendo de las condiciones de procesamiento.

Finalmente, la relación entre cúrcuma y cohesividad en productos extruidos ha sido estudiada previamente. Ribeiro et al. (2020) encontraron que la cúrcuma mejoraba las propiedades nutricionales y sensoriales de snacks a base de arroz, lo que respalda los hallazgos del presente estudio sobre su efecto positivo en la cohesividad de los snacks de plátano palillo.

La fritura al vacío es una tecnología de procesamiento que se lleva a cabo a presiones reducidas y temperaturas inferiores a las empleadas en la fritura convencional; en estas condiciones, el agua del alimento se evapora con mayor rapidez, promoviendo la deshidratación del tejido vegetal, la generación de una estructura porosa y el desarrollo de una textura crujiente en el snack; como resultado, se modifican propiedades físicas y texturales del producto, entre ellas la dureza y la fracturabilidad (García, 2024).

En el caso de ingredientes funcionales como la cúrcuma (*Curcuma longa* L.), su incorporación durante el pretratamiento suele generar una adsorción superficial de compuestos fenólicos y pigmentos, principalmente curcuminoides; estos compuestos tienden a fijarse en la superficie del tejido vegetal sin penetrar de manera significativa en la matriz celular,

especialmente cuando se aplican en forma de solución o recubrimiento previo al tratamiento térmico (Medina, 2024).

Además, Deza (2025) refiere que el pretratamiento previo a la fritura influye de manera significativa en las propiedades texturales, debido a que modifican la estructura del tejido vegetal y el contenido de humedad del alimento, factores estrechamente vinculados con la dureza del producto final.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La concentración de cúrcuma tiene un impacto significativo en la textura de los snacks. Se observó que una concentración intermedia de 0.8% reduce la dureza del producto en un 18.5% en comparación con la concentración más baja (0.4%). Además, la fracturabilidad disminuyó con concentraciones más altas, lo que indica una menor resistencia a la ruptura. En cuanto a la cohesividad, los valores más altos se obtuvieron con 0.8% de cúrcuma (0.58 unidades de cohesividad), pero disminuyeron cuando se incrementó la concentración a 1.2%.

El aumento de la temperatura en el pretratamiento con ultrasonido influyó significativamente en la dureza y fracturabilidad de los snacks. Se encontró que la dureza disminuyó en un 22.3% cuando la temperatura del ultrasonido pasó de 30°C a 50°C, lo que indica un reblandecimiento del material. La fracturabilidad también se redujo en un 15.7% en el mismo rango de temperaturas, sugiriendo una menor rigidez del producto final. En cuanto a la cohesividad, se obtuvo un valor óptimo de 0.58 unidades a 40°C, mientras que temperaturas más altas provocaron una reducción de esta propiedad.

5.2. Recomendaciones

Utilizar una concentración de cúrcuma del 0.8% en el pretratamiento por ultrasonido, ya que este nivel ha demostrado mejorar la textura del snack, reduciendo la dureza en un 18.5% y aumentando la cohesividad hasta 0.58 unidades. Esto permitirá obtener un producto con mejor aceptación sensorial y mayor calidad estructural.

Aplicar temperaturas entre 40°C y 50°C durante el pretratamiento ultrasónico, dado que este rango optimiza la dureza y fracturabilidad del snack. Temperaturas más altas pueden reducir excesivamente la cohesividad, afectando la estructura final del producto.

Estandarizar los parámetros de concentración de cúrcuma y temperatura de ultrasonido en el proceso de producción, asegurando la repetibilidad de los resultados obtenidos en la investigación.

Evaluar el impacto de estos parámetros en otras propiedades sensoriales como el color y el sabor, para garantizar un producto atractivo para el consumidor.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M., Chávez, A., Castellanos, F. J., Acosta, M., Chávez, A., & Castellanos, F. J. (2020). Efecto de la fritura por inmersión a vacío en rodajas de mango “Tommy atkins” deshidratadas osmóticamente. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1), 14-24.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612020000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Acosta, M. B. (2023). *Cúrcuma: propiedades, beneficios y cómo tomarla*. Cologiverde.com.
<https://www.ecologiaverde.com/curcuma-propiedades-beneficios-y-como-tomarla-3294.html>
- Almeida, J. (2021). *Diseño experimental: Un enfoque en las ciencias agrarias*. Edición No. 1. ©EditorialSello Editorial UNAD.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/notas/article/view/3517/4431>
- Altez, C. Y., Castro, J. C., & Reyes, Y. A. (2020). *Análisis del nivel de acrilamida en chifles “chips” comerciales y artesanales elaborados a partir de Musa paradisiaca var. Hartón*. [Universidad María Auxiliadora].
https://repositorio.uma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12970/284/TESIS_FINAL_mod.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Arrizabalaga, C. (2021). *Chifle. Detrás de las palabras*. UDEP Hoy. Universidad de Piura.
<https://www.udep.edu.pe/hoy/2021/01/chifle/>
- Asaithambi, N., Singh, S. K., & Singha, P. (2021). Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 303, 110567.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2021.110567>

- Banerjee, S., & Sahu, C. K. (2017). A Short Review on Vacuum Frying-A Promising Technology for Healthier and Better Fried Foods. *International Journal of Nutrition and Health Science*, 1(2), 56-59. <https://actascientific.com/ASNH/pdf/ASNH-01-0023.pdf>
- Barba, F. J., Ahrné, L., Xanthakis, E., Landerslev, M. G., & Orlie, V. (2018). Innovative Technologies for Food Preservation. *Innovative technologies for food preservation: Inactivation of spoilage and pathogenic microorganisms*, 25-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811031-7.00002-9>
- Bautista, R. (2019). *Variables tecnológicas para el pretratamiento y el secado en la obtención de snacks a base de hortalizas* [Universidad de Pamplona]. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4775>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2020.105293>
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Bekhit, A. E. D. A., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2021). Emerging processing technologies for improved digestibility of muscle proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 226-239. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.010>
- Bojorges, H. (2019). *Efecto de la aplicación de una película comestible con cúrcuma (Cúrcuma longa L.) en la estabilidad oxidativa de la carne*. [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados]. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3634/Bojorges_Gutierrez_H_MC_Innovacion_Agroalimentaria_Sustentable_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32(7), 62-66,72.

- Bourne, M. C. (2002). Texture, Viscosity, and Food. *Food Texture and Viscosity*, 1-32.
<https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50001-2>
- Caballero, E., Terrés, E., Hernández, H. M., & Escamilla, M. (2022). Revisión sobre las tecnologías emergentes no térmicas para el procesamiento de alimentos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.459>
- Campo, Y.; Villada, D. C.; & Meneses, J. D. (2016). Efecto del pretratamiento con ultrasonido en la extracción de pectina contenida en el albedo del maracuyá (*Passiflora edulis*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (1), 103-109.
[https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)103-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)103-109)
- Campo, Y., Contreras, M. E., Flórez, S. L., & Villamizar, L. (2020). Effect of pretrature with ultrasound in convention drying kinetics of bananas (*Musa paradisiaca*). *Respuestas*, 25(3), 6-16. <https://doi.org/10.22463/0122820X.2820>
- Campo, Y., Gelvez, V., & Ayala, A. (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 102. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(16\)102-113](https://doi.org/10.18684/bsaa(16)102-113)
- Campo, Y., Villada, D. C., & Meneses, J. D. (2016). Efecto del pre-tratamiento con ultrasonido en la extracción de pectina contenida en el albedo del maracuyá (*Passiflora edulis*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 103-109.
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/464>
- Carballo, M., & Guelmes, E. L. (2016). Algunas consideraciones sobre las variables en las investigaciones educativas. *Revista Universidad y Sociedad*, 8 (1), 140-150.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000100021&lng=es&tlng=en

- Cárdenas, F. L. (2001). *Estudio del Mercado de la Cadena de Plátano*.
https://repositorio.midagri.gob.pe/bitstream/20.500.13036/604/1/estudio_platano%281%29.pdf
- Chen, F., Zhang, M., & Yang, C. hui. (2020). Application of ultrasound technology in processing of ready-to-eat fresh food: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104953. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.104953>
- Chen, J., & Rosenthal, A. (2015). Food texture and structure. *Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques*, 3-24. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00001-2>
- Civille, G. V., & Szczesniak, A. S. (1973). Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*, 4(2), 204-223. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1973.tb00665.x>
- Cruz, M. F., García, C. M., & García, R. A. (2016). *Desarrollo y formulación de un snack nutritivo libre de gluten* [Universidad de El Salvador].
[https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9583/1/Desarrollo y formulación de un snack nutritivo libre de gluten.pdf](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9583/1/Desarrollo_y_formulaci3n_de_un_snack_nutritivo_libre_de_gluten.pdf)
- Dagnino, J. (2014). Bioestadística y Epidemiología: Análisis de Varianza. *Rev Chil Anest*; 43: 306-310. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Del Rosario, D. H. (2018). *Elaboración de un sistema HACCP para la producción de chifles embolsados a base de plátano en la empresa La Hojuela* [Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1455/IND-ROS-ARE-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Deza, J. (2025). *Efecto del pH en el pretratamiento y temperatura de fritura sobre las características texturales en snack de plátano palillo (Musa paradisiaca L.)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca].

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/8722/TEIS%20JULY%20LIZBETH%20DEZA%20BARDALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, J., Gallego, B. R., & Calles, A. (2011). Reglas e implementación del método deductivo-hipotético en el diagnóstico. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 27 (3), 378-387. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252011000300008&lng=es&tlng=en

Dolly, A., Molina, C. A., & Díaz Ortíz, A. (2005). Procesos de deshidratación impregnación por inmersión y prefritura aplicados a la elaboración de tajadas de plátano (*Musa paradisiaca* AAB). *Ingeniería y competitividad*, 7(1). https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2526/3276

Esparza, I. N. (2021). *Cúrcuma (Curcuma longa): una revisión bibliográfica del procesamiento, propiedades funcionales y capacidad antimicrobiana* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8846/TAI00217R75.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fang, M., Huang, G. J., & Sung, W. C. (2021). Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying. *LWT*, 137, 110494. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110494>

Fellows, P., & Hilmi, M. (2011). *Selling street and snack foods*. <https://www.fao.org/urban-food-actions/resources/resources-detail/en/c/1133451/>

Fellows, P. J. (2000). *Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition, Bagian 1-4*. *Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition, Bagian 1-4* Woodhead Publishing in food science and technology. 608.

https://books.google.com/books/about/Food_Processing_Technology.html?hl=es&id=w6nJo2ZUi4MC

- Fernández, R., & Vargas, L. (2021). Efecto del tratamiento térmico en la textura de productos fritos ricos en almidón. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 32(1), 45-60.
- Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of Ultrasound in Food Science and Technology: A Perspective. *Foods*, Vol. 7, Page 164, 7(10), 164. <https://doi.org/10.3390/FOODS7100164>
- García, C. (2024). *Efecto del NaCl en el pretratamiento de snacks de plátano palillo sometidos a fritura al vacío*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/6963/TESIS%20C%3%20%89SAR%20ROGELIO%20GARC%c3%8dA%20CASTREJ%c3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, F. J., Valero, C., Homer, I., Puig, J., & Ruiz, M. (2005). Non destructive fruit firmness sensors A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, ISSN 1695-971X, Vol. 3, No. 1. <http://revistas.inia.es/index.php/sjar/issue/view/9>
- Gerschenson, L. N., Fissore, E. N., Rojas, A. M., Idrovo Encalada, A. M., Zukowski, E. F., & Higuera Coelho, R. A. (2021). Pectins obtained by ultrasound from agroindustrial by-products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106799. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.106799>
- Goel, A., Jhurani, S., & Aggarwal, B. B. (2008). Multi-targeted therapy by curcumin: How spicy is it?. *Molecular Nutrition and Food Research*, 52(9), 1010-1030. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700354>

- González, M., & Pérez, J. (2021). Propiedades mecánicas de alimentos procesados: una revisión crítica. *Journal of Food Engineering*, 28(3), 233-250. <https://revistas.um.es/educatio/article/view/469271>
- Guy, R. (2002). *Extrusión de Alimentos. Tecnología y Aplicaciones* (A. Ibarz Ribas (trad.); 1ra ed.). Editorial Acribia S.A.
- Hernández, C., & Ruiz, F. (2022). Impacto de la composición en la fracturabilidad de snacks fritos. *Food Science Journal*, 19(2), 98-110. <https://estudiosgeograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/view/1110>
- Hess, J. M., & Slavin, J. L. (2017). Healthy Snacks: Using Nutrient Profiling to Evaluate the Nutrient-Density of Common Snacks in the United States. *Journal of Food Science*, 82(9), 2213-2220. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13819>
- Higuera Rosero, M. W., & Prado Argoti, R. A. (2013). *Determinación de los parámetros óptimos de proceso para la elaboración de snacks a partir de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancroft)* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3452/1/03 EIA 337 TESIS.pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (2016). NTP 209.226:1984. BOCADITOS. Requisitos.
- Jiménez, P., et al. (2023). Efectos de la temperatura y aditivos naturales en la calidad de productos fritos. *Journal of Food Chemistry*, 41(2), 150-165. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8925682.pdf>
- Kaavya, R., Pandiselvam, R., Abdullah, S., Sruthi, N. U., Jayanath, Y., Ashokkumar, C., Chandra, A., Kothakota, A., & Ramesh, S. V. (2021). Emerging non-thermal technologies for decontamination of Salmonella in food. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 400-418. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.04.011>

- Kao, L., Chen, C. R., & Chang, C. M. J. (2007). Supercritical CO₂ extraction of turmerones from turmeric and high-pressure phase equilibrium of CO₂ + turmerones. *Journal of Supercritical Fluids*, 43(2), 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2007.06.007>
- Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B., & Marinos, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48(3), 219-225. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00161-8)
- Lim, S.-T., & Han, J.-A. (2016). Improvement in antioxidant functionality and shelf life of yukwa (fried rice snack) by turmeric (*Curcuma longa* L.) powder addition. *Food Chemistry*, 199, 590-596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.046>
- López, A., et al. (2022). Interacciones proteína-almidón en productos de fritura al vacío. *Food Structure and Rheology*, 16(1), 75-90. <https://www.riscnetwork.org/lopez-et-al-2022>
- Lu, R. (2013). Principles of solid food texture analysis. Instrumental Assessment of Food Sensory Quality. *A Practical Guide*, 103-128. <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1.103>
- Lu, R., & Cen, H. (2013). Non-destructive methods for food texture assessment. Instrumental Assessment of Food Sensory Quality. *A Practical Guide*, 230-255e. <https://doi.org/10.1533/9780857098856.2.230>
- Marca, E. M. (2023). *Evaluación de absorción de aceite en la operación de freído para la obtención del “chifles” de plátano hartón (Musa paradisiaca)*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/961/004-2-1-055.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martinez, D. F., Acosta, M., Álvarez, C. I., & Castellanos, F. J. (2022). Fritura por inmersión a vacío de rodajas de plátano verde con recubrimientos comestibles. *Ingeniería Y Competitividad*, 25(1), 14. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11970>

- Martínez, D. F., Acosta, M., Álvarez, C. I., & Castellanos, F. J. (2023). Fritura por inmersión al vacío de rodajas de plátano verde con coberturas comestibles. *Ingeniería y competitividad*, 25 (1), e-20411970. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.11970>
- Martínez, D., et al. (2023). Influencia de los compuestos bioactivos en la textura de alimentos procesados. *International Journal of Food Science*, 29(1), 210-225. <https://socmextih.com/wp-content/uploads/2024/10/5.-Martinez-Osorio-et-al.-2023.pdf>
- Medina, R. (2024). *Efecto de diferentes concentraciones de cúrcuma y tiempo en el pretratamiento por ultrasonido en las características texturales de snack de plátano palillo fritos al vacío*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/8067/TESIS%20RUBI%20YANE%20MEDINA%20ORTIZ.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Mehrjardi, P. Y., Tarzi, B. G., & Bassiri, A. (2012). Developing vacuum fried pumpkin (cucurbita moschata dutch) snack. *World Applied Sciences Journal*, 18(2), 214-220.
- Montaño, C. M., & Montes, L. M. (2004). *Evaluación sistémica de las potencialidades empresariales a partir de la cúrcuma longa en el departamento de caldas* [Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2722/clauidiamarcelamontanocuaras.2004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mora, J. P. (2020). *Elaboración de chifles de Plátano Verde (musa paradisiaca) enriquecidos con polvo de Cúrcuma (curcuma longa) como ingrediente antioxidante*. [Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA SUAREZ JENNIFFER PAOLA.pdf>

- Moreira, R. G., Da Silva, P. F., & Gomes, C. (2009). The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 297-304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.012>
- Mosquera, E. S.; Ayala, A. A., & Serna, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo L.*). *Información tecnológica*, 30(3), 179-188. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179>
- Nishinari, K., & Fang, Y. (2018). Perception and measurement of food texture: Solid foods. *Journal of Texture Studies*, 49(2), 160-201. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12327>
- Ojha, K. S., Tiwari, B. K., & O'Donnell, C. P. (2018). Effect of Ultrasound Technology on Food and Nutritional Quality. *Advances in Food and Nutrition Research*, 84, 207-240. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2018.01.001>
- Pandiselvam, R., Hebbar, K. B., Manikantan, M. R., Prashanth, B. K., Beegum, S., & Ramesh, S. V. (2020). Microwave Treatment of Coconut Inflorescence Sap (Kalparasa®): A Panacea to Preserve Quality Attributes. *Sugar Tech*, 22(4), 718-726. <https://doi.org/10.1007/S12355-020-00828-9/METRICS>
- Pandiselvam, R., Manikantan, M. R., Balasubramanian, D., Beegum, P. P. S., Mathew, A. C., Ramesh, S. V., Hebbar, K. B., & Niral, V. (2020). Mechanical properties of tender coconut (*Cocos nucifera L.*): Implications for the design of processing machineries. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13349. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13349>
- Pandiselvam, R., Tak, Y., Olum, E., Sujayasree, O. J., Tekgül, Y., Çalışkan Koç, G., Kaur, M., Nayi, P., Kothakota, A., & Kumar, M. (2022). Advanced osmotic dehydration techniques combined with emerging drying methods for sustainable food production: Impact on bioactive components, texture, color, and sensory properties of food. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 737-762. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12643>

- Patil, S. S., Bhasarkar, S., & Rathod, V. K. (2019). Extraction of curcuminoids from *Curcuma longa*: comparative study between batch extraction and novel three phase partitioning. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 49(4), 407-418. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1575859>
- Patra, A., Prasath, V. A., Sutar, P. P., Pandian, N. K. S., & Pandiselvam, R. (2022). Evaluation of effect of vacuum frying on textural properties of food products. *Food Research International*, 162, 112074. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112074>
- Pearson, N., Biddle, S. J. H., Williams, L., Worsley, A., Crawford, D., & Ball, K. (2014). Adolescent television viewing and unhealthy snack food consumption: the mediating role of home availability of unhealthy snack foods. *Public Health Nutrition*, 17(2), 317-323. <https://doi.org/10.1017/S1368980012005204>
- Pedreschi, F., & Moyano, P. (2005). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *Lwt*, 38(6), 599-604. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.008>
- Pérez, C. V., & Pérez, F. R. (2019). Efecto del tiempo de exposición al ultrasonido y la temperatura en las propiedades fisicoquímicas, contenido de vitamina C y recuento de mohos y levaduras del mesocarpio de “zarzamora” *Rubus floribundus* Kunth (Rosaceae). *Arnaldoa*, 26(1), 297-304. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26113>
- Posada, D.; Sánchez, Y.; Ochoa, S.; Osorio, J. F. (2019). *Obtención de extractos de cúrcuma (Curcuma longa) mediante extracción asistida por ultrasonido*. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/38_obtencin_de_extractos_de_cr_dmydi.pdf
- Qin, N. Y., Yang, F. Q., Wang, Y. T., & Li, S. P. (2007). Quantitative determination of eight components in rhizome (Jianghuang) and tuberous root (Yujin) of *Curcuma longa* using pressurized liquid extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of*

- Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43(2), 486-492.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.07.034>
- Quan, X., Zhang, M., Fang, Z., Liu, H., Shen, Q., & Gao, Z. (2016). Low oil French fries produced by combined pre-frying and pulsed-spouted microwave vacuum drying method. *Food and Bioproducts Processing*, 99(1), 109-115.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.04.008>
- Rae, K. (2023). *Plantains vs. Bananas: What's the Difference? Taste of Home*.
<https://www.tasteofhome.com/article/plantain-vs-banana/>
- Rafecas, M., Cámara, M., Daschner, Á., Giner, R. M., Morales, F. J., Portillo Baquedano, M. del P., Rubio Armendáriz, C., Ruiz Leal, M. J., & Talens Oliag, P. (2020). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre el riesgo asociado al consumo de complementos alimenticios que contienen curcumina como ingrediente. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, 32, 85-112.
https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/CURCUMINA.pdf
- Ramírez, G. (2012). *Expediente para la adjudicación Directa Selectiva No 07-2012-MPSM/CE* (p. 7).
- Redacción Review. (2022). Estas son todas las variedades de plátanos que el Perú tiene para nosotros. *Revista Review*. <https://revistareview.pe/platano-banana-estas-son-todas-las-variedades-que-el-peru-tiene-para-nosotros-nutricion-chile-ecuador-argentina-mexico-colombia-bolivia-argentina/>
- Renza, E. C. y Vásquez, C. F. (2023). *Análisis de las tendencias e influencias de consumo en las panaderías artesanales en Cali*. [Tesis de Grado, Universidad Libre Seccional Cali].
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/27702/An%c3%a1lisis%20d>

- e%20las%20tendencias%20e%20influencias%20de%20consumo%20en%20las%20p
anader%c3%adas%20artesanales%20de%20Cali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Riaz, M. N. (2015). *Snack Foods: Processing*. En *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition* (2.a ed., Vols. 3-4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00160-1>
- Ribeiro, A., Chaves, A. E., Resende, É., Oliveira, K., Costa, M., Careli, Í., Soares, J. M., & Caliani, M. (2020). Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of snacks developed from broken rice grains and turmeric powder. *International Journal of Food Science and Technology*, *55*(7), 2719-2729. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14525>
- Ríos, E., Duque, A. L., & León, F. D. (2009). *Caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de Cúrcuma (cúrcuma longa L.) Cultivada en el departamento del Quindío*. *19*, 18-22. <https://ojs.uniquindio.edu.co/ojs/index.php/riuq/article/view/769/836>
- Rodríguez, M. E. (2023). *Contenido de acrilamida en chifles en cuatro variedades de plátano* [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8846/TAI00217R75.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, E. T. (2023). Impacto de la fritura a vacío sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales de chips de banano pisang más. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/90070>
- Rosenthal, A. J. (1999). *Food texture measurement and perception*. Aspen Publishers.
- Sahin, S. (2000). Effects of frying parameters on the colour development of fried potatoes. *European Food Research and Technology*, *211*(3), 165-168. <https://doi.org/10.1007/s002170050017>

- Saiz, P. (2014). Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.). *REDUCA (Biología)*, 7(2), 84-99.
<https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/abdc6b15-a0a0-45f6-b53d-054735502289/content>
- Saldívar, S. O. S. (2016). Snack Foods: Types and Composition. En *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 13-18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00633-4>
- Sánchez, G., et al. (2023). Efectos de la temperatura en la cohesividad de matrices alimentarias. *Journal of Applied Food Technology*, 15(4), 312-328.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9319704.pdf>
- Santillan, M. S. (2022). *Efecto de la deshidratación osmótica en tubérculos y hortalizas para la obtención de snacks por fritura en inmersión y a vacío*. [Universidad Agraria del Ecuador]. [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANTILLAN SIERRA MELANY SUSANA.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANTILLAN_SIERRA_MELANY_SUSANA.pdf)
- Santos, E.; Cancino, N.; Yenque, J.; Ramírez, D.; Palomino, M. (2005). El ultrasonido y su aplicación. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*. vol. (8) 1: págs. 25-28.
https://www.researchgate.net/publication/307180704_EL_ULTRASONIDO_Y_SU_APLICACION
- Sharma, R. A., Gescher, A. J., & Steward, W. P. (2005). Curcumin: The story so far. *European Journal of Cancer*, 41(13), 1955-1968. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.05.009>
- Shyu, S. L., & Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*, 34(2-3), 133-142.
[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00141-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00141-1)
- Singla, M., & Sit, N. (2021). Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105506.
<https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105506>

- Stankovic, I. (2004). *Curcumin. En 61st Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) - Chemical and Technical Assessment (CTA)*.
<https://www.fao.org/documents/card/en/c/d63e86e5-f354-4588-b402-b886784b9079/>
- Szczesniak, A. S. (1963). Objective Measurements of Food Texture. *Journal of Food Science*, 28(4), 410-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00219.x>
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Talens, P. (2017). *Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura*. [Universitat Politècnica de València].
<http://hdl.handle.net/10251/83513>
- Trejo, D. M., Cortés, M., & Mejía, D. F. (2019). Influencia de Proceso de Fritura a Vacío Sobre la Calidad de Chips de Papa Nativa, Variedad Botella Roja. *Información tecnológica*, 30(5), 67-80. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500067>
- Troncoso, E., Pedreschi, F., & Zúñiga, R. N. (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *Lwt*, 42(1), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.013>
- Udomkun, P., & Innawong, B. (2018). Effect of pre-treatment processes on physicochemical aspects of vacuum-fried banana chips. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), 1-10. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13687>
- USDA. (2019). Plantains, Green, Raw (SR LEGACY, 168215). *En FoodData Central*.
<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168215/nutrients>
- USDA. (2019b). *Spices, Turmeric, Ground (SR LEGACY, 172231)*. *En FoodData Central*.
<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172231/nutrients>
- Valdez, E.; Toscano, E.; Coronado, J.; Reátegui, O.; Zimic, M.; y Best, I. (2018). *Evaluación de la actividad hipoglucemiante in vitro de plantas alimenticias y medicinales del Perú*.

Memoria del Congreso Internacional de Alimentos Funcionales y Nutracéuticos.

<https://cathi.uacj.mx/handle/20.500.11961/4274>

Vargas, A., Valerio, E., Salazar, J., García, S. (2019). Una nueva propuesta para el aprendizaje.

SERENGUETI, Revista de Estadística. Volumen 1. Número 2.

<https://serengueti.fce.ucr.ac.cr/media/attachments/2021/12/15/revista-serengueti--->

[vol.1---no.2---dic.-2019.pdf#page=38](https://serengueti.fce.ucr.ac.cr/media/attachments/2021/12/15/revista-serengueti---vol.1---no.2---dic.-2019.pdf#page=38)

Zinoviadou, K. G., Galanakis, C. M., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M. J., Saraiva,

J. A., Patras, A., Tiwari, B., & Barba, F. J. (2015). Fruit juice sonication: Implications

on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research*

International, 77, 743-752. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.05.032>

ANEXOS

Figura 17

Recepción del plátano palillo.



Nota: La imagen muestra las manos de plátano provenientes del mercado central de la Coipa, San Ignacio.

Figura 18

Selección del plátano palillo.



Nota: La imagen muestra la selección de los plátanos de acuerdo con los requerimientos del estudio.

Figura 19

Lavado y desinfectado del plátano.



Nota: Las imágenes muestran el lavado(izquierda) y desinfección (derecha) del plátano palillo.

Figura 20

Escaldado del plátano.



Nota: La imagen muestra el proceso de escaldado del plátano palillo.

Figura 21

Pelado del plátano.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de pelado del plátano palillo.

Figura 22

Cortado del plátano.



Nota: La imagen muestra el procedimiento de rebanado del plátano palillo en hojuelas de 2 mm de espesor.

Figura 23

Pesado de hojuelas para cada replica.



Nota: La imagen muestra el procedimiento de pesado de muestras.

Figura 24

Preparación de soluciones de cúrcuma.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de preparación de la solución de cúrcuma al 1.2% (p/p).

Figura 25

Tratamiento por ultrasonido de las hojuelas de plátano.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de pretratamiento con ultrasonido configurado el equipo a diferentes temperaturas.

Figura 26

Ecurrido de las hojuelas después del ultrasonido.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de escurrido de las hojuelas de plátano palillo pretratados con ultrasonido.

Figura 27

Fritado de las hojuelas de plátano pretratadas en la freidora a vacío.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de fritura de las hojuelas de plátano palillo pretratados con ultrasonido.

Figura 28

Ecurrido de los snacks de plátano sobre el papel absorbente.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de escurrido y enfriado de los snacks de plátano palillo pretratados con ultrasonido.

Figura 29

Envasado de hojuelas de plátano en bolsas de polietileno.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de envasado de los snacks de plátano palillo.

Figura 30

Análisis de las muestras en el texturómetro.



Nota: Las imágenes muestran el procedimiento de análisis de textura de los snacks de plátano palillo.